



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO  
CENTRO UNIVERSITARIO UAEMTEMASCALTEPEC  
LICENCIATURA EN CONTADURÍA**

## **TESIS**

**Distribución óptima para el mercado de carne bovina  
en México mediante condiciones Karush-Kuhn-  
Tucker**

**PRESENTA**

**HÉCTOR SANTOS LÓPEZ**

**ASESOR**

**DR. en C. SAMUEL REBOLLAR REBOLLAR**

**Temascaltepec, Estado de México, abril de 2023.**

## INDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
RESUMEN.....	6
SUMMARY.....	7
I. INTRODUCCIÓN.....	8
II. OBJETIVOS.....	11
General.....	11
2.1 Específicos.....	11
III. HIPÓTESIS.....	12
3.1 General.....	12
Específicas.....	12
IV. EL PROBLEMA.....	13
V. JUSTIFICACIÓN.....	14
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
V. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....	23
VI. REVISIÓN DE LITERATURA.....	26
Antecedentes de la ganadería en México.....	26
Sistemas de producción.....	27
Sistema de doble propósito en el trópico (trópico húmedo y trópico seco).....	29
Sistema de engorda en corrales.....	30
Sistema intensivo con pastoreo rotacional.....	31
Sistemas mal definidos de subsistencia.....	32
Modelos de instalaciones.....	33
6.1 Situación mundial de los bovinos carne.....	36
<b>6.1.1 Producción mundial.....</b>	<b>36</b>
<b>6.1.2 Consumidores mundiales.....</b>	<b>38</b>
<b>6.1.3 Comercio mundial.....</b>	<b>40</b>
6.2. Situación nacional de los bovinos carne.....	43
<b>6.2.1 Producción nacional.....</b>	<b>43</b>
<b>6.2.2. Exportación de bovinos en pie a Estados Unidos.....</b>	<b>46</b>
<b>6.2.3. Las negociaciones del TLCAN.....</b>	<b>48</b>

<b>6.2.4. Problemática de los bovinos carne en México</b> .....	50
6.3 Los modelos de equilibrio espacial.....	57
6.4. Las condiciones Karush-Kuhn-Tucker .....	58
6.5 El teorema de Karush-Kuhn-Tucker.....	59
<b>6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	63
7.2. Obtención del modelo base .....	63
7.3 Análisis de la producción óptima.....	66
7.4 Consumo óptimo .....	68
7.5 Flujos comerciales óptimos.....	69
<b>7 CONCLUSIONES</b> .....	72
<b>8 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA</b> .....	73

## RESUMEN

Se evaluó la eficiencia del mercado de carne bovina en México 2020 mediante un modelo de programación no lineal, bajo condiciones de optimización Karush-Kuhn-Tucker. El territorio nacional se dividió en ocho regiones productoras-consumidoras y dos puntos de internación de importaciones: Noroeste, Norte, Noreste, Centro-oeste, Centro-este, Sur, Oriente, Península. El modelo sobreestimó producción nacional y regional en 0.4%, equivalente a 10,229 toneladas; cantidad cercana al valor observado en 2020; sobreestimó al consumo nacional y regional en 0.8%, con un Valor Social Neto de 14,043 millones de pesos. La optimización dedujo producción y consumo positivos, margen de comercialización superior al costo de transporte y activó rutas óptimas de distribución. El ajuste entre lo observado y el modelo fue menor a 0.004%. La optimización es una opción matemática viable como base para el análisis del mercado y distribución regional de la carne de bovino en México.

**Palabras clave:** carne de bovino, Karush-Kuhn-Tucker, programación no lineal, precios endógenos, Valor Social Neto.

## SUMMARY

The efficiency of the beef market in Mexico 2020 was evaluated using a nonlinear programming model, under Karush-Kuhn-Tucker optimization conditions. The country was divided into eight producer-consumer regions and two import entry points: Northwest, North, Northeast, Center-west, Center-east, South, East, and Peninsula. The model underestimated national and regional production by 0.4%, equivalent to 13,984 t; amount close to the value observed in 2020; underestimated national and regional consumption by 0.3%, with a Net Social Value of 2,247.7 billion pesos. The optimization deduced positive production and consumption, a marketing margin higher than the cost of transportation, and activated optimal distribution routes. The fit between what was observed and the model was less than 1%. Optimization is a viable mathematical option as a basis for the analysis of the market and regional distribution of beef in Mexico.

**Key words:** beef cattle, Kuhn-Tucker, nonlinear programming, pork leg, endogenous prices, Social Net Value.

## I. INTRODUCCIÓN

En programación no lineal con modelos de equilibrio espacial y precios endógenos, las condiciones de optimización restringida Karush-Kuhn-Tucker juegan un papel importante (Satoshi, 2021) y se obtienen a partir de la estimación de la función, ya sea maximización o minimización de una función objetivo al verificar las igualdades de los precios óptimos (al consumidor y al productor del bien en cuestión) que asigna la salida del modelo de programación con los precios de mercado, estimado de forma manual para ambas variables y, son aplicables al mercado de cualquier producto (Rebollar *et al.*, 2019a; Rebollar, 2021), tal es el caso de la carne en canal bovina en México.

La producción mexicana de bovinos para carne o carne bovina, al obviar raza y sistema de producción de proveniencia, se acepta como actividad ganadera importante por su contribución a la oferta nacional disponible de productos cárnicos, además de la participación en la balanza comercial del país, esta actividad es responsable de los empleos que genera, transmisora de precios de las demás especies pecuarias de interés económico (porcinos y aves) y por considerarse el eje ordenador de la demanda (Rubio *et al.*, 2013; del Moral y Murillo, 2015, Puebla *et al.*, 2018; COMECARNE, 2022).

Con información proveniente del Consejo Mexicano de la Carne (COMECARNE, 2022), en 2020 la carne bovina mexicana fue la segunda más consumida, después de las aves, pero fue la primera en valor de la producción y en la que más ingreso se destinó por parte de consumidores. En ese mismo año, cifras oficiales indicaron que México produjo 2.08 millones de toneladas (Mt) de carne bovina en canal, equivalente a 145,026.5 millones de pesos (MDP), en tanto que el valor de las aves y los porcinos, en el mismo año se concibió en 121.3 y 75.3 MDP (SIAP, 2021). En este ámbito se comercializaron (exportaron) fuera del país 299.1 mil toneladas (t) de carne bovina y se importaron 165.4 miles de t (COMECARNE, 2021a); así,

México fue el sexto productor mundial de esta carne sólo después de Estados Unidos (USA), Brasil, China, Argentina y Australia y, el décimo exportador; actividad a la que destinó poco más del 10% de su producción (Puebla *et al.*, 2018; El Economista, 2018).

En México, a nivel de regiones, la distribución espacial de la producción e importaciones de carne bovina vinculada al consumo fue heterogénea; por lo que hubo regiones en las que no todo lo que se produjo, de esa carne, se consumió, así, sus excedentes se enviaron a regiones deficitarias conformando, con ello como su demanda en consumo. Por ejemplo, en 2020, las regiones centro-occidente (CO) (20.7%) y norte (NR) (20.1%) contribuyeron más a la producción nacional, pero no fueron las que más consumieron.

En este sentido, la región Centro-Occidente (CO) consumió sólo 83.5% de su producción y la Norte (NR) 55.2%, la diferencia se envió hacia regiones del país con déficits, como la Centro-Este (CE) cuya producción fue 22.5% del consumo; esto es, produjo 164.5 miles de toneladas de carne en canal bovina y consumió 730.2 (SIAP, 2021; Rebollar *et al.*, 2022).

En continuidad, las condiciones Karush-Kuhn-Tucker (KKT) deben entenderse como exigencias necesarias y suficientes para que la solución de un problema de programación matemática sea óptima (Gass y Harris, 2001; Moon y Gue, 2013), se entienden como una generalización del método de multiplicadores de Lagrange (Andreani *et al.*, 2005:474; Boyd *et al.*, 2011) y se utilizan como procedimiento para encontrar máximos y mínimos de funciones con múltiples variables sujetas a restricciones reduciendo un problema restringido con  $n$  variables a otro sin restricciones de  $n + k$  variables, donde la letra  $k$  es igual al número de restricciones, cuyas ecuaciones se solucionan por un método convencional.

Por tanto, las nuevas variables escalares desconocidas, una por cada restricción, obviamente, del modelo de programación, se llaman multiplicadores de Lagrange (Wallace, 2004). Tal método, conduce a que los puntos en los que la función tiene un extremo condicionado a  $k$  restricciones, se ubica entre puntos estacionarios de una nueva función sin restricciones y se construye como combinación lineal entre la función original y las funciones implicadas en las restricciones, cuyos coeficientes son los multiplicadores de Lagrange (Boyd *et al.*, 2011).

El objetivo consistió en optimizar la distribución del mercado de carne bovina en canal en México, en términos de producción, importaciones y consumo tanto nacional como regional, validando un modelo de programación no lineal y condiciones de optimización Karush-Kuhn-Tucker con información de 2020. La hipótesis supone que con elasticidades precio de la demanda y precio de la oferta regionales inelásticas el modelo maximiza el Valor Social Neto (VSN) y, en consecuencia, una distribución óptima del mercado del producto superior a la observada; la producción, importaciones y consumo son mayores con relación al año de análisis.

## II. OBJETIVOS

### General

Optimizar la distribución del mercado de carne bovina en canal en México, en términos de producción, importaciones y consumo tanto nacional como regional, validando un modelo de programación no lineal y condiciones de optimización Karush-Kuhn-Tucker con información de 2020.

### 2.1 Específicos

1. Obtener el modelo base o modelo óptimo para el mercado de carne bovina en México.
2. Presentar un cuadro comparativo entre la información del año de estudio y la información que arroja el modelo base para verificar si hubo subvaloración o sobrevaloración del Valor Social Neto (VSN).
3. Presentar la matriz de abasto y distribución óptima por cada región de México con información del modelo base.
4. Calcular los precios de mercado tanto al productor como al consumidor y su contraste con los precios óptimos dados en el modelo base, considerando las condiciones de optimización en precios de Karush-Kuhn-Tucker.
5. Presentar un cuadro comparativo entre el costo de transporte y el margen de comercialización de carne bovina como condición necesaria para que se activen rutas de distribución entre regiones.

### **III. HIPÓTESIS**

#### **3.1 General**

Con elasticidades precio de la demanda y precio de la oferta regionales inelásticas el modelo maximiza el Valor Social Neto (VSN), en consecuencia, una distribución óptima del mercado del producto superior a la observada; la producción, importaciones y consumo son mayores con relación al año de análisis.

#### **Específicas**

- El modelo base o modelo óptimo maximiza el Valor Social Neto con relación al observado en el año de análisis.
- La activación de rutas de distribución de carne bovina entre regiones se da porque el margen de comercialización dado por los precios óptimos al consumidor y al productor es mayor al costo de transporte entre tales regiones.
- Las condiciones de optimización de Karush-Kuhn-Tucker permiten demostrar la validez teórica del modelo y generar recomendaciones de aplicación de políticas comerciales alternativas al mercado de carne bovina en México.

#### **IV. EL PROBLEMA**

El problema consistió en determinar la función lagrangeana ampliada, al incorporar el modelo de optimización y sus restricciones, además se obtuvieron los multiplicadores de Lagrange relacionados con la producción, consumo, precios al productor y al consumidor óptimos de carne bovina y su contraste con el margen de distribución como condición necesaria y suficiente para que la activación de rutas de distribución regional-nacional del cárnico se lleven a cabo.

## V. JUSTIFICACIÓN

Lo interesante de los modelos de programación no lineal es que, al tener dominio matemático o cierto dominio matemático de modelos Lagrangeanos, en su caso, modelos ampliados, sujetos a ciertas restricciones es que se pueden demostrar condiciones matemáticas de optimización, dadas por la teoría de la optimización, en el momento en que el investigador logra el ajuste del modelo base a través de la utilización de algún software apropiado para ello.

El poder demostrar tales condiciones de optimización genera confianza y veracidad de que lo que un modelo arroja como resultados, es acorde a la teoría, por tanto, es válido para realizar evaluaciones de escenarios de política comercial, útiles a los tomadores de política económica de cualquier país, por ejemplo México. Así, un modelo de programación no lineal bien ajustado tiene la robustez y capacidad para generar recomendaciones de lo que un Gobierno debería aplicar o debió haber aplicado en caso de que esa política comercial se apruebe o se vaya a aprobar, de ahí la importancia metodológica de estos modelos.

## VI. MATERIALES Y MÉTODOS

Con base en Rebollar *et al.* (2019a), Hernández *et al.* (2020) y Rebollar *et al.* (2020b) el modelo de equilibrio espacial con precios endógenos, utilizó ofertas y demandas, funcionalmente, dependientes del precio, conocidas como funciones inversas de demanda y de oferta. La función inversa de la demanda o función de demanda con precios endógenos quiere decir que será aquella ecuación en la que el precio fungió como función de la cantidad demandada, para la región  $i$  fue:

$$P_{di} = P_{di}(Q_{di}) = \alpha_{di} + \beta_{di}Q_{di}; \beta < 0$$

Donde:

$P_{di}$  = precio de la demanda de carne bovina en canal en la región  $i$ , en pesos por tonelada (\$/t).

$Q_{di}$  = cantidad demandada de carne bovina en canal en la región  $i$ , en toneladas (t).

$\alpha$  = intercepto de la función de la demanda de carne bovina en canal para la región  $i$ .

$\beta$  = pendiente de la función de demanda de carne bovina en canal para la región  $i$ .

Para la misma región, la función inversa de la ecuación de oferta de carne bovina en canal fue:

$$P_{si} = P_{si}(Q_{si}) = \alpha_{si} + \beta_{si}Q_{si}$$

Donde:

$P_{si}$  = precio de la oferta de carne bovina en canal en la región  $i$ , en \$/t.

$Q_{si}$  = cantidad ofrecida de carne bovina en canal en la región  $i$ , en t.

$\alpha$  = intercepto de la función de oferta de carne bovina en canal en la región  $i$

$\beta$  = pendiente de la función de la oferta de carne bovina en canal en la región  $i$ .

Además, debe cumplirse que:

$\frac{\partial P_{di}(Q_{di})}{\partial Q_{di}} \leq 0$ , para la función inversa de la demanda, y

$\frac{\partial P_{si}(Q_{si})}{\partial Q_{si}} \geq 0$ , para la función inversa de la oferta.

La función de cuasi bienestar social para cada región se definió por el área entre la curva de demanda menos el área bajo la curva de oferta de carne bovina en canal, dada por:

$$W_i(Q_{di}^*, Q_{si}^*) = \int_0^{Q_{di}^*} P_{di}(Q_{di}) dQ_{di} - \int_0^{Q_{si}^*} P_{si}(Q_{si}) dQ_{si}$$

Al añadir los costos de transporte para las  $n$ -regiones a considerar en este estudio, la función de cuasi bienestar social (VSN) es:

$$NW = \sum_{i=1}^n W_i(Q_{di}^*, Q_{si}^*) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij}$$

Donde:

$C_{ij}$  = Costo de transporte de carne bovina de la región  $i$  a la región  $j$ , en \$/t de carne bovina transportada.

$T_{ij}$  = Cantidad transportada de la región  $i$  a la región  $j$ , en toneladas de carne de carne bovina.

Otros componentes del modelo tendrán que ver con las restricciones de demanda y las restricciones de oferta de carne bovina. Las primeras necesitarán que la suma de la cantidad transportada de carne bovina a la región  $i$  sea mayor o igual que la demanda de carne bovina de dicha región. Esto es:

$$Q_{di} \leq \sum_{j=1}^n T_{ij}, \text{ para toda } i.$$

Las restricciones de oferta de carne bovina, requerirán que la suma de la cantidad transportada de esta carne fuera de la región  $i$  sea menor o igual a la producción total de carne bovina en canal de dicha región:

$$Q_{si} \geq \sum_{j=1}^n T_{ij}, \text{ para toda } i.$$

### **Aplicación empírica del modelo**

Se modeló el mercado nacional de carne bovina en canal, el cual se caracterizó por la existencia de varias regiones que producen, consumen y comercian un bien homogéneo (que es la carne bovina en canal). Cada región se constituyó en un mercado distinto, separado mediante costos de transporte, subsidios, aranceles, cuotas y otras barreras al comercio.

Los costos de transporte se establecieron con relación a unidades físicas y fueron independientes del volumen comercializado. La producción e importaciones de carne bovina en canal, se obtuvieron por estado del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2021), se restaron la exportación a la producción de los estados que reportaron el dato y se adicionó la producción de los estados que integraron cada una de las regiones para obtener la producción regional o producción por cada región.

El dato sobre importación de carne bovina, se obtuvo del SIAP (2021) según las fracciones arancelarias y puntos de acceso (aduanas) cuya base de datos estuvo disponible en ese momento. También se utilizó la base de datos del FAPRI (USA), misma que dependió del nivel de accesibilidad a su base de datos.

Las funciones de oferta y demanda se calcularon con datos de 2020 (dado que es la información total disponible) y los costos de transporte, también para el mismo año.

Para conocer el consumo (demanda) por cada región, primero se obtuvo la población de cada estado del año 2020 del Consejo Nacional de Población (CONAPO); después, se multiplicó por el consumo *per cápita* reportado para la zona tanto por el FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura), el SIAP y por el INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática) y se sumó el consumo de cada uno de los estados que integraron cada región.

El precio de carne bovina en canal en cada región se obtuvo a través del dato de cada estado o entidad que integró la región, el cual se ponderó con la producción. El precio de la carne importada (de los puntos de internación) se obtendrá del SNIIM (Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados) (SNIIM, 2020).

El modelo de programación, se constituyó de una función objetivo cuadrática (conocida como pseudocuadrática), que expresó la suma de los excedentes del consumidor y excedentes del productor de las regiones consideradas, menos los respectivos costos de transporte, sujeta a un conjunto de restricciones lineales correspondientes a los equilibrios de oferta y demanda regionales de carne bovina en canal:

$$Max \sum_{i=1}^n \left[ \int_0^{Q_{di}^*} P_{di}(Q_{di}) dQ_{di} - \int_0^{Q_{si}^*} P_{si}(Q_{si}) dQ_{si} \right] - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij}$$

Sujeto a:

$$Q_{di} - \sum_{j=1}^n T_{ij} \leq 0 \text{ para toda } i$$

$$- Q_{si} + \sum_{j=1}^n T_{ij} \leq 0 \text{ para toda } i, \text{ y}$$

$Q_{di}, Q_{si}, T_{ij} \geq 0$  para toda  $i$  y  $j$  (entendidas como condiciones de no negatividad del modelo).

Con base en Bassols (1995: 43), citado por Rebollar *et al.* (2014), Velázquez *et al.* (2016), Almazán *et al.* (2018) y por Rebollar *et al.* (2019b); el modelo propuesto para México, incluyó ocho regiones consumidoras: Noroeste (NO): Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit; Norte (NR): Chihuahua, Coahuila, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas; Noreste (NE): Nuevo León y Tamaulipas; Centro-Occidente (CO): Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco y Michoacán; Centro-Este (CE): Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla, Querétaro y Tlaxcala; Sur (SU): Chiapas, Guerrero y Oaxaca; Oriente (OR): Tabasco y Veracruz; Península de Yucatán (PE): Campeche, Quintana Roo y Yucatán.

Como regiones productoras se consideraron un total de 10 y fueron las regiones que se contemplaron como consumidoras: NO, NR, NE, CO, CE, SU, OR, PE más dos puntos de internación de importaciones de carne bovina, procedentes de Estados Unidos (USA); el punto de internación 1 (PI1) integró las aduanas de Colombia en el estado de Nuevo León; Nuevo Laredo y Reynosa en Tamaulipas y Piedras Negras en el estado de Coahuila. Este primer punto registra el ingreso del 90.1% de la carne importada y, el punto de internación 2 (PI2) que fueron las aduanas de Mexicali y Tijuana en Baja California; Nogales y San Luis Rio Colorado en el estado de Sonora y Ciudad Juárez en el estado de Chihuahua (COMECARNE, 2021b; SENASICA, 2021). Por este punto ingresa el 9.9% de la importación.

La solución, bajo un equilibrio factible, requiere que las funciones de demanda fueran de pendiente negativa y las de oferta, pendiente positiva. Las condiciones Karush-Kuhn-Tucker (Rebollar, 2021), para este problema de optimización se expresaron así:

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{di}} = P_{di} - \lambda_{di} \leq 0, \left( \frac{\partial Z}{\partial Q_{di}} \right) Q_{di} = 0, Q_{di} \geq 0$$

Este conjunto de ecuaciones obliga a que el precio de la demanda de carne bovina de la región  $i$  sea igual a su precio sombra ( $\lambda_{di}$ ) si la cantidad demandada de carne bovina (en canal) es positiva, y:

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{si}} = P_{si} - \psi_{si} \leq 0, \left( \frac{\partial Z}{\partial Q_{si}} \right) Q_{si} = 0, Q_{si} \geq 0$$

Este conjunto de ecuaciones requiere que el precio de la oferta de carne bovina en la región  $i$  sea igual a su precio sombra ( $\psi_{si}$ ) si la cantidad ofrecida de carne bovina es mayor a cero; además:

$$\frac{\partial Z}{\partial T_{ij}} = -C_{ij} + \lambda_{dj} - \psi_{si} \leq 0, \left( \frac{\partial Z}{\partial T_{ij}} \right) T_{ij} = 0, T_{ij} \geq 0$$

Este conjunto de ecuaciones, establece que el precio de demanda ( $\lambda_{di}$ ) en la región  $i$  sea igual al promedio de los precios de oferta ( $\psi_{si}$ ) de carne bovina en la región  $i$  y las regiones  $j$  más los costos de transporte representados por la variable ( $T_{ij}$ ), en caso de que la cantidad transportada de carne bovina sea mayor que cero.

La solución óptima a este problema, indicó el nivel de oferta ( $Q_{si}$ ) y el consumo ( $Q_{di}$ ) de cada región, el comercio entre dos regiones diferentes ( $T_{ij}$  donde  $i$  es diferente de  $j$ ) así como dentro de la misma región ( $T_{ij}$  donde  $i$  es igual a  $j$ ). El precio de cada región, se encontró en las variables duales ( $P_{di}$  y  $P_{si}$ ).

La relación que cada región tuvo entre los precios de equilibrio será: 1) si la región  $i$  absorbe la demanda de su misma región ( $T_{ii} = Q_{di} > 0$ ), entonces, la diferencia entre el precio de demanda y precio de oferta de carne bovina en canal es el costo de transporte ( $P_{di} = C_{ii} + P_{si}$ ) en la misma región; 2) si la región  $i$  exporta a la región  $j$  ( $T_{ij} > 0$ ) entonces el precio de demanda de la región  $j$  al precio de oferta de la región  $i$  más el costo de transporte de la región  $i$  ( $P_{dj} = C_{ij} + P_{si}$ ) y, 3) el precio de demanda

de la región  $j$  fue igual al precio de oferta de la región  $j$  más el costo de transporte en la región  $j$  ( $P_{dj} = P_{sj} + C_{jj}$ ).

Si la región  $j$  no exporta a la región  $i$ , entonces, el precio de oferta de carne bovina en canal de la región  $j$  es, significativamente, mayor que el precio de demanda de la región  $i$ , por lo que el comercio de la región  $j$  a la región  $i$ , no es deseable o no se activó en la salida del modelo ( $P_{di} < C_{ji} + P_{sj}$ ).

Los dos estimadores de las funciones de demanda y funciones de oferta fueron el intercepto ( $\alpha_i$ ) y la pendiente ( $\beta_i$ ). Tales estimadores se calcularon con base en las elasticidades, precios y cantidades producidas y demandadas de carne bovina en canal, con la expresión:

$$\varepsilon_{pi} = \left( \frac{\partial Q_i}{\partial P_i} \right) \left( \frac{P_i}{Q_i} \right)$$

Donde,  $\varepsilon_{pi}$  es la elasticidad precio de la función de oferta o de la función de demanda de la región  $i$ .

### **Obtención de datos**

Para las funciones de oferta y demanda regionales, se utilizó la elasticidad precio propia de la oferta de carne bovina en canal, estimada para México, de forma regional (Puebla *et al.*, 2018) y para la demanda regional de carne bovina en canal, las estimadas por Rebollar *et al.* (2020a).

Para los puntos de internación, se consideraron las elasticidades reportadas por Pérez *et al.* (2010:115) y las de Vázquez y Martínez (2015).

La información que alimentó al modelo de programación cuadrática, consistió en obtener, vía fuentes secundarias, datos mensuales/anuales de 2020, sobre

consumo, producción, importación y precios tanto al consumidor como al productor de carne bovina, primero por entidad federativa, luego, mediante ponderación, se obtendrá el dato a nivel regional. Los datos de consumo regional, se ponderaron, según su participación en el total nacional, con información disponible en el SIAP, ASERCA, el FAPRI (USA), SADER, SNIIM, CNOG, Secretaría de Economía, Avances de la Producción Pecuaria en México, publicado por el SIAP y con información de ASERCA, entre otras fuentes.

Para los precios al consumidor de carne bovina en canal, se consideró información disponible sobre precios de mercado, existente en diferentes fuentes oficiales, entre ellas, el SNIIM (2020).

Para los precios al productor de carne bovina en canal, se consideró el precio medio rural reportado por el SIAP-SADER pero ponderado a la carne bovina vendida por el productor y demás fuentes alternas sobre la especie en cuestión y se tomó en cuenta la principal zona productora de referencia según la región.

El precio internacional de la carne bovina, en los puntos de internación 1 y 2, que se consideró para las funciones de oferta del modelo fue de 3,550 USD/t a un tipo de cambio de 19.9 \$/USD (BANXICO, 2021).

Los costos de transporte (\$/t/km) nacional, se obtuvieron de empresas multimodal nacional de transporte terrestre y de aquéllas que ofrecieron mejores cotizaciones.

Los resultados de la salida del modelo permitieron realizar comparaciones de lo que sucedió en la realidad (con los datos estadísticos oficiales reales). La solución al modelo y sus escenarios, se obtuvo con el solver MINOS, escrito en el lenguaje de programación GAMS (General Algebraic Modeling System), versión 24.4.2 para Windows 8, Office 2013 y con base en Rosenthal (2008), propiedad del Asesor de esta tesis.

## V. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Para la realización de este trabajo, se hizo necesario del conocimiento de una serie de conceptos o definiciones teóricas, que se relacionan con gran parte de la terminología que se presentará, tanto en este documento como en el trabajo final de obtención del título.

**Valor Social Neto:** se refiere a la resta de beneficios totales menos costos totales y hace referencia a que se contabilizan efectos ambientales y sociales, además de los económicos (Rebollar *et al.*, 2020).

**Modelo base:** es una estructura lógica que adopta una base de datos, incluyendo las relaciones y limitaciones, almacenamiento, organizaciones, operaciones, y la manipulación de la información (Rebollar *et al.*, 2020).

**Modelo de programación:** puede representar matemáticamente el sistema real que se estudia, son útiles, para explorar las diferentes alternativas de actuación y encontrar la decisión que mejor corresponda a nuestros objetivos (Díaz-Fernández *et al.*, 2021).

**Modelo de programación lineal y no lineal:** a diferencia del modelo lineal, el no lineal describe una ecuación, cuya variable independiente presenta un exponente diferente de uno una vez que se desarrollado su respectiva integral matemática. Además, el modelo no lineal se utiliza para el cálculo de áreas entre espacios geométricos denominados líneas y/o curvas. Tal es el caso, por ejemplo del cálculo del área entre las curvas de oferta y demanda para cualquier tipo de bien comercializable en un determinado espacio geográfico (Rebollar, 2003).

**La programación lineal:** intenta maximizar o minimizar un objetivo establecido, como por ejemplo la maximización de utilidades o la reducción de los costos

(Budnick,

2007).

**La programación no lineal:** Se considera como tal al conjunto de métodos para la optimizar una función objetivo, sujeta a una serie de restricciones en los que una o más de las variables incluidas no es lineal (Cantú-Cuéllar, 2019).

**Condiciones de optimización:** Permiten abordar la resolución de modelos de programación no lineal, que consideran tanto restricciones de igualdad (ecuaciones) como desigualdad (inecuaciones) (Cantú-Cuéllar, 2019).

**Modelo dual:** Es una programación lineal definida en forma directa y sistemática a partir del modelo original (o Primal) de programación lineal (González, 2013).

**Modelo primal:** Es una herramienta matemática que resuelve problemas de planeación y programación de operaciones, resuelve la pregunta sobre cuanto producir de acuerdo con la capacidad operativa y estudios de mercado utiliza el modelo de la programación lineal (González, 2013).

**Restricciones:** la presencia de restricciones limita el espacio de búsqueda, pero, al mismo tiempo, puede tratarse de ecuaciones o inecuaciones algebraicas (Gómez, 2002).

**Optimización:** la optimización de procesos y/o servicios va de la mano con el desarrollo sostenible, si se entiende este último como aprovechar los recursos existentes y tratar de satisfacer las necesidades presentes sin comprometer las posibilidades de satisfacer las necesidades futuras (BGIO, 2013).

**Condiciones Karush-Kuhn-Tucker:** constituyen la base para el desarrollo de muchos algoritmos que proporcionan un criterio de parada para muchos otros,

permitiendo establecer cuando ha sido alcanzado un óptimo local restringido (IUP, 2014).

**Precios óptimos:** son los precios que maximizan los beneficios de la empresa, el objetivo de un precio óptimo es habitualmente maximizar la rentabilidad de un producto (IUP, 2014).

**Margen de distribución:** tiene como objetivo relacionar la producción con el consumo, es decir poner en contacto a productores con consumidores y compradores, técnicamente la distribución es un canal por el que se circula un flujo de productos desde su origen (productores) hasta su final (consumidores) (Gómez, 2002).

## **VI. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **Antecedentes de la ganadería en México**

Modificado de Sánchez (s. d.), la ganadería bovina en México se inicia con la introducción de ganado vacuno a América por parte de los españoles, alrededor del año de 1524. Durante la época de la colonia, se había procedido a establecer límites y derechos para la posesión de la tierra, dando origen a lo que se conoció como “Estancias” que fue la primera etapa en la creación de la “Hacienda” a través de los años, la cual existió hasta la época posrevolucionaria.

En ese periodo (de la colonia), los esquemas productivos y comerciales que provocaron un crecimiento importante de la ganadería extensiva, de 1542 a 1810, fueron las grandes extensiones de explotaciones ganaderas que se establecían cerca de las ciudades, con el fin de suministrar alimentos a la población. Los movimientos sociales que culminaron con la revolución de 1910, limitaron la consolidación de la ganadería bovina en México.

En el siglo XX (de 1900 al año 2000), la introducción de nuevas técnicas para la crianza del ganado y la transformación industrial de los años 40, por supuesto, del siglo XX, son los principales factores que permiten la consolidación de la ganadería bovina mexicana. La expansión de la ganadería para carne empieza en las zonas tropicales del país, seguida de un proceso de población ganadera en el norte del territorio, el cual ha estado estrechamente ligado al mercado exterior.

Paulatinamente, el hato ganadero, inicialmente Criollo, se ha ido matizando con animales de razas provenientes de Estados Unidos de América y Europa, entre las que destacan razas como las Charolais, Angus, Hereford, Simmental y diversas variedades Cebuínas como la Brahman, Indobrasil, Guzerat y Gyr. En las zonas tropicales, el cruzamiento con razas lecheras como la Holstein y la Suiza, generan

en gran medida la ganadería de doble propósito (DP) de México; sin embargo, en general, la producción de carne de bovino ha evolucionado tecnológicamente a un menor ritmo que la avicultura y la porcicultura.

### **Sistemas de producción**

Un sistema de producción es el conjunto de elementos característicos e indispensables que interactúan para lograr un objetivo, en este caso, producción de bovinos cárnicos.

La producción de ganado bovino para carne se desarrolla bajo diferentes contextos agroclimáticos, tecnológicos, de sistemas de manejo y por finalidad de explotación; ésta comprende novillos y toretes para abasto, becerros destetados para exportación y la producción de pie de cría; por lo que, se dice que los sistemas básicos de explotación de bovinos para carne en México son el intensivo o engorda en corral y el extensivo o pastoreo, en praderas y agostaderos (Sánchez, s. d.).

Bajo este marco y considerando las características de ecología climática y vegetal así como recursos forrajeros de cada región ecológico-ganadera de México, los diferentes sistemas de producción de ganado bovino orientados a la producción de carne, correspondientes a las cuatro regiones, son los siguientes:

#### **Sistema de venta de becerros al destete (sistema vaca – becerro).**

Éste es típico de la región árida y semiárida (esta región se localiza principalmente en el norte México, involucra los estados de Chihuahua, Coahuila, Durango, Baja California Norte y Sur, Sonora, Zacatecas y Nuevo León).

Este sistema se basa, fundamentalmente, en una fuente de ingresos dominante que es la venta de becerros al destete; se adapta a esta ecología por lo corto del período

de alimentación del ganado (90-120 días) lo cual permite el crecimiento del becerro y regulares posibilidades de que vuelvan a concebir las vacas en el período de lluvias. El manejo del ganado se favorece por la extracción total de los becerros (machos) antes de la escasez de forraje. Las características del sistema son:

1. El ganado depende exclusivamente de los forrajes que producen los pastizales naturales.
2. Las inversiones de material y mano de obra son reducidas por unidad de superficie o cabezas de ganado.
3. La estacionalidad es marcada en la monta, partos y destete de becerros.
4. La fuente dominante de ingresos es la venta de becerros al destete.
5. El sistema es poco elástico y bastante vulnerable a los trastornos económicos, cuando falta el mercado de becerros al destete.

Por las condiciones forrajeras de México, el sistema solo opera cuando hay demanda y buen precio por parte de Estados Unidos de Norteamérica (EE.UU). Es vulnerable por poseer solo un tipo de ganado para su ingreso; al carecer de la salida el becerro, la sustitución de ingresos por venta de vacas viejas o jóvenes rinde resultados económicos poco alentadores.

### **Sistema de cría y engorda de ganado en el trópico**

Este sistema se practica tanto en el trópico seco (Colima, Guerrero, Michoacán, Nayarit, Oaxaca, San Luis Potosí, Sinaloa y Tamaulipas) y en el trópico húmedo (Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Veracruz, Tabasco y Yucatán). Se adapta a un período de 180 a 270 días (d) de buena alimentación, la cual permite producir un novillo terminado de más de 350 kg de peso vivo (PV) en un año de pastoreo, con probabilidades flexibles de que las vacas conciban nuevamente.

La extracción de novillos en pastoreo también se lleva a cabo con mayor flexibilidad.

Sus características distintivas son:

1. El ganado depende exclusivamente de los forrajes que producen las praderas de tipo tropical.
2. Mayores inversiones de capital y mano de obra por unidad de superficie o cabezas de ganado.
3. Estacionalidad más flexible en la monta, partos y venta de novillos.
4. Retención de crías hembras y machos por uno o dos años después del destete.
5. Compras anuales o bianuales de novillos para ceba.
5. Varían al año las ventas de novillos y vacas horras (vacas adultas que no están en lactancia), según su estado de gordura y precio de mercado.
6. Sistema más elástico y menos vulnerable a trastornos económicos cuando falta el mercado de novillos.

### **Sistema de doble propósito en el trópico (trópico húmedo y trópico seco)**

Este sistema ha evolucionado en países tropicales y aparenta ser una adaptación forzada por la necesidad económica de lograr la venta de leche, pero en condiciones de mala calidad de forrajes y escasez en la sequía, que obligan al ganadero a retener ciertas características de empresa productora de carne.

Sus características son las siguientes:

1. El ganado solo depende de los forrajes que producen las praderas permanentes de tipo tropical. Sistema más elástico y menos vulnerable a trastornos económicos cuando falta mercado de novillos.
2. Las inversiones de capital y mano de obra son mayores por unidad de superficie o cabeza de ganado.
3. Estacionalidad más flexible en monta y partos.

4. Venta de novillos.
5. La ordeña se hace con el apoyo del ternero y se separa de la madre entre 8 y 14 horas diarias.
6. Lactancias cortas dictadas por la sequía (producción estacional).
7. Cría de hembras y machos por igual. 8. Ventas diarias de leche y estacional de novillos y vacas horras (vacas adultas que no están en lactancia), según su estado de gordura y precio de mercado.

Este sistema parece ser una adaptación forzada por necesidades económicas auxiliares con la venta de leche, sin embargo, debido a la mala calidad de los forrajes y escasez en períodos de estiaje, se dice que ni la producción de carne ni la de leche resultan eficientes.

En el trópico, con estación seca prolongada y lluvia total de menos de 1,200 mm, el sistema es definido por los ganaderos. En el sureste, con precipitación de 2,500 mm, el sistema se vuelve lógico ante la posibilidad de mejorar praderas con especies nuevas de gramíneas y la producción de leguminosas.

### **Sistema de engorda en corrales**

Se observa en las cuatro regiones árida, semiárida, templada y tropical. En los países industrializados, la mayor parte de los animales para abasto se engorda de esta forma; sin embargo, dada la escasez y alto costo de los alimentos (granos, pastas, oleaginosas y forrajes de corte), este sistema no es tan popular en los países en desarrollo, como México, donde el empleo de sistemas de confinamiento total, sobre todo al ser combinados con alimentación en agostaderos o praderas, son una alternativa atractiva en sus sistemas extensivos tradicionales de explotación de ganado bovino.

Las características de este sistema son:

1. Se realiza por periodos cortos (90-120 días).
2. Se emplean esquilmos agrícolas (pajas y rastrojos), subproductos agroindustriales (pulpas, bagazos, melazas), desechos pecuarios (estiércol, gallinaza) y nitrógeno no proteico (urea, sales de amonio, etc.) como base de la alimentación, con lo que tal vez no se logren aumentos de peso elevados, pero el costo de los mismos será menor.
3. Probablemente el periodo adecuado para emplear este método sea la finalización de animales provenientes de praderas o agostaderos (de 300 kg hasta el mercado).
4. El empleo de hormonas exógenas (implantes) como estimulantes del crecimiento es una práctica generalizada entre los engordadores de ganado en confinamiento.
5. El empleo de bicarbonato de sodio como regulador del pH ruminal en animales que consumen cantidades elevadas de grano en las dietas, reduce la posibilidad de acidosis metabólica.
7. El empleo de ionóforos se ha generalizado rápidamente entre los engordadores de ganado en corral, dado que se trata de un aditivo para ración completa.

### **Sistema intensivo con pastoreo rotacional**

Este sistema utiliza praderas irrigadas, donde los reproductores o el ganado para abasto se explotan de tal manera que el forraje es cosechado a través de los animales que reciben cantidades variables de complemento alimenticio. En este sistema, que en ocasiones se combina con agostadero y corrales, los animales se mantienen en superficies relativamente pequeñas.

Sus características son las siguientes:

- Elevada densidad de pastoreo.

- Rotación frecuente.
- Gran número de divisiones utilizando cerco eléctrico.
- Prácticas agronómicas intensivas (forrajes introducidos, control de malezas, fertilización y riego).
- Prácticas adecuadas de manejo (prevención de enfermedades, control de endo y ectoparásitos).
- Complementación alimenticia, dependiendo de la composición de la pradera. • Aplicación de implantes.

### **Sistemas mal definidos de subsistencia**

La ganadería mexicana presenta una enorme variabilidad de intentos locales de producción animal en el ámbito de la subsistencia y, por lo tanto, es difícil apuntar las características que definan esos sistemas; por ejemplo, en Zacatecas y Aguascalientes existe una lechería trashumante, ordeño parcial y estacional cuando están verdes los agostaderos, venta de leche para su industrialización y movimiento de ganado a tierras de cultivo para recoger esquilmos agrícolas.

Pero estos procedimientos no se aplican, sino en casos aislados, como en ejidos y rancherías, cuando otros no ordeñan del todo. Más hacia el sur y en terrenos montañosos, cambian las características; son regiones que utilizan ganado para el trabajo, ovejas y cabras. Oaxaca, por ejemplo, en el censo de 1970 acusa número mayor de bueyes de trabajo que vacas vientres y lo mismo ocurre en el Estado de México.

Por último, debe apuntarse que estos sistemas son indefinidos para la tecnología escrita, pero importantes para la economía familiar, a veces por tradición, pero en otras por que representa un nivel precario, pero eficiente, pues utiliza recursos naturales.

## Modelos de instalaciones

Un componente esencial del sistema de producción lo constituye el tipo de instalaciones y equipo requerido para el logro de su objetivo. En México están considerados dos sistemas básicos de explotación de bovinos para carne:

- a) El intensivo o engorda en corral y
- b) El extensivo o pastoreo en praderas y agostaderos.

La engorda de ganado bovino en corrales, conocida como *corral de engorda*, comprende diferentes zonas y áreas relacionadas con las actividades del proceso de producción, que deben ser ubicadas de una manera cuidadosa. Estas incluyen:

- a) Zona de alojamientos
- b) Zona de manejo
- c) Rutas de tráfico
- d) Zona de elaboración y/o almacenamiento de concentrados
- e) Zona de almacén de forrajes
- f) Zona de manejo de desechos orgánicos e inorgánicos
- g) Otros: Oficinas, almacén de equipo, talleres, etc.

La ubicación ideal de las instalaciones se logra, generalmente, cuando el punto focal de la operación es el centro del área utilizada. Se debe señalar que existen dos tipos de corral. Uno se conoce como corral de manejo (zona de manejo y aislamiento) en éste se recibe y trabaja el ganado recién llegado y se embarca para la venta, por lo que incluye corraletas para el aislamiento de los animales.

El otro tipo es propiamente el corral de engorda (zona de alojamientos) donde los animales permanecen hasta su finalización para pasar a la venta.

Las áreas de alimentación y de ejercicio y descanso son totalmente abiertas, excepto el área de sombra. Esto expone al ganado a factores ambientales que

pueden, en conjunto, mermar la eficiencia de la operación, aunque los costos son menores. La lluvia y el drenaje son los puntos cruciales para determinar las áreas en corrales de engorda.

El espacio requerido depende del tipo de piso utilizado y de la época del año, y va a variar desde los 5 m<sup>2</sup> /animal, hasta los 37 m<sup>2</sup> /animal; en cuanto al área de descanso, varía según el tamaño de los animales, los rangos van desde 1.8 m<sup>2</sup> /animal hasta los 3.0 m<sup>2</sup> /animal. • Comederos. Los comederos son la parte más importante del corral de engorda, su diseño puede adaptarse para suministro manual o mecanizado de alimento; es necesario determinar el tipo de alimentación que se llevará a cabo, así como si se suministrara una sola comida o si estará disponible todo el tiempo.

El espacio para comederos se ajusta al tamaño de los animales; así, tenemos que el espacio requerido varía desde 45 cm para animales de 270 kg, hasta 76 cm para vacas adultas. • Bebederos Los bebederos deben estar equipados con un flotador, que sirve para la reposición automática del agua; es importante señalar que dicho flotador debe estar bien protegido de los animales para que no lo dañen.

Hay que situar los bebederos de tal forma que puedan usarse en dos corrales al mismo tiempo. En el caso de bebederos de piletas se recomienda un espacio de 30 cm/10 cabezas y a una altura de 40 a 50 cm.

Componentes del corral de engorda: zona de manejo y aislamiento. En el área de manejo, se tiene el embarcadero, los corrales de manejo, retención y corte (2 m<sup>2</sup> por animal), el embudo, el chute o manga de trabajo, la trampa o prensa, la báscula y el baño garrapaticida.

Considerando que el término 'infraestructura' en ganadería representa el conjunto de elementos que se establecen, instalan o utilizan en una unidad de producción para realizar una labor eficiente, en los sistemas de producción, bovina a base de

pastoreo (cría, recría, engorda, producción de leche y de doble propósito) el cerco ganadero representa la infraestructura fundamental para el pastoreo del ganado.

Funciones de los cercos. Por principio, una buena cerca tiene la función de delimitar los linderos de la propiedad; se recomiendan cercas limitrofes de 1.30 m de altura y de 4 hilos de alambre. En el caso de cercas para divisiones internas, la altura recomendada es de 1.3 metros y de 3 hilos. Muchas de las funciones que prestan los cercos ganaderos son tan obvias que no requieren comentario, pero, en general, se puede decir que hay 2 tipos de funciones de los cercos: las relacionadas con la administración del ganado y las relacionadas con la administración de las praderas, lo que reduce considerablemente la mano de obra en el manejo de un rancho.

En algunas regiones de México se desarrolló una tecnología competente para la construcción de estos cercos. Su importancia en México se origina en la gran cantidad de piedra existente en algunos agostaderos naturales, y la abundancia de la mano de obra disponible. Se denominan cercos sencillos (o lienzos) los constituidos por una sola piedra, y dobles, los que llevan piedras acomodadas para formar una línea recta en ambas caras. Generalmente, estos últimos miden 1.10 m mínimo de alto, 90 cm de ancho en la base y 50 cm de ancho en la parte superior.

Cerco de alambre de púas (cerco tradicional ganadero): este cerco, al igual que el de piedra, trata de ser una barrera rígida que detenga al animal. Se supone que son más rígidos mientras más postes y alambres tiene. El alambre se estira a su máximo de resistencia, se sujeta al poste con grapas (general y erróneamente clavadas a “muerte”) y se revienta con cargas adicionales o golpes de animales, agua, ramas, etcétera. Cercos de suspensión con separadores de alambre: Este es un cerco común en el oeste de Estados Unidos.

## 6.1 Situación mundial de los bovinos carne

### 6.1.1 Producción mundial

Con cifras de la Asociación Mexicana de Engordadores de Ganado bovino (AMEG), en 2020 Estados Unidos lideró la producción mundial de ganado de carne con un volumen producido de 12.4 millones de toneladas (t), equivalente al 21.5% del total mundial (AMEG, 2023) (Cuadro 1), le siguieron Brasil y China; en tanto México ocupó la séptima posición con 2.0 millones de t (Gráfico 1).

Para 2021, la información oficial mostró que Estados Unidos mantuvo la primera posición con un total de 12.6 millones de t de un total mundial registrado de 57.8 millones de t de carne de bovino (AMEG, 2023) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales países productores de ganado bovino, 2020. Cifras en millones de toneladas (t).

País	Año	
	2020	2021
Estados Unidos	12.389	12.684
Brasil	10.100	9.500
China	6.720	6.830
Europa	6.720	6.840
India	3.760	4.100
Argentina	3.170	3.045
México	2.079	2.120
Australia	2.125	1.915
Canadá	1.314	1.450
Rusia	1.378	1.380
Sudáfrica	0.950	0.985
Otros	6.792	6.928

Total

57.497

57.777

Fuente: AMEG, 2023.

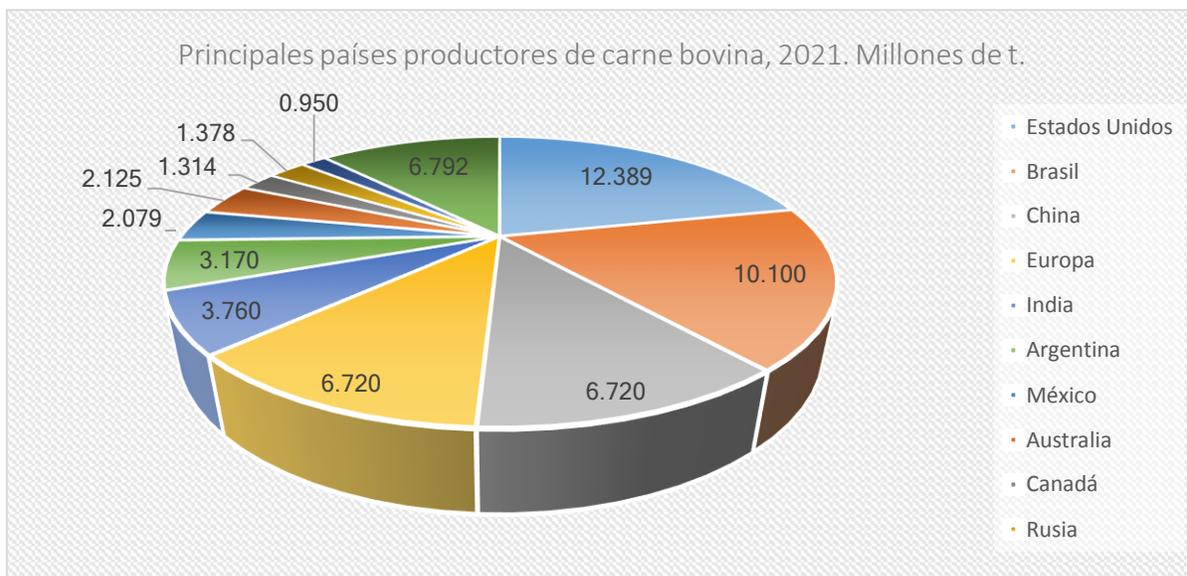


Gráfico 1. Países productores de carne bovina, 2021. Millones de t.

Fuente: AMEG, 2023.

En 2020, México mantuvo la misma posición con relación a los principales productores del cárnico, con un volumen que ascendió a 2.1 millones de t (AMEG, 2023), esto es un crecimiento anual de 1.9% con relación al año inmediato anterior (Gráfico 2).

La producción de carne bovina de México en 2021 representó 3.7% del total mundial registrado. El incremento marginal entre esos dos años significó 41,000 t que se agregaron a la oferta nacional disponible de 2021 (Gráfico 1).

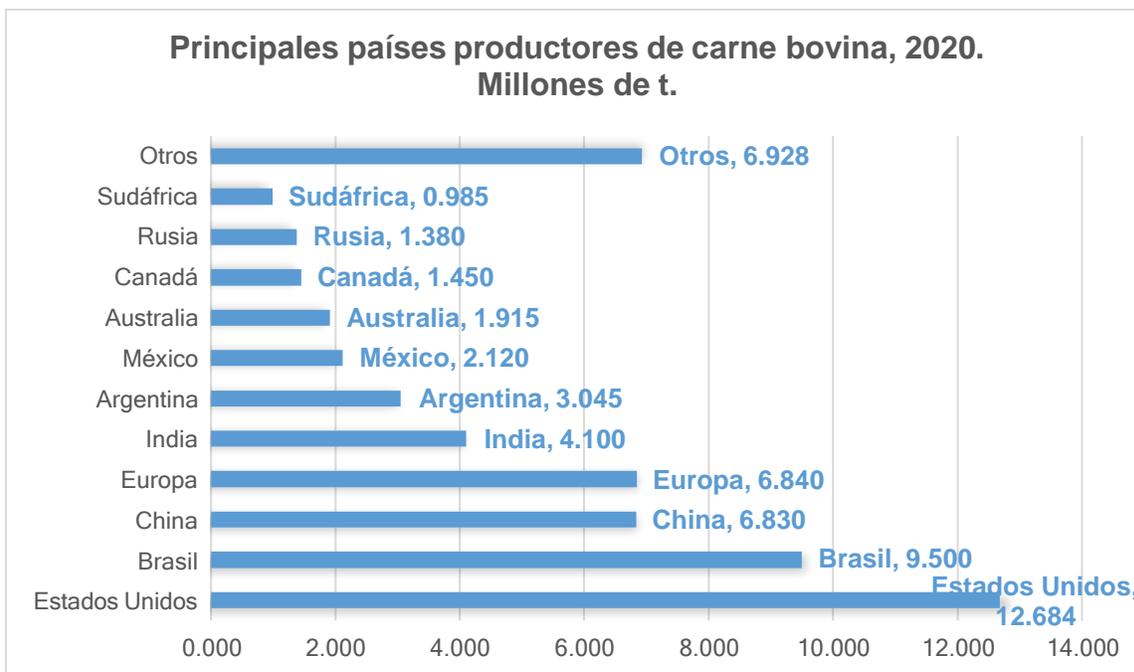


Gráfico 2. Principales productores mundiales de carne de res, 2020.

Fuente: AMEG, 2023.

### 6.1.2 Consumidores mundiales

En 2020, se consumieron en el mundo 56 millones 69 mil t de carne bovina (AMEG, 2023) y los principales consumidores fueron Estados Unidos de Norteamérica (EUA) (22.3%), China (16.9%) y Europa (11.6%); en tanto México ocupó la séptima posición con alrededor de 1 millón 898 mil t, equivalente al 3.4% del total mundial (Cuadro 2).

Cuadro 2. Principales países consumidores de carne de res, 2021. Millones de t.

País	Año
	Consumo interno
	2020
Estados Unidos	12.531
China	9.486
Brasil	7.609

Europa	6.521
India	2.476
Argentina	2.365
<b>México</b>	<b>1.898</b>
Rusia	1.708
Japón	1.295
Reino Unido	1.168
Canadá	1.047
Otros	7.965
Total	56.069

---

Fuente: AMEG, 2023.

Sin embargo, para 2021 el consumo mundial del cárnico (55 millones 995 mil t) tuvo un decremento marginal reportado en 0.13% equivalente a 74 mil t (AMEG, 2023), aunque pocos países como EUA, China y México reportaron un ligero incremento, el resto de los países representativos tuvieron una reducción en su consumo interno. De hecho, en 2021 también EUA, China y Brasil lideraron el consumo mundial y México siguió con la posición siete global con 1 millón 990 mil t, 4.8% por arriba de 2020 (Gráfico 3).

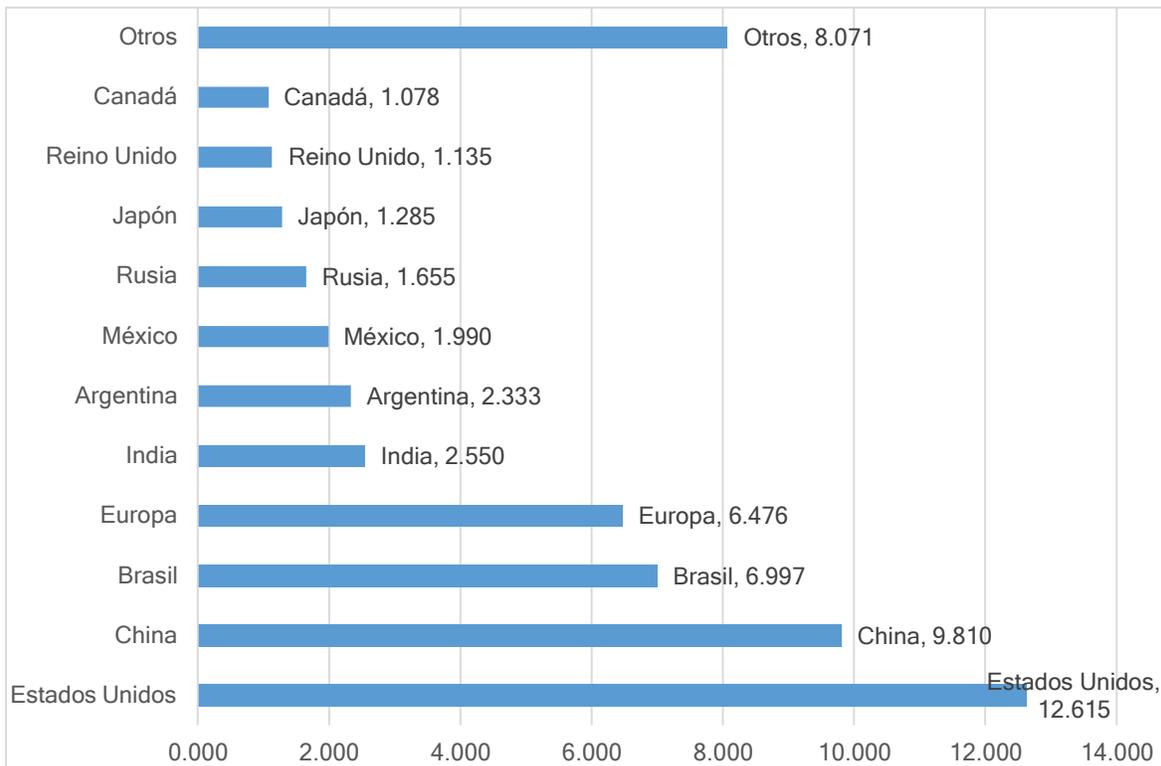


Gráfico 3. Principales consumidores mundiales de carne de res, 2021. Millones de t.

Fuente: AMEG, 2023.

### 6.1.3 Comercio mundial

#### Importaciones

En este trabajo el comercio mundial se expresa como el volumen importado y exportado del cárnico entre los principales compradores y vendedores globales. En 2020, EUA (15.8%), China (28.9%) y Japón (8.7%) lideraron las compras mundiales de carne de res, de un total global de 9 millones 602 mil t (Cuadro 3).

Cuadro 3. Principales países importadores de carne bovina, 2020. Millones de t.

País	Importaciones totales	
	2020	2021
Estados Unidos de América	1.516	1.445

China	2.782	3.000
Japón	0.832	0.815
Corea del Sur	0.549	0.595
Hong Kong	0.513	0.460
Reino Unido	0.407	0.385
Chile	0.313	0.380
Europa	0.285	0.32
Rusia	0.363	0.320
Egipto	0.230	0.300
Malasia	0.206	0.240
Otros	1.606	1.650
Total	9.602	9.910

Fuente: AMEG, 2023.

Para 2021, el volumen mundial importado se ubicó en 9.910 millones de t, ligeramente superior en 3.2% con relación a 2020. Algunos compradores (EUA, Japón, Hong Kong, etc.) redujeron su volumen importado, en tanto otros lo incrementaron (China, Chile, Europa) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Principales importadores de carne de res, 2020-2021. Millones de t.

País	Importaciones totales	
	2020	2021
Estados Unidos de América	1.516	1.445
China	2.782	3.000
Japón	0.832	0.815
Corea del Sur	0.549	0.595
Hong Kong	0.513	0.460
Reino Unido	0.407	0.385
Chile	0.313	0.380
Europa	0.285	0.32

Rusia	0.363	0.320
Egipto	0.230	0.300
Malasia	0.206	0.240
Otros	1.606	1.650
Total	9.602	9.910

Fuente: AMEG, 2023.

## Exportaciones

En 2020, con información de la AMEG (2023), las exportaciones mundiales de carne de res fueron 10 millones 434 mil toneladas y los principales vendedores que destacaron están Brasil (24.3%), India (12.3%), Australia (14.1%) y EUA (12.8%). Al respecto, México vendió 343 mil t (3.3% del total mundial) representando la posición número 10 (Gráfico 4).

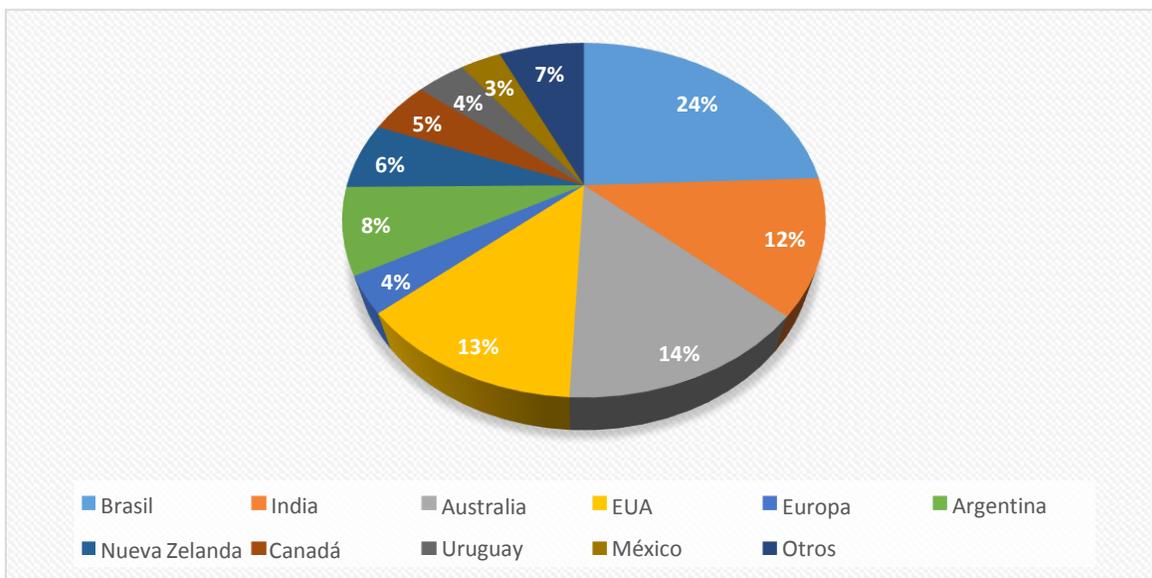


Gráfico 4. Carne de res en el mundo, 2020. Principales exportadores. Millones de t.

Fuente: AMEG, 2023.

Con base en el Cuadro 5, en 2021 el volumen mundial exportado aumentó en 810 mil toneladas (7.8%) en comparación con 2020. Destacaron en esta variable Brasil,

India, Australia y EUA que en conjunto colaboraron con 6 millones 964 mil t, equivalentes al 61.9% del total mundial (AMEG, 2023).

Cuadro 5. Principales exportadores mundiales de carne de res, 2021. Millones de t.

Exportaciones totales		
País	2020	2021
Brasil	2.539	2.575
India	1.284	1.550
Australia	1.476	1.290
EUA	1.341	1.549
Europa	0.350	0.685
Argentina	0.819	0.720
Nueva Zelanda	0.638	0.650
Canadá	0.513	0.595
Uruguay	0.412	0.480
México	0.343	0.330
Otros	0.719	0.820
Total	10.434	11.244

Fuente: elaboración propia, con datos de la AMEG (2023).

## 6.2. Situación nacional de los bovinos carne

### 6.2.1 Producción nacional

En 2021, con base en datos del SIAP (2023), México produjo 2.1 millones de toneladas de carne de bovino, mismas que se distribuyeron a lo largo y ancho del territorio nacional (Cuadro 6). Las principales entidades productoras de esa especie pecuaria tanto de interés económico como de interés zootécnico en el año mencionado (2021) fueron Veracruz (12.9%), Jalisco (11.7%), San Luis Potosí (6%)

Durango (5.4%), Baja California (5.2%) y Chiapas (5.1%), que en conjunto aportaron 46.3% al total nacional.

Así, mientras que Veracruz lideró la primera posición con 274,420 t la CDMX (Ciudad de México) fue la última con tan solo 553 t.

El precio medio rural que recibió el productor de este cárnico se ubicó en  $71 \pm 7.2$  \$/kg promedio nacional, donde el 7.2 fue la desviación estándar. Las entidades de Jalisco, Chihuahua, Nuevo León, entre otras presentaron el precio más alto, mientras que el más bajo lo registraron Campeche y Chiapas con 55 \$/kg (SIAP, 2023).

Con relación al valor de la producción, que proviene de multiplicar el precio del producto por la cantidad producida, naturalmente que las entidades que más producen o produjeron obtuvieron el valor más alto por el producto en comparación al resto del país.

Con referencia al peso a la venta en canal, en kilogramos de los bovinos carne, en 2021 el promedio nacional se ubicó en 249 kg, sin embargo, por entidad federativa Baja California registró el peso mayor con 290 kg, 16.5% arriba del promedio, en tanto que Guerrero y Oaxaca registraron los menores pesos, es decir, 30.3% inferior al promedio nacional (Cuadro 6).

Cuadro 6. México. Producción, precio, valor de la producción y peso de bovinos. 2021.

Estado	Producción (toneladas)	Precio (pesos por kilogramos)	Valor de la Producción (miles de pesos)	Peso (kilogramos)
Aguascalientes	44,879	81	3,628,611	259
Baja California	111,882	67	7,466,746	290
Baja California Sur	5,297	63	335,346	241
Campeche	22,594	55	1,246,670	219
Coahuila	53,775	66	3,528,103	244
Colima	11,422	72	822,876	239
Chiapas	109,306	55	6,022,674	229
Chihuahua	89,199	81	7,244,705	238
Ciudad de México	553	75	41,554	222
Durango	115,004	65	7,447,869	259
Guanajuato	57,629	77	4,428,454	260
Guerrero	43,188	67	2,883,405	202
Hidalgo	31,680	72	2,285,490	241
Jalisco	249,921	77	19,234,776	268
México	42,791	75	3,208,995	237
Michoacán	99,620	69	6,856,287	238
Morelos	6,847	68	465,011	227
Nayarit	18,284	81	1,472,022	220
Nuevo León	73,038	81	5,928,166	279
Oaxaca	64,773	68	4,412,320	202
Puebla	41,769	53	2,215,957	250

Querétaro	35,406	74	2,634,264	275
Quintana Roo	4,225	73	307,254	221
San Luis Potosí	129,163	74	9,597,341	277
Sinaloa	109,671	69	7,548,349	267
Sonora	76,180	79	6,038,682	236
Tabasco	75,465	75	5,674,595	238
Tamaulipas	45,363	76	3,454,385	268
Tlaxcala	8,639	74	641,479	224
Veracruz	274,420	68	18,716,809	244
Yucatán	33,092	76	2,509,188	220
Zacatecas	45,520	76	3,465,013	220
<b>Total</b>	<b>2,130,592</b>	<b>71</b>	<b>151,763,397</b>	<b>249</b>

Fuente: SIAP, 2023.

## 6.2.2. Exportación de bovinos en pie a Estados Unidos

Mientras que en 2010 se exportaron 1.3 millones de bovinos en pie, 92.3% fueron becerros, en 2021, la cifra se redujo a 2.1 millones. En ese periodo (2010-2021), la tasa media de crecimiento anual de las exportaciones fue 1.2%, mismas que incluyeron becerros y vaquillas (Cuadro 7).

Cuadro 7. Exportación de bovinos en pie hacia Estados Unidos, 2010-2020. Cifras en cabezas.

Año	Beceros	Vaquillas	Total
2010	1,169,002	89,898	1,258,900
2011	1,304,298	134,306	1,438,604
2012	1,135,103	264,267	1,399,370
2013	636,413	140,097	776,510
2014	744,022	179,064	923,086
2015	767,696	106,207	873,903

2016	604,177	46,423	650,600
2017	695,156	147,216	842,372
2018	772,318	202,040	974,358
2019	985,360	307,975	1,293,335
2020	1,075,364	342,729	1,418,093

Fuente: AMEG, 2023.

Las exportaciones de bovinos en pie hacia el país del norte han sido heterogéneas, con base en el Gráfico 5, el peor año en exportaciones de estos animales para carne fue 2016 al registrar sólo 650,600 animales, de los cuales 92.3% fueron becerros y el resto vaquillas. A partir de ese año, el crecimiento fue positivo hasta alcanzar un volumen vendido fuera del país de 1.4 millones de cabezas (Gráfico 5).

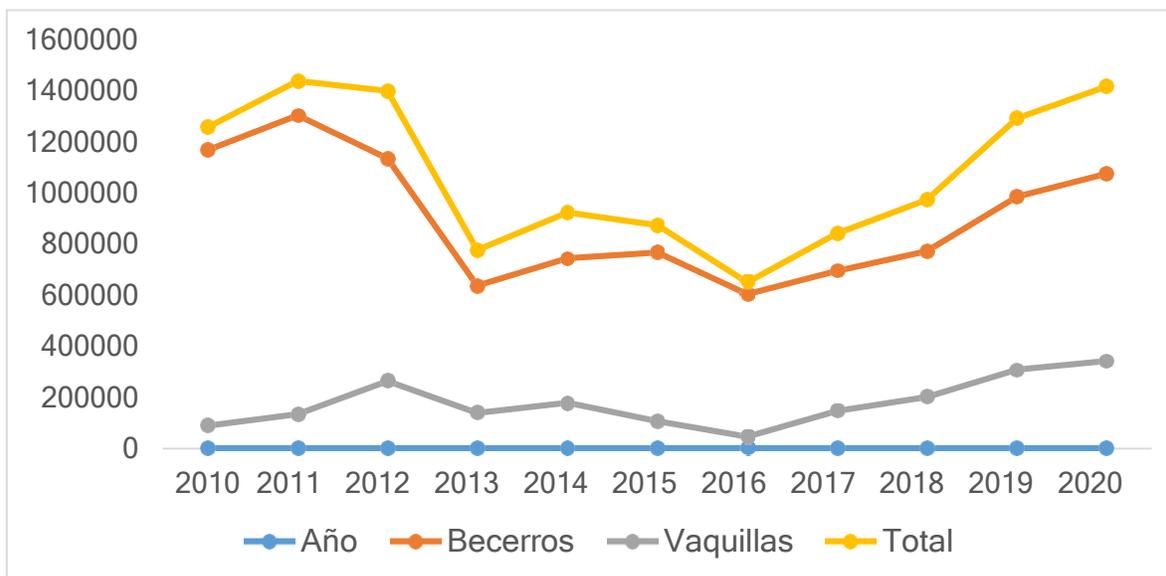


Gráfico 5. Exportación de bovinos a Estados Unidos, 2010-2020. En cabezas.

Fuente: AMEG, 2023.

Pese a que un alto porcentaje de las exportaciones de bovinos en pie desde México hacia el mundo, se realizan básicamente a Estados Unidos (USA), en 2016, año peor de dichas exportaciones, México vendió a Estados Unidos por un monto de 1,022 millones de dólares (USD) (93%) de un total de 1,100.3 millones de USD, le

siguieron Japón (3.6%), Hong Kong (1.3%), Canadá (1.2%), Corea del Sur (1.6%) y otros (Belice, Costa Rica, Panamá, El Salvador) (0.3%) (CEDRSSA, 2023).

De acuerdo con el FIRA (2016), en 2016 las exportaciones mexicanas de ganado en pie disminuyeron con relación a 2015 debido a que los precios del ganado, tanto para engorda como finalizado, en Estados Unidos disminuyeron debido a la recuperación del hato en ese país. Sin embargo, se considera que el mercado seguirá siendo atractivo. Por otro lado, una mayor retención de ganado para los corrales de engorda nacionales disminuirá los suministros exportables. Asimismo, se contó con expectativas de condiciones climatológicas que favorecieron una buena disponibilidad de pasturas durante 2016, por lo que las exportaciones de ganado vivo fueron bajas comparadas con las observadas durante la sequía de 2012.

### **6.2.3. Las negociaciones del TLCAN**

Con base en el CEDRSSA (2023), se supo, en su momento, que el ex presidente de Estados Unidos, Donald Trump, se opuso al TLCAN durante su campaña; de hecho, afirmó que el país norteamericano se saldría del pacto si era electo, no lo fue así.

Si Estados Unidos sale del TLCAN, y sin algún otro acuerdo regional o bilateral, la relación comercial con México sería normada por los pactos multilaterales suscritos en el marco de la Organización Mundial del Comercio (OMC), situación que implicaría el erosionar las ventajas que se tienen actualmente para exportar hacia ese mercado. Actualmente los envíos de carne de bovino mexicana al mercado del norte ingresan libre de arancel; sin embargo, sin el TLCAN se tendría que cubrir el arancel de Nación más Favorecida.

Por ejemplo, si se exporta carne de bovino fresca, refrigerada o congelada a Estados Unidos, el arancel de Nación más Favorecida podría ser de 26.4%, que es el especificado para algunas de las fracciones arancelarias, mientras que con el TLCAN, ahora TMEC es de “cero” %, por lo que la salida de ese país del Tratado si podría impactar significativamente los envíos mexicanos de algunos de los tipos de carne.

Sin embargo, si se les envía carne salada o en salmuera, así como salchichas y preparados de bovino, los aranceles acordados en la OMC son menores a 4.5%, e incluso “cero”, dependiendo de la clasificación arancelaria, por lo que las exportaciones hacia el norte de estos tipos de productos serían menos afectados.

Tampoco se dejaría de vender ganado de bovino en pie a ese destino, debido a que los aranceles de Nación más Favorecida son relativamente bajos, “cero” % o 1 centavo de dólar/kilogramo, dependiendo de la fracción; sin embargo, los envíos podrían seguir cayendo debido a otros factores, tales como restricciones fitosanitarias, zoonosanitarias, barreras técnicas al comercio o cambios en los gustos y preferencias de los consumidores.

Por otra parte, la carne fresca, refrigerada, congelada, salada o en salmuera, así como las salchichas y preparados de bovino, estadounidenses ingresarían a México, después de cubrir aranceles de 45%, mientras que sus envíos a México de ganado bovino en pie pagarían impuestos en el rango de 9-37.5%, por lo que Estados Unidos también se vería afectado con la terminación del tratado (CEDRSSA, 2023).

#### **6.2.4. Problemática de los bovinos carne en México**

En México, los bovinos productores de carne representan un subsector pecuario de importancia nacional, tanto por su importancia económica como alimenticia. El volumen doméstico no es suficiente para abatir la demanda interna de la población, de ahí que México, siempre tenga que incurrir a las importaciones, principalmente, de carne procesada y refrigerada, dado que carne en canal no se importa. Tales importaciones se realizan sin importar el precio de adquisición; es decir, simplemente se llevan a cabo sea cual sea el precio internacional vigente, pues el propósito es no caer en riesgo de escasez relativa y entrar en una situación de incrementos de precios al consumidor, misma que afectaría su limitado ingreso.

Con relación a las ventas externas de bovinos carne que México realiza, de acuerdo con el COMECARNE (2023), entre la proteína cárnica exportada por el país son de significado el volumen de productos de bovino y porcino. Así, en 2022 la participación unitaria de cada una de ellas cifró 56.3% y 38.4%, respectivamente. En la carne importada, por orden de importancia, la de porcino, pollo, res y pavo registraron compras significativas, la participación porcentual de cada una cifró: 54.9, 33.8, 6.3 y 4.5%.

En adición, las exportaciones que México realiza de proteína de bovino continúan su ruta de ascenso anual, por lo que la cantidad consignada al exterior presentó un nivel máximo histórico: 341 mil toneladas, 8% mayor al registrado en el año 2021 y que fue impulsada por las compras de Estados Unidos (288 mil toneladas) y Japón (32 mil toneladas). En contraste, las de porcino presentaron por segundo año consecutivo un decremento de 10.2%, consecuencia de la menor adquisición de China (23 mil toneladas), sin embargo, el volumen consignado a Japón (146 mil toneladas) remontó al del año previo.

Al finalizar 2022, las importaciones de productos cárnicos de cerdo conjuntaron un millón 503 mil toneladas que resultaron 9.6% mayores a las adquiridas en el año 2021. En este sentido, Estados Unidos canalizó al mercado mexicano un millón 218 mil toneladas, afianzando su primer sitio como proveedor principal del mercado mexicano. Un descenso registró el pollo, bovino y pavo con caídas de 0.2, 1.9 y 25.1%, respectivamente. La disminución de las importaciones de cárnicos de ave se debió a los problemas de abastecimiento por los que transitó Estados Unidos, de esta nación México adquirió el año pasado (2021) 773 mil toneladas de pollo y 101 mil de pavo.

Constantemente los productores se enfrentan a precios distintos de los insumos para la producción, como es el alimento y materia prima y, ante esta dinámica de tales precios, por lo general, se ve imposibilitado en aplicar estrategias pues la situación es inherente tanto al país como a eventos externos, en los que nada se puede hacer. Lo anterior, por supuesto que impacta en el costo de producción y precio de venta al consumidor.

Al respecto, estrategias de alimentación que impliquen reducción de costos, no son muchas, sobre todo para quienes producen en condiciones estabuladas y que manejan un volumen grande de animales. Engordadores con volúmenes reducidos en número de cabezas, por ejemplo los de doble propósito, incurren en estrategias como ensilar y asignar ensilado en la época crítica (durante el estiaje) para abatir dicho costo de alimentación.

La crisis en la ganadería se remonta al cambio de modelo económico a partir de los años ochenta del siglo pasado. Ella se agudizó con las políticas orientadas a favorecer a los grandes productores y por la profundización de la apertura comercial con la firma del TLCAN. La mayor parte de los ganaderos son pequeños productores con limitada y frágil vinculación al mercado, y que afrontan enormes dificultades para mantener su rentabilidad. Sin lugar a dudas, a pesar de los incrementos en la

producción tanto de carne como de leche en la última década, la situación de un gran número de ganaderos es precaria (Cavalloti, 2014).

Los ganaderos en particular, conviven entre un conjunto de problemáticas tan amplio que sólo la necesidad de subsistir y la tenacidad campesina del campo por no claudicar explican que aún se mantengan en la actividad. Por ejemplo, los programas de gobierno sólo llegan a un pequeño número de productores y estos recursos se vuelcan, preferentemente, a los agricultores y ganaderos grandes y, regionalmente hacia el norte del país (Robles, 2013).

El crédito para las actividades agropecuarias ha ido a la baja y llega a un escaso número de productores. Los productores no disponen de oportunidades para recibir capacitación ni con asistencia técnica; el extensionismo, prácticamente, no existe en México (OCDE, 2011), y aunque el modelo actual de prestadores de servicios profesionales (PSP) no ha sido evaluado, todo indica que no dio los resultados esperados.

En el Gobierno Obradorista han desaparecido varias instituciones, tal es el caso de Financiera Nacional para el Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero (FND) antes Financiera Rural; si de por sí, el crédito sólo se había estado otorgando a productores grandes, con tales acciones se promoverá aún más la eficiencia de la producción que, usualmente dependía del crédito. Cuando inició esta administración, en diciembre del 2018, se pensaba que esta institución sería una apuesta importante del gobierno federal para apoyar al campo, pues se manejaba la posibilidad de convertirlo en la Financiera Nacional Agropecuaria (Fonagro) para operar como banco de desarrollo, en lugar de organismo de fomento.

Sin embargo, este paso nunca se concretó y, contrario a esto, comenzó cada vez más a contraer su actividad y a presentar un deterioro en sus indicadores. Por ejemplo, al cierre del 2018, con la llegada del presente gobierno, FND contaba con

una cartera de crédito de 62,875 millones de pesos y al cierre del 2022, esta fue de 32,006 millones de pesos, una disminución de 49% en dicho periodo.

Asimismo, su índice de morosidad pasó de 7.9% a 25.9% en dicho periodo; es decir, un crecimiento de 228% en lo que va de este gobierno, con un deterioro en su índice de cobertura de cartera vencida, que pasó de 103% a 78.10%, una disminución de 24%.

Entre pugnas internas y decisiones poco acertadas, el organismo, que era un ancla importante para los intermediarios financieros con relación al campo, pasó a tener un patrimonio del orden de los 38,917 millones de pesos al cierre del 2018, a los 29,904 millones de pesos, a diciembre del 2022, un detrimento de 23% (El Economista, 2023).

Con referencia Gutiérrez (2023), en la iniciativa del Ejecutivo Federal, enviada a la Cámara de Diputados, con el fin de extinguir a la FND, el presidente calificó a esta institución como un "organismo atrofiado, incapaz de cumplir su objeto de impulsar el desarrollo rural, elevar la productividad y mejorar el nivel de vida de la población a través de los créditos al sector".

Según las cifras presentadas en el proyecto, correspondientes al 2021, del total de su colocación de crédito de ese año, 44.5% se otorgó vía 315 empresas de intermediación financiera (casi todas sofomes), que operaron un monto de 21,422 millones de pesos, mientras que el resto, 55%, se otorgó de manera directa a ejidatarios, productores y campesinos.

El problema, ante los ojos de López Obrador, es que apenas 198 intermediarios, de los 315 apoyados, gestionaron créditos en zonas de media, alta y muy alta marginación, lo que significó apenas 19.7% de la colocación total en segundo piso.

La FND les otorgó créditos sin garantías hipotecarias o de cualquier otro tipo que diera certeza al cumplimiento de sus obligaciones de pago", se puede leer en el proyecto.

Adicionalmente, la iniciativa señala la concentración de la cartera de dicho organismo, pues tan sólo con los datos del 2021, se registró que 10 de sus clientes concentran 49.8% del total de la cartera vencida, lo cual, para el presidente, exhibe la forma en que se otorgaron los créditos: a grandes intermediarios y de una manera totalmente ajena a los productores y necesidades del campo.

Sin ahondar tanto en ello, el proyecto firmado por López Obrador culpa de la mala administración de los años anteriores, el incremento sustancial de la cartera vencida del organismo. "Obviamente, la falta de recuperación de los créditos otorgados ha perjudicado de manera crítica el patrimonio de la institución".

En una carta dirigida a los trabajadores de la FND, el actual director del organismo, confirmó la posible desaparición y explicó que dicha decisión se da como resultado de una incorrecta aplicación de políticas públicas y malos manejos que se habían arrastrado desde sexenios anteriores, así como del uso clientelar de la institución.

"Pese a sufrir los embates económicos de la crisis mundial, del Covid-19, redoblamos esfuerzos para recuperar la cartera vencida, misma que aumentó a raíz de la pandemia", expresó Hernández en el escrito.

Durante esta administración, la FND fue impactada por decisiones gubernamentales, que causaron pugnas internas y una parálisis casi total en su actividad.

Luego de la aprobación de una iniciativa, en el 2020 se avaló la desaparición de 109 fideicomisos sin estructura orgánica y uno de ellos era el Fondo de la Financiera Rural, que formaba parte del patrimonio de la FND.

Si bien, inicialmente se preveía que la desaparición del fondo (que se dio durante el 2021) afectaría al menos 40% del patrimonio de la FND, al final el impacto fue menor, gracias al apoyo del gobierno federal a este organismo.

Sin embargo, la responsabilidad del manejo de este organismo durante esta administración recae en tres personajes clave: el primer director de la FND, actual director y en el ex coordinador de asesores del secretario de Hacienda.

El pasado 15 de diciembre de 2022, una senadora del PRI, solicitó a la Secretaría de Hacienda un informe detallado respecto a la FND y destacó que, durante la gestión del Director, el organismo adquirió un core bancario con un costo de 800 millones de pesos, el cual hasta esa fecha continuaba sin operar.

Asimismo, la senadora señaló al actual director de restringir la actividad de crédito sólo a acreditados que podían dejar garantías físicas superiores al valor del préstamo. En este contexto, se quiso poner un orden en la institución, lo cual no le dio tiempo de aterrizar, pues su salida de la Secretaría de Hacienda se dio en septiembre pasado.

En diciembre del 2022, la FND avisó que pausaría todo otorgamiento de créditos y daría prioridad a pagos anticipados que se tuviera con organismos internacionales. Tan sólo en enero de 2023, el organismo realizó pagos adelantados al Banco Interamericano de Desarrollo y al Banco Mundial por un monto total de 4,237 millones de pesos.

Si bien, desde octubre del 2022, la institución negaba que no se preveía su desaparición, la pausa en su actividad crediticia fue vista como el primer paso hacia su extinción.

Para los conocedores del tema, uno de los problemas históricos de este organismo fue el de la infraestructura, pues las 94 agencias con las que contaba al cierre del 2022 fueron insuficientes para atender toda la demanda y ayudar a su operación.

Pese a que la creación de este organismo fue hace 21 años, sus antecedentes datan desde 1926, cuando se creó el Banco Nacional de Crédito Agrícola y en 1935, cuando se creó el Banco Nacional de Crédito Ejidal, entidades que en 1975 dieron paso a la creación Banco Nacional de Crédito Rural, el organismo antecesor de la FND (Gutiérrez, 2023).

Aunado a que la investigación para el desarrollo tecnológico, en lo general, está desvinculada de la propia investigación y alejada de la problemática ambiental tanto como de aspectos de inocuidad alimentaria. La volatilidad en los precios de los insumos es una tendencia que seguramente estará presente en los próximos años, en virtud de la financiarización de las empresas generadoras de estas mercancías, proceso que trae consigo el dominio de la especulación sobre la producción. Ello, sin lugar a dudas, ha estado ocasionando efectos nocivos para la ganadería.

### **6.3 Los modelos de equilibrio espacial**

La programación matemática para resolver el problema de equilibrio espacial de mercados, comenzaron a utilizarla Enke y Samuelson a través del estudio de mercados separados espacialmente, en los que se formuló el problema maximizando el área bajo la curva de demanda total menos el área bajo la misma, obteniendo así una estimación del bienestar social (Enke, 1951; Samuelson, 1952).

Pocos años adelante (en 1964), Takayama y Judge avanzaron más y ampliaron el modelo de equilibrio espacial a través de la incorporación del modelo de transporte con funciones de demanda y oferta implícitas que permitían la determinación de precios y cantidades que se pueden comercializar de forma endógena (Takayama y Judge, 1964); por lo que entonces, el modelo puede aplicarse al análisis de situaciones en las que el consumo y la producción no ocurren en las mismas áreas geográficas.

Luego entonces la solución del modelo refleja cantidades que pueden ser comercializadas siempre y cuando los precios difieran en una cantidad mayor que las implicadas por costos de transporte interregional.

Dicho así, los modelos de equilibrio espacial se han estado utilizando, con frecuencia, para analizar problemas relacionados con el comercio entre regiones y se pueden expandir para poder incorporar tanto a países multiimportadores y multiexportadores como a varios productos y, son de utilidad para simular el efecto que tienen en los mercados la aplicación de medidas de comercio internacional, como cuotas, cupos de importación, subsidios, impuestos, aranceles, embargos, entre otros (McCarl y Spreen, 1997).

De hecho, puede afirmarse que la diferencia entre modelos de equilibrio espacial y los de equilibrio parcial o general, radica en que los primeros asignan los recursos

por regiones o áreas (espacios) y por la localización de la actividad económica, en tanto que los segundos modelan un mercado simple e ignoran las repercusiones en otros mercados y establecen un equilibrio para todos los mercados (McCarl y Spreen, 1997).

Un modelo de equilibrio espacial se utiliza en el análisis de la competencia interregional y regional en productos agropecuarios, por ejemplo en leche en Estados Unidos (Chavas *et al.*, 1993) y en el mercado regional de la leche en Japón (Yavuz *et al.*, 1996).

Con base en Guajardo y Elizondo (2003), el modelo de equilibrio espacial permite el uso de ofertas y demandas funcionalmente dependientes del precio (funciones de demanda y oferta inversas) y con distintos grados de estructuras de mercado.

#### **6.4. Las condiciones Karush-Kuhn-Tucker**

Las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker (también conocidas como las condiciones KKT o Kuhn-Tucker), se dice que son condiciones necesarias y suficientes para que la solución de un problema de programación sea óptima. Se afirma que esta condición es una generalización del método de los multiplicadores de Lagrange.

Las condiciones de Karush-kuhn-Tucker constituyen la base para el desarrollo de muchos algoritmos computacionales y determinaron un criterio de parada para muchos otros, logrando establecer cuando ha sido alcanzado un óptimo local restringido. En los problemas diferenciables de optimización no restringida la condición necesaria para que una solución sea un mínimo local es que se anule el gradiente. Por el contrario, esta propiedad no es cierta para problemas diferenciables restringidos.

La importancia de este teorema (el de KKT) radica en que dice que se puede asociar una función de utilidad a unas preferencias, esto abre la puerta de la potente herramienta del análisis matemático al estudio del comportamiento del consumidor.

Normalmente el procedimiento consiste en resolver el problema no lineal como uno sin restricciones, luego si la solución óptima de dicho problema no cumple la totalidad o parte de las restricciones del problema se activan dichas restricciones (en conjunto y/o secuencialmente) y se resuelve nuevamente (Rebollar, 2021).

## **6.5 El teorema de Karush-Kuhn-Tucker**

Con base en Martínez (2019), el teorema de Karush-Kuhn-Tucker es el primer y principal resultado de toda una teoría que se desarrolló a su alrededor y que dio lugar posteriormente a la programación no lineal.

Básicamente, el teorema de Karush-Kuhn-Tucker tuvo dos orígenes muy distintos. Primero, hay que hablar del matemático estadounidense William Karush (1917-1997), quien cursó los estudios de matemáticas en la Universidad de Chicago y cuyo trabajo de fin de máster tenía como título “Minima of functions of several variables with inequalities as side conditions (1939)”. La motivación de Karush era extender un artículo publicado el año anterior por el que, en aquel momento, era el jefe del Departamento de Matemáticas de la Universidad de Chicago y que tenía por título “Normality and abnormality in the calculus of variations”. El resultado que demostró Karush en su trabajo en 1939 pertenece indudablemente al campo de la programación no lineal, pero esta área no existía en aquel momento.

El Departamento de Matemáticas de la Universidad de Chicago, fundado con la apertura de la misma en 1892, estaba dirigido por E. Moore junto con G. Bolza y H. Maschke, quienes condujeron al departamento a ser uno de los más influyentes en matemáticas en Estados Unidos, especialmente en cálculo de variaciones. Bolza

estaba profundamente interesado en esta rama de las matemáticas y creó un amplio y fuerte grupo de investigación dedicado única y exclusivamente al cálculo de variaciones. Este grupo fue conocido posteriormente como la Escuela de Chicago en cálculo de variaciones y estaba formada tanto por profesores como por alumnos interesados. Hay que mencionar que Bolza se interesó en el cálculo de variaciones tras asistir a una conferencia de K. Weierstrass en 1879.

En 1908, Maschke falleció y, dos años después, Bolza regresó a Alemania, su país natal. Chicago perdió así a dos líderes matemáticos, lo que se tradujo en un declive que acabó con la llegada al departamento de un nuevo equipo liderado por A. Bliss. Entre 1927 y 1941, el nuevo departamento y, sobre todo, Bliss, que fue alumno de Bolza, continuaron con la tradición de los anteriores líderes y, de nuevo, el departamento se caracterizó por un intenso estudio en cálculo de variaciones que ocupó la mayor parte de la investigación matemática en Chicago. De hecho, entre 1927 y 1937, Bliss dirigió treinta y cinco tesis doctorales, de las cuales treinta y cuatro pertenecían al cálculo de variaciones. Como estudiante en Chicago, Karush fue producto de esta tradición. En su trabajo, Karush demostró una condición necesaria para la existencia de mínimo local de una función de varias variables  $f = f(x_1, \dots, x_n)$  sujeta a desigualdades de la forma  $g_1(x) \geq 0, \dots, g_m(x) \geq 0$  con  $n, m \in \mathbb{E}$ . Karush llevó a cabo su trabajo en 1939 mientras que la Escuela de Chicago se centraba en problemas de cálculo de variaciones con restricciones de desigualdad.

Continuando con Martínez (2019) y respetando su redacción, en segundo lugar, se encuentran a los matemáticos Albert W. Tucker (Canadá, 1905-1995) y Harold W. Kuhn (California, 1925-2014), que eran, respectivamente, profesor y alumno en la Universidad de Princeton. Kuhn y Tucker dieron una conferencia en verano de 1950 en Berkeley (Simposio de Berkeley), California, donde enunciaron y demostraron su descubrimiento (lo que hoy en día se conoce por teorema de Karush-Kuhn-Tucker). En esta conferencia aparece por primera vez en la historia el nombre programación no lineal. El objetivo de Kuhn y Tucker era generalizar la programación lineal, que

ya había surgido años antes de la mano de Dantzig. A diferencia de Karush, Kuhn y Tucker no tuvieron ningún inconveniente, adquirieron fama casi instantánea en el mundo de las matemáticas y la gente empezó a referirse al resultado como el teorema de Kuhn-Tucker a secas. Lo que Kuhn y Tucker no sabían es que su resultado no era para nada novedoso. Karush, once años antes, obtuvo prácticamente lo mismo, solo que él utilizaba otras herramientas y notación en la demostración.

En 1975, cuando Kuhn y Tucker se enteraron de que el teorema ya había sido probado por Karush en 1939, le escribieron inmediatamente por carta para reconocer su trabajo y prioridad en este asunto. Se trata, pues, de un descubrimiento múltiple y hoy en día la comunidad matemática se refiere al resultado como teorema de Karush-Kuhn-Tucker, apareciendo el apellido Karush en primer lugar ya que este lo demostró once años antes que Kuhn y Tucker; pero, ¿por qué el resultado de Karush pasó desapercibido y tan solo once años después el mismo resultado tuvo tanta fama y reconocimiento? Pues bien, la respuesta a esta pregunta, según la profesora e historiadora de matemáticas T. H. Kjeldsen, está en el contexto histórico y social en el que nació el teorema.

El fin de la Segunda Guerra Mundial supuso también la igualdad entre matemática pura y matemática aplicada. Antes de la guerra, la matemática pura era la que gobernaba y dominaba el mundo de las matemáticas, pero, durante la guerra, muchos matemáticos dedicados hasta entonces a la investigación en matemática aplicada fueron contratados por diversas organizaciones involucradas en la guerra, como, por ejemplo, el Ejército, para que diseñaran métodos de planificación de programas, una herramienta de las Fuerzas Armadas para llevar a cabo enormes planteamientos logísticos.

Es más, el propio G. Dantzig, contratado por las Fuerzas Armadas en 1941, fue el principal responsable de lo que hoy en día se conoce como programación lineal

(que nació durante la guerra bajo el nombre de programación en estructura lineal) y del famoso y sencillo método que resuelve un programa lineal, a saber, el método símplex (ideado por el propio Dantzig). Y así es como estos antecedentes del surgimiento de la programación no lineal justifican la obtención de los resultados que se presentan en la sección siguiente.

## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7.2. Obtención del modelo base

El modelo base también se le llama modelo óptimo, debido a que es el que el modelo de programación estimó o el modelo que se ajustó a la información utilizada en el año de análisis, en este caso, tal año fue 2020 debido a que hubo información disponible total necesaria en él (Rebollar, 2019a).

El Cuadro 1 presenta la salida de resultados del modelo base y su comparación con la información del año de análisis (2020). En tal cuadro puede observarse lo que el modelo optimizó y lo que se observó en 2020.

Tabla 1. Mercado de carne bovina en México, 2020. Obtención del Modelo base.

Región	Observado	Modelo base	Cambio	Cambio %
Producción (t)				
Noroeste (NO)	317,321	317,267	-54	-0.02
Norte (NR)	419,407	419,092	-315	-0.08
Noreste (NE)	112,736	112,675	-61	-0.05
Centro-Occidente (CO)	450,633	450,605	-28	-0.01
Centro-Este (CE)	164,486	170,281	5,795	3.52
Sur (SU)	213,255	216,842	3,587	1.68
Oriente (OR)	342,601	343,903	1,302	0.38
Península de Yucatán (PE)	58,923	58,926	3	0.01
Subtotal	2,079,362	2,089,591	10,229	0.49
Importaciones (t)				
Punto de internación 1	121,630	129,660	8,030	6.60
Punto de internación 2	13,514	14,270	756	5.59
Subtotal	135,144	143,930	8,786	6.50
Consumo (t)				

Noroeste (NO)	206,923	214,147	7,224	3.49
Norte (NR)	231,367	233,451	2,084	0.90
Noreste (NE)	163,647	167,528	3,881	2.37
Centro-Occidente (CO)	376,440	383,903	7,463	1.98
Centro-Este (CE)	730,204	732,171	1,967	0.26
Sur (SU)	232,263	227,346	-4,917	-2.11
Oriente (OR)	183,910	183,684	-226	-0.12
Península de Yucatán (PE)	89,752	91,293	1,541	1.71
Subtotal	2,214,506	2,233,523	19,017	0.85
VSN (MMDP)	14,073	14,074	0.6	0.004

Fuente: elaboración propia con resultados del modelo base u óptimo, 2020. VSN: Valor Social Neto.

En México, la carne de bovino se transporta por carretera y en frío. En su mayoría se utilizan camiones tipo semirremolque de dos ejes con altura de cuatro metros (m), 2.5 m de ancho y una longitud de 12.2 metros (m), el costo por tonelada (t) por kilómetro (km) recorrido ya integra el retorno de la unidad vacía (Morales y de la Torre, 2006).

Así, se dice que sin distorsiones al mercado de la carne de bovino en México en 2020; esto es, bajo condiciones óptimas, sin intervención del Estado con alguna política comercial que determine cambios en el mercado del cárnico; el modelo de programación no lineal estimado maximizó la función objetivo-propuesta.

El ajuste del modelo de programación y sus resultados se conoce como modelo base o modelo óptimo y, la estimación, entre lo estimado y lo observado, fue de 0.004%, tal porcentaje se haya dentro del rango de estimación aceptado que debe ser entre 0 y 10% (Rebollar *et al.*, 2019a), en consecuencia, el modelo óptimo ya se considera como válido para realizar cualquier análisis de política comercial pertinente, por ejemplo efecto de aranceles a la exportación/importación, cuotas de

importación, cuotas compensatorias, impuestos a la producción; que por cierto, en este trabajo no se realizó debido a que no fue el objetivo propuesto.

Así, en este trabajo, el Valor Social Neto (VSN) óptimo, dado por el modelo, fue 14 mil millones de pesos, superior en 0.004% al observado en el año de análisis (Cuadro 1).

Por región, la maximización del VSN recomendó una redistribución de la producción nacional de carne de bovino diferente a la observada (0.49%) en el año de análisis; en otras palabras, el modelo base o modelo óptimo sobreestimó a la producción nacional, a las importaciones (6.5%) y al consumo (0.86%); eso significa que los valores estimados por el modelo de esas variables fueron mayor al observado.

La optimización del modelo mencionó que, en cuatro regiones productoras de México de carne bovina, que fueron la NO, NR, NE y CO, el volumen que debió haberse generado fue menor al observado. La región de la Península de Yucatán (PE), debido a su ubicación geográfica se consideró como autosuficiente; pese a lo sugerido por el modelo de haber incrementado producción en sólo tres toneladas del cárnico.

Con referencia al consumo, el modelo expuso incrementar dicha variable en todo el territorio nacional, excepto en la región Sur (SU) del país con una reducción de casi cinco mil t (Cuadro 1).

### 7.3 Análisis de la producción óptima

La producción mexicana de carne bovina es óptima desde el momento en que se cumpla la condición matemática en la que el precio de mercado al productor y el precio óptimo al productor (el que da la salida del modelo) de carne bovina sean iguales (Cuadro 2).

Se observa que para todas las regiones productoras, si bien, los precios se comportaron como diferentes, en lo general se cumple tal condición, excepto que por la utilización de decimales la diferencia aritmética de la estimación no cerró en cero.

Cuadro 2. México. Oferta de carne bovina Condiciones de optimización.

Región	Producción óptima (t)	Precio de mercado al productor (S/t) A	Precio óptimo al productor (\$/t) B	Diferencia (A- B)
NO	317,267	66,631	66,629	2
NR	419,092	70,953	70,952	1
NE	112,675	70,939	71,126	-188
CO	450,605	72,211	72,227	-16
CE	170,281	73,379	73,378	1
SU	216,842	72,353	72,353	0
OR	343,903	72,079	72,079	0
PE	58,926	74,701	74,215	486
PI1	129,660	70,240	70,240	0
PI2	14,270	69,290	66,536	2,754

Fuente: estimaciones propias con resultados de la salida del modelo base.

El precio de mercado al productor de carne bovina se estimó con su respectiva ecuación, mencionada en la sección de la metodología; en tanto que el precio óptimo al productor de carne bovina ya lo asigna la salida del modelo.

A manera de ejemplo para la determinación del precio de mercado al productor de carne bovina es el siguiente: para la región NO (Noroeste) de México, la ecuación del precio endógeno (es decir, la del precio de mercado) fue  $P_{NO} = -13,724,267 + 43.4678 (X_{NO})$ , donde  $X_{NO}$  fue la variable que expresó la producción óptima de la región NO dada por la salida del modelo; misma que fue 317,267 t de carne bovina; así, el precio de mercado calculado fue 66,631 \$/t (por cuestión de decimales, el precio debió ser 66,629).

En tanto que el precio óptimo, dado por el modelo base para la misma región, fue 66,629 \$/t, la diferencia en ambos precios fue de dos unidades monetarias.

La condición anterior se consideró necesaria y suficiente para que se den precios y consumos óptimos positivos (Rebollar *et al.*, 2019a). El cálculo fue similar para el resto de las regiones del país. En este caso, 6.1% del consumo nacional de carne de bovino tendría como origen el mercado internacional (PI1 y PI2) y la región CO, como principal productora, debería producir 21.7% del total nacional.

## 7.4 Consumo óptimo

Con referencia a la demanda de carne bovina, la función endógena del precio estimada (Cuadro 3) para la región Noroeste (NO), fue  $P_{NO} = 257,764 - 0.874790 Y_{NO}$ ; en este caso, en lugar de  $Y_{NO}$  (consumo óptimo,  $Y_d$ ) se coloca el valor dado por el modelo que fue de 214,147 t y, al sustituirlo en la ecuación del precio endógeno, el resultado fue:  $P_{NO} = 257,764 - 0.874790 (214,147) = \$70,431$  \$/t.

Este valor (el de \$70,431) es lo que se considera o se entiende, en esta terminología, como precio de mercado al consumidor; en tanto que el precio óptimo ( $\bar{\sigma}_d$ ) al consumidor para la misma región (dado en la metodología), fue 70,430 \$/t; la diferencia aritmética, por redondeo, en ambos precios debería ser cero, cumpliéndose la condición matemática (condición de optimización) de consumos óptimos positivos.

La región CE (Centro-Este) de México consumió 32.8% y la NE (Noreste), solamente 4.1% del volumen total nacional; estimaciones realizadas con base en el consumo *per cápita* reportado por COMECARNE (2021a); el consumo se relaciona directamente con el número de consumidores, más que del precio.

Cuadro 3. México. Condiciones de optimización Karush-Kuhn-Tucker para la demanda de carne bovina, 2020.

Región	Consumo óptimo (t)	Precio de mercado al consumidor (\$/t) A	Precio óptimo al consumidor (\$/t) B	Diferencia (A-B)
NO	214,147	70,431	70,430	1
NR	233,451	72,423	72,420	3
NE	167,528	71,702	71,700	2
CO	383,903	76,900	73,020	3,880
CE	732,171	74,003	74,000	3
SU	227,346	74,233	74,230	3
OR	183,684	73,082	73,080	2
PE	91,293	74,865	74,870	-5

Fuente: cálculos propios, con base en resultados del modelo base.

## 7.5 Flujos comerciales óptimos

La determinación del margen de comercialización entre las regiones que comercializaron carne bovina en México en 2020 fue igual o mayor que cero (Cuadro 4), lo cual coincidió con la investigación de Rebollar *et al.* (2019b) en carne de cerdo en México y con la de Rebollar (2021) para el mercado de la carne de pollo también para México; lo anterior se aceptó como condición necesaria y también suficiente en la activación de rutas óptimas de comercialización y/o distribución de carne bovina del país, afirmación que contribuye a la condición de optimización de Karush-Kuhn-Tucker derivada del modelo Lagrangeano o del modelo de Lagrange.

Por ejemplo, la ruta de abasto y distribución de carne bovina dada por  $X_{4,5}$  (esto es, de la región 4 que es la CO a la región 5 que es la CE de México) (Tabla 5) se activó porque el precio óptimo al consumidor de la región CE  $(\bar{\sigma}_{kt})$  fue mayor al precio

óptimo al productor ( $\Xi$ ) de la región CO y, el costo de transporte por tonelada comercializada de la región CO a la región CE fue inferior al margen obtenido (Cuadro 4).

Otras rutas de comercialización de carne bovina, entre regiones, no se visualizan en el Cuadro 4, debido a que el margen de comercialización fue menor, en magnitud, que el costo de transporte por tonelada de carne bovina.

Cuadro 4. México. Carne de bovino. Rutas de óptimas comercialización por región, 2020.

Ruta activada (Xsd)	Margen (\$/t)	Costo de transporte (\$/t)	Diferencia
X <sub>1,1</sub> (NO a NO)	3,811	3,801	10
X <sub>2,2</sub> (NR a NR)	1,476	1,471	5
X <sub>2,5</sub> (NR a CE)	3,059	3,050	9
X <sub>3,5</sub> (NE a CE)	3,060	2,877	183
X <sub>4,4</sub> (CO a CO)	793	793	0
X <sub>4,5</sub> (CO a CE)	1,808	1,775	33
X <sub>66</sub> (SU a SU)	1,888	1,880	8
X <sub>65</sub> (OR a CE)	1,923	1,923	0
X <sub>76</sub> (OR a SU)	2,154	2,154	0
X <sub>77</sub> (OR a OR)	1,005	1,004	1
X <sub>88</sub> (PE a PE)	655	650	5
XP <sub>11,3</sub> (P <sub>11</sub> a NE)	1,464	1,463	1
XP <sub>11,5</sub> (P <sub>11</sub> a CE)	4,095	4,095	0
P <sub>12,NO</sub> (P <sub>12</sub> a NO)	4,323	4,321	2
P <sub>12,NR</sub> (P <sub>12</sub> a NR)	5,887	5,887	0

Fuente: cálculos propios, con base en resultados del modelo base, 2020.

Los resultados del Cuadro 4, fueron producto de la matriz de abasto y distribución de carne bovina en México generada por el modelo de optimización (Cuadro 5). La sumatoria debe ser la misma entre hileras y columnas; por hileras significa lo que una región envía a otra región, y por columnas lo que recibe.

Cuadro 5. México. Matriz de abasto y distribución de carne bovina por región. Cifras en toneladas.

Región	NO	NR	NE	CO	CE	SU	OR	PE	Total
NO	214,147			103,120					317,267
NR		219,181			199,911				419,092
NE			37,868		74,808				112,676
CO				280,783	169,822				450,605
CE					170,281				170,281
SU						216,842			216,842
OR					117,349	10,503	183,684	32,367	343,903
PE								58,926	58,926
PI1			129,660						129,660
PI2		14,270							14,270
Total	214,147	233,451	167,528	383,903	732,171	227,345	183,684	91,293	2,233,522

Fuente: elaboración propia con resultados de la salida del modelo con el software GAMS.

## 7 CONCLUSIONES

Con referencia a las condiciones en las que se planteó este trabajo, se confirma que el modelo de programación no lineal optimizó las variables de mercado: producción, importaciones y consumo de carne bovina en México en 2020. Los precios óptimos y los precios de mercado tanto al consumidor como al productor, así como el diferencial entre el margen de comercialización y el costo de transporte constituyeron la base para la visualización de la activación de rutas de distribución de esa carne entre las diferentes regiones de México; situación que se consideró condición necesaria y suficiente para la demostración de las condiciones de optimización de Karush-Kuhn-Tucker obtenidas del modelo Lagrangeano. Las restricciones del problema, así como el criterio de optimalidad conocido como multiplicadores de Lagrange quedaron satisfechos, por lo que, los resultados del modelo que se estimó son válidos para aplicar, de ser necesario, escenarios de política comercial sobre los que se centre el interés de la política gubernamental o de los que, en algún momento, sean del interés dentro de la política pública del país.

## 8 BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- AMEG. Asociación Mexicana de Engordadores de Ganado bovino. (2023). Estadísticas. <https://www.ameg.org.mx/estadisticas.html>. Consulta el 21 de febrero de 2023.
- Almazán Figueroa, O., Rebollar Rebollar, S., Velázquez Villalva, H. H., Gómez Tenorio, G. & Hernández Martínez, J. (2018). Efectos de depreciación del peso mexicano sobre el mercado de la carne de cerdo. *Agronomía Mesoamericana*, 29(3), 557-569. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/30105/33988>.
- Andreani R., Martínez M. J., Schuverdt, L. M. (2005). Technical note: on the relation between constant positive linear dependence condition and quasinormality constraint qualification. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 125(2), 473-485. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10957-004-1861-9>.
- Bassols Batalla, A. (1995). El Desarrollo Regional de México: teoría y práctica Libros de la Revista Problemas del Desarrollo. Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México, 43-75.
- BANXICO. Banco de México. (2021). Tipo de cambio. Disponible en <https://www.banxico.org.mx/tipocamb/tipCamIHAction.do>. Consulta el día 8 de septiembre de 2021.
- BGIO. Blog sobre la Gestión e Investigación de Operaciones. (2013). *Teorema de Karush Kuhn Tucker en PNL (Ejercicios Resueltos)*. Disponible: <https://www.gestiondeoperaciones.net/programacion-no-lineal/teorema-de-karush-kuhn-tucker-aplicado-a-un-problema-de-programacion-no-lineal/>. Consulta el 20 de septiembre de 2022.
- Boyd, S., Parikh, N., Chu, E., Peleato B., Eckstein, B. (2011). Distributed optimization and statistical learning via the alternating direction method of multipliers. *Foundations and Trends in Machine Learning*, 3(1), 1-122. doi: <http://dx.doi.org/10.1561/22000000016>.

- Budnick, F. (2007). *Matemáticas aplicadas para la administración, economía y ciencias sociales*. México, D. F.: McGraw Hill. Recuperado de: <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2019-09-19-210805-58%20Libro%20Programacio%CC%81n%20Lineal%20final.pdf>.
- Cavalloti, V. B. A. (2014). Ganadería bovina de carne y leche. Problemática y alternativas. *El Cotidiano*, 188, 95 -101. <https://www.redalyc.org/pdf/325/32532787008.pdf>.
- Cantú-Cuellar, R. (1996). *Programación no lineal*. Tesis, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/393/1/1080072405.PDF>.
- CEDRSSA. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. (2023). El comercio de bovinos en México en el marco del TLCAN y las negociaciones de los países parte. [http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/7EI%20comercio%20de%20bovinos%20en%20M%C3%A9xico%20en%20el%20marco%20del%20Tratado%20de%20Libre%20Comercio%20de%20Am%C3%A9rica%20del%20Norte%20\(TLCAN\)%20y%20las%20negociaciones%20con%20los%20pa%C3%ADses%20parte..pdf](http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/7EI%20comercio%20de%20bovinos%20en%20M%C3%A9xico%20en%20el%20marco%20del%20Tratado%20de%20Libre%20Comercio%20de%20Am%C3%A9rica%20del%20Norte%20(TLCAN)%20y%20las%20negociaciones%20con%20los%20pa%C3%ADses%20parte..pdf). Consulta el 23 de marzo de 2023.
- Chavas, J. P., Cox, T. L. & Jesse, E. V. (1993). Spatial Hedonic Pricing and Trade. University of Wisconsin-Madison. Department of Agricultural Economics Staff Paper, Vol. 367. Estados Unidos.
- Consejo Mexicano de la Carne. COMECARNE. (2021a). Compendio estadístico. [https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/05/Compendio\\_Estad%C3%ADstico\\_2021\\_VF.pdf](https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/05/Compendio_Estad%C3%ADstico_2021_VF.pdf). Consulta el día 10 de agosto de 2021.
- Consejo Mexicano de la Carne. COMECARNE. (2021b). Principales puntos de entrada para importaciones agropecuarias de los EE.UU a México. [https://comecarne.org/wp-content/uploads/2018/05/160901\\_Tijuana-](https://comecarne.org/wp-content/uploads/2018/05/160901_Tijuana-)

- [Septiembre-1-FAS-and-FSIS-combined-Final.pdf](#). Consulta el día 8 de septiembre de 2021].
- Consejo Mexicano de la Carne. COMERCARNE. (2022). Compendio estadístico. El mercado de la carne en México. [https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/10/El mercado de la carne en M%C3%A9xico.pdf](https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/10/El%20mercado%20de%20la%20carne%20en%20M%C3%A9xico.pdf). Consulta el día 18 de mayo de 2022.
- Consejo Mexicano de la Carne. COMECARNE. (2023). Comercio internacional mexicano de proteína cárnica. <https://comecarne.org/comercio-internacional-mexicano-de-proteina-carnica/>. Consulta el 19 de abril de 2023.
- Del Moral, B. L. E. y Murillo, V. B. (2005). Dinámica del mercado de la carne bovina en México: un análisis de competitividad. *Paradigma Económico*, 77(1):107-125.
- Enke, S. (1951). Equilibrium Among Spatially Separated Markets: Solution by Electric Analogue. *Econometrica* 19.
- Díaz-Fernández, Belarmino, A., Calzada-Infante, L. & Mar-Ortiz, J. (2021). *Formulación de modelos de programación lineal*. Recuperado de: <https://books.google.com.mx/books?id=HAhAEAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=modelos+de+programacion&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiV5Myg6JL6AhUmlGoFHT-BBMwQ6AF6BAgEEAI#v=onepage&q&f=false>. Consulta el 20 de septiembre de 2022.
- El Economista. (2018). México seguirá exportando carne bovina aún sin TLCAN. Disponible en: <https://www.eleconomista.com.mx/empresas/Mexico-seguira-exportando-carne-bovina-aun-sin-TLCANdirector-de-Mexican-Beef-20180124-0093.html> Consulta el día 9 de mayo de 2019.
- El Economista (2023). Financiera Rural se va como un organismo "atrofiado". <https://www.eleconomista.com.mx/sectorfinanciero/Financiera-Rural-se-va-como-un-organismo-atrofiado-pero-de-quien-es-la-culpa-20230415-0006.html>. Consulta el 18 de abril de 2023.

- Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura. FIRA. (2016). Carne de bovino 2016.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200632/Panorama Agroalimentario Carne de Bovino 2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200632/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Bovino_2016.pdf). Consulta el 23 de marzo de 2023.
- Gass, F. I. & Harris, C. M. (2001). KKT Conditions. En: S. I. Gass & C. M. Harris (Eds). *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*. NY. US: Springer. DOI: 10.1007/1-4020-0611-X\_498.
- Gómez, T. (2002). *Ecología Industrial. Producción Industrial Sostenible*. En Capuz, S y Gómez, Ecodiseño: Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles (pp. 21-42). España: Universidad Politécnica de Valencia. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/pdf/2150/215024822007.pdf>.
- González, I. (2013). *Definición del problema dual*, Disponible en:  
[http://dualidad1.blogspot.com/2013/10/definicion-del-problema-dual\\_27.html](http://dualidad1.blogspot.com/2013/10/definicion-del-problema-dual_27.html).
- Guajardo Quiroga, R. G. & Elizondo Giacoman, H. A. (2003). La liberación del Mercado mundial del tomate: un modelo especial con precios endógenos. *Comercio Exterior*, 53(2): 169-177.
- Gutiérrez, F. (2023). Financiera Rural se va como un organismo "atrofiado", ¿pero de quién es la culpa?.  
<https://www.economista.com.mx/sectorfinanciero/Financiera-Rural-se-va-como-un-organismo-atrofiado-pero-de-quien-es-la-culpa-20230415-0006.html>. Consulta el 18 de abril de 2023.
- Hernández Aguirre, P., Rebollar Rebollar, S., Gómez Tenorio, G. & Velázquez, Villalva, H. H. (2020). Efectos de una cuota compensatoria *ad valorem* sobre importaciones de carne de pollo en México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 6(1), 1-12.  
<http://revistas.uaem.mx/index.php/aap/article/view/117/44>.  
<https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061011>.
- Instituto Universitario Politécnico. IUP. (2014). *Condiciones Karush-Kuhn-Tucker, Modelos de Optimización*. Disponible en:

<https://psmmetodosdeoptimi.wixsite.com/optimizacion/condiciones-de-karush-kuhn-tucker>.

- Martínez, S. F. J. (2019). El teorema de Karush-Kuhn-Tucker, una generalización del teorema de los multiplicadores de Lagrange, y programación convexa. *TEMA*, 3, 33-44. <https://temat.es/articulo/2019-p33/2019-p33-pdf>.
- McCarl, B. A. & Spreen, T. H. (1997). Applied Mathematical Programming, notas de la clase AGECON 641. Texas A & M University.
- Moon Hee, K. & Gue Myung, L. (2013). On efficient applications of G. Karush Kuhn-Tucker necessary optimality theorems to objective programming problems. *Journal of Global Optimization*, 55(1), 5-11. <http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs10898-012-9949-5.pdf>.
- Morales-Pérez, C. G. & de la Torre-Moreno, M. E. (2006). Características del autotransporte refrigerado en México. Publicación Técnico 297, Instituto Mexicano del Transporte-Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Disponible en: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt297.pdf>. Consulta el 15 de noviembre de 2022.
- OCDE. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. (2011). *Análisis del extensionismo agrícola en México*. <http://www.SagarPa.gob.mx/DesarrolloRural/Documents/EXTENSIONISMO>. Consulta el 18 de abril de 2023.
- Pérez, V. F. C., García, M. R., Martínez, D.M.A., Mora, F. J. S., Vaquera, H. H., González, E. A. (2010). Efecto de las importaciones de la carne de porcino en el mercado mexicano, 1961-2007. *Rev. Mex. Cienc. Pecu*, 1(2):115-126.
- Puebla Albiter, S., Rebollar Rebollar, S., Gómez Tenorio, G., Hernández Martínez, J. & Guzmán Soria, E. (2018). Factores determinantes de la oferta regional de carne bovina en México, 1994-2013. *Región y Sociedad*, 30(72):1-17.
- Rebollar Rebollar, S. (2003). *Evaluación de las políticas comercial y cambiaria del mercado del sorgo en México*. Tesis de Doctorado. Programa de Economía.

Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, Estado de México.

- Rebollar Rebollar, A., Gómez Tenorio, G., Hernández Martínez, J., Rebollar Rebollar, S. & González Razo, F. J. (2014). Comportamiento de la oferta y demanda regional de carne de cerdo en canal en México, 1994-2012. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 5(4):377-392.
- Rebollar Rebollar, S., Martínez Damián, M. Á., Callejas Juárez, N. & Velázquez Villalva, H. H. (2019a). Eficiencia en el mercado de carne de cerdo en México. *Ciencia Ergo Sum*, 26(3):1-13, nov 2019-feb 2020. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n3a7>.  
<https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/9049/10190>.
- Rebollar Rebollar, S., Chiatchoua, C. & Gómez Tenorio, G. (2019b). Efectos de la aplicación de un impuesto en México: caso carne de cerdo. *Análisis Económico*, 34 (86):245-261. <http://www.analisiseconomico.azc.uam.mx/index.php/rae/article/view/425/336>.
- Rebollar Rebollar, S., Rebollar Rebollar, E., Guzmán Soria, E. & Hernández Martínez, J. (2020a). Determinantes de la demanda de carne bovina en México, 1996-2017: un análisis por regiones. *Debate Económico*, 9(1):65-84.
- Rebollar-Rebollar, S., Velázquez-Villalva, H. H., Gómez-Tenorio, G., Posadas-Domínguez, R. R. & Martínez-Castañeda, F. E. (2020b). Efectos de la aplicación de subsidios al mercado porcino en México. *Archivos de Zootecnia* 69(265):30-37. <https://doi.org/10.21071/az.v69i265>.
- Rebollar-Rebollar, S. (2021). Distribución de la carne de pollo en México: una aplicación de las condiciones Karush-Kuhn-Tucker. *Investigación y Ciencia*, 43(12):231-239. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021833069>.
- Rebollar-Rebollar, E., Rebollar-Rebollar, S. & Del Moral-Barrera, L. E. (2022). La demanda de carne bovina en el Estado de México, Ciudad de México y Jalisco, 2000-2020. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*

- Robles Berlanga, H. (2013). *Los pequeños productores y la política pública*.  
<http://americalatina.landcoalition.org/sites/default/files/losPequenos.pdf>.  
Consulta el 18 de abril de 2023.
- Rosenthal, E. R. GAMS. *A User's Guide*. GAMS Development Corporation.  
Washington, D. C., USA. (2008). 281 p.
- Rubio, L. M. de la S., Braña, V. D., Méndez, M. D. y Delgado, S. E. (2013) *Sistemas de Producción y Calidad de Carne Bovina*. 1ra ed. Folleto Técnico número 28, INIFAP. México, D. F. 56 p.
- Samuelson, P. A. (1952). Spatial Price Equilibrium and Linear Programming. *American Economic Review*, 42: 283-303.
- Sánchez, G. G. I. (s. d.). Zootecnia de bovinos productores de carne. Notas de clase.  
[https://fmvz.unam.mx/fmvz/p\\_estudios/apuntes\\_zoo/unidad\\_2.pdf](https://fmvz.unam.mx/fmvz/p_estudios/apuntes_zoo/unidad_2.pdf). Consulta el 27 de marzo de 2023.
- Satoshi, S. (2021). Karush-Kuhn-Tucker type optimality condition for quasiconvex programming in terms of Greenberg-Pierskalla subdifferential. *Journal of Global Optimization*, 79:191-202.  
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10898-020-00926-8>.
- Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. SENASICA. 2021. Inspección de cárnico en fronteras. Disponible en:  
[https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/06/SENASICA\\_.pdf](https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/06/SENASICA_.pdf).  
[Accesado el 8 de septiembre de 2021].
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. (2021). Anuario Estadístico de la Producción Ganadera. En:  
[https://nube.siap.gob.mx/cierre\\_pecuario/](https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/). [Accesado el 2 de junio de 2021].
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. (2023). Bovino. Recuperado de [http://nube.siap.gob.mx/cierre\\_pecuario/](http://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/). Consulta el 28 de febrero de 2023.
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. SNIIM. (2020). Mercados del exterior. Recuperado de <http://www.economia->

[sniim.gob.mx/nuevo/Home.aspx?opcion=../SNIIM-](http://sniim.gob.mx/nuevo/Home.aspx?opcion=../SNIIM-)

[MercadosExterior/fruthort/me.htm](http://MercadosExterior/fruthort/me.htm). Consulta el 2 de junio de 2021.

- Takayama, T. & Judge, G. (1964). Partial Equilibrium and Quadratic Programming. *Journal of Farm Economics*, 64: 67-93.
- Vázquez-Alvarado JMP, Martínez-Damián MA. (2015). Estimación empírica de elasticidades de oferta y demanda. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 6(5): 955-965. <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i5.590>
- Velázquez Villalva, H. H., Gómez Tenorio, G., Rebollar Rebollar, S. & Martínez, C. F. E. (2016). Efectos regionales y nacionales sobre la producción y consumo de carne de cerdo con la aplicación de aranceles a carne importada. XVI Congreso Nacional de Investigación Socioeconómica y Ambiental de la Producción Pecuaria. Universidad Autónoma Chapingo, 26-28 de octubre de 2016.
- Wallace, B. (2004). Constrained Optimization: Kuhn-Tucker conditions. Recuperado de: <http://www.worldcolleges.info/sites/default/files/enggnotes/kuhn-tucker.pdf>
- Yavuz, F., Zulauf, C., Schntkey & Miranda, M. (1996). A Spatial Equilibrium Analysis of Regional Structural Change in the U.S. Dairy Industry. *Review of Agricultural Economics*, 18: 693-703.