

## DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE CARNE DE CERDO EN MÉXICO CON PRECIOS ENDÓGENOS

Rolando Leonel **González-Román**<sup>1</sup>, Samuel **Rebollar-Rebollar**<sup>1\*</sup>, Héctor Hugo **Velázquez-Villalva**<sup>1</sup>,  
Anastacio **García-Martínez**<sup>1</sup>, Eugenio **Guzmán-Soria**<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma del Estado de México-Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Posgrado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Km. 67.5, carretera Toluca-Temascaltepec. Colonia Barrio de Santiago s/n, Temascaltepec, Estado de México, México. 51300.

<sup>2</sup>Instituto Tecnológico de Celaya, Posgrado en Administración. Av. Tecnológico y A. García Cubas s/n, Celaya, Guanajuato, México. 38010.

\*Autor de correspondencia: email: srebollarr@uaemex.mx

### RESUMEN

El objetivo fue estimar un modelo de programación no lineal, que brinde alternativas estratégicas y viables, para optimizar la colocación del cárnico en el mercado mexicano con información de 2022, con un enfoque de optimización tipo Karush-Kuhn-Tucker. El estudio abarcó ocho áreas productoras y consumidoras y de ingreso de importaciones. Los hallazgos, revelaron una subestimación en producción nacional y regional de 1.1%, equivalente a 16,921 toneladas, una cifra aproximada a la observada en ese año y una sobreestimación del consumo regional de 0.4%, con un Valor Social Neto de 1,943.6 millones de pesos. La optimización, mostró producción negativa y consumo positivo, una utilidad de comercialización superior al costo de transporte, lo que permitió apertura de rutas de distribución óptimas. El ajuste entre valores de 2022 y los del modelo fue 0.02%, lo que confirma robustez y consistencia de la herramienta matemática propuesta. Se concluye que, el modelo representa una alternativa confiable con potencial de aplicación en escenarios futuros de planificación y evaluación de políticas públicas en la porcicultura.

**Palabras clave:** cárnico porcino, optimización, precios óptimos, programación no lineal, Valor Social Neto.

### INTRODUCCIÓN

En los modelos espaciales que emplean programación no lineal, los precios endógenos, es decir, aquéllos que se determinan al interior del propio modelo, forman parte esencial de las funciones de demanda y oferta. En este enfoque, tanto los precios al consumidor, como al productor, se consideran variables dependientes, mientras que las cantidades, se tratan como variables independientes (Vázquez y Martínez, 2015). Para resolver este tipo de modelos, se aplican las condiciones tipo Karush-Kuhn-Tucker (KKT), mismas que son esenciales para encontrar soluciones óptimas (Satoshi, 2021; Andreani *et al.*, 2022a). Al estimar la función objetivo, ya sea para maximizar ganancias o minimizar costos, siempre se busca que los precios óptimos obtenidos con el modelo, coincidan con los precios reales que se observaron en el mercado, durante un periodo de análisis (Rebollar *et al.*, 2019a; Rebollar, 2021; Rebollar y Hernández, 2023).

**Citation:** González-Román RL, Rebollar-Rebollar S, Velázquez-Villalva HH, García-Martínez A, Guzmán-Soria E. 2026. Distribución óptima de carne de cerdo en México con precios endógenos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo* <https://doi.org/10.22231/asyd.v23i2.1768>

ASyD(23): 212-227

**Editor in Chief:**  
Dr. Benito Ramírez Valverde

Received: March 28, 2025.  
Approved: September 2, 2025.

**Estimated publication date:**  
March 25, 2026.

This work is licensed  
under a Creative Commons  
Attribution-Non-Commercial  
4.0 International license.



En México, la carne porcina, se ubica en segundo lugar dentro del consumo total de carnes, solo detrás de la carne de ave; representa la segunda posición en el valor de lo producido, sólo después de los bovinos. En 2022, que fue la información disponible, la nación produjo 1.73 millones de toneladas (Mt) del cárnico porcino, lideradas por Jalisco y Sonora, entidades que sumaron casi 50% del total nacional.

Del total producido del cárnico en 2022, se exportaron 225 mil toneladas (t), por lo que el volumen que se quedó en territorio nacional fue de 1.51 Mt; mientras que las compras externas que México realizó ascendieron a 1.41 Mt, de las cuales Estados Unidos de América (EUA), se afianzó el primer lugar con 83.10%, con ello, el consumo aparente total mexicano de esa carne en el año que se menciona, fue 2.92 millones de t (COMECARNE, 2022a). Así, México, como país importador de esta carne, ocupó la sexta posición mundial, dentro de los principales importadores del cárnico porcino, sólo después de EUA, Brasil, China, Argentina y Australia y el lugar 10 en ventas externas que realizó México, a lo que designó 10.2% de su oferta disponible (COMECARNE, 2022a).

Para 2022, los mexicanos consumieron alrededor de 22.1 kilogramos (kg) por persona, poco más de 40% provino de importaciones, internadas básicamente de Estados Unidos de América (EUA) (COMECARNE, 2022a). La distribución espacial del volumen producido y consumido de carne porcina, fue desigual, debido a que existieron regiones en las que el balance producción-consumo fue superavitario, en consecuencia, una proporción de lo que se produjo, se envió hacia regiones deficitarias para abastecer su demanda en consumo.

En el mismo año, de acuerdo con Bassols (1995), las zonas productoras del centro-occidente (CO) (40.90%), noroeste (NO) (16.13%) y el oriente (OR) (11.32%) de México destacaron en el total nacional, mientras que en la variable consumo lo hicieron la centro-este (CE) (33%), el centro-occidente (CO) (17%) y la sur (SU) (10.49%). En adición, la CO consumió 80.40% de su producción y el resto lo distribuyó hacia otras zonas del país, mientras que la producción de la CE representó sólo 15.41% de su consumo total por lo que requirió abastecerse tanto de otras regiones como de importaciones (COMECARNE, 2022a).

Las condiciones de optimización o de primer orden tipo Karush-Kuhn-Tucker (KKT) se consideran requisitos ineludibles e idóneos para que la respuesta al planteamiento de un ejercicio de programación no lineal sea el óptimo (Morales *et al.*, 2012; Fletcher, 2017); en adición, el hecho de permitir restricciones de desigualdad implica que el enfoque KKT generaliza el método de los multiplicadores lagrangeanos (Andreani *et al.*, 2022b) y fungen como procedimentales para maximizar o minimizar ecuaciones que contienen muchas variables y limitaciones cuyos factores son, en sí, dichos multiplicadores (Gu *et al.*, 2021). La aplicación de una función amplificada dentro de un modelo matemático brinda la oportunidad de incorporar múltiples variables interrelacionadas,

como volumen producido, consumo regional y precios óptimos, en un solo marco analítico. Tal estructura facilita la generación de los multiplicadores de Lagrange, mismos que son necesarios para localizar restricciones activas y evaluar la eficiencia del sistema de comercialización del cárnico. Cuando se contrastan los precios óptimos obtenidos con los diferenciales reales entre regiones, se logra, no tan solo validar el modelo, sino también la identificación de rutas de abasto que auxiliarían en mejorar la distribución regional. Por ello, el enfoque que se propone no solo suma rigor técnico, también ofrece una herramienta útil para tomar decisiones de política agroalimentaria con impacto directo en la eficiencia logística y equidad en el acceso al producto.

Por lo anterior, el objetivo consistió en estimar un modelo de programación no lineal, que aporte alternativas viables orientadas en acrecentar la asignación de ese cárnico, es decir, buscar redistribuir el volumen disponible de forma más eficiente, para México con información de 2022, optimizando rutas, precios y cobertura regional para un aprovisionamiento superior al observado en el mercado real. El modelo, permite el uso de elasticidades de demanda-oferta-precio y, en consecuencia, maximiza el Valor Social Neto (VSN), por tanto, un óptimo aprovisionamiento del cárnico por arriba del observado.

### MARCO TEÓRICO

Las condiciones KKT, constituyen la base teórica fundamental para la solución de problemas de optimización en programación no lineal, principalmente, cuando se incorporan restricciones de desigualdad. Esas condiciones, en las que se utilizan derivadas de primer orden bajo supuestos de regularidad, permiten identificar soluciones óptimas en modelos complejos con múltiples variables. Su origen se remonta a 1939, cuando William Karush, propuso el concepto de punto de ensilladura en su tesis y se formalizó en 1950 por Kuhn y Tucker, quienes generalizaron los métodos lineales previos desarrollados por Dantzig (Martínez, 2019).

Este marco teórico, ha sido ampliamente adoptado en programación matemática aplicada a problemas económicos, de forma particular, en el análisis espacial de mercados. Enke (1951) y Samuelson (1952), introdujeron el concepto de bienestar social, como el área bajo las curvas de demanda y oferta, situación que permitió vincular la optimización matemática con la eficiencia en la asignación de recursos. En este estudio, esos fundamentos se integran para modelar la distribución del cárnico porcino en México, mediante condiciones KKT, para maximizar el VSN y proponer rutas óptimas de abasto regional.

La programación matemática, vinculada al aspecto de solucionar problemas de mercado desde la visión espacial, comenzó con Enke y Samuelson, quienes propusieron el método consistente en cuantificar el excedente económico generado por la interacción entre la oferta y la demanda, lo cual se representaba, matemáticamente, como el cálculo del área comprendida entre las curvas de

la demanda y la oferta. A tal representación, se le llamó función de bienestar social, pues permitía evaluar el beneficio total que obtienen los agentes económicos, en un mercado determinado (Enke, 1951; Samuelson, 1952).

Para 1964, Takayama y Judge, añadieron al modelo, el análisis de costos de transporte y la estimación de ecuaciones implícitas (inversas) de demanda y oferta, ello apoyó a encontrar precios y cantidades óptimas del producto en cuestión, sujetas de distribución. Surgieron entonces las bases matemáticas que se podían aplicar en todos los casos, donde lo que se produce y se consume, sucede en áreas geográficas diferentes (Takayama y Judge, 1964).

En consecuencia, conocida la solución del modelo, ésta ofrece resultados sobre matrices óptimas de abasto y distribución del producto de forma espacial, siempre y cuando, los precios del producto sean mayores, en cuantía, que el margen de comercialización, entendido como la diferencia entre los precios óptimos al consumidor y al productor. Por tanto, los modelos de equilibrio espacial, se han empleado para estudiar problemas relacionados con el comercio interregional. Estos modelos, pueden ampliarse para incluir tanto a países que importan y exportan múltiples productos, como a varios tipos de mercancías. Además, son útiles para simular el impacto de diversas medidas de comercio internacional en los mercados, tales como cuotas, cupos de importación, subsidios, impuestos, aranceles y embargos, entre otros (McCarl y Spreen, 1997). En efecto, se sostiene que la diferencia principal entre los modelos de equilibrio espacial y los de equilibrio parcial o general, radica en que los primeros distribuyen los recursos según las regiones o áreas y la ubicación de la actividad económica. En contraste, los segundos, suelen representar un mercado único, sin considerar los efectos en otros mercados y buscan establecer un equilibrio para todos los mercados (McCarl y Spreen, 1997). Los modelos de equilibrio espacial, se aplican para analizar la competencia tanto intrarregional (interacción entre consumidores y productores dentro de una misma región geográfica), como interregional (es decir, rivalidad entre agentes económicos de distintas regiones que buscan colocar sus productos en mercados que pueden estar fuera de su zona de producción) en productos agrícolas, como la leche en Estados Unidos (Chavas *et al.*, 1993) y en el mercado japonés por regiones (Yavuz *et al.*, 1996).

Por último, al referenciar a Guajardo y Elizondo (2003), el modelo de equilibrio espacial, facilita la utilización de ofertas y demandas que dependen funcionalmente del precio (funciones inversas de demanda y oferta) y permite diferentes grados de estructuras de mercado.

## METODOLOGÍA

Citando a Vázquez y Martínez (2015), Hernández *et al.* (2020), Rebollar *et al.* (2020) y Rebollar y Hernández (2023), el modelo de equilibrio espacial, donde el precio del cárnico fungió como variable endógena, requirió de utilizar

ecuaciones de demanda y oferta, llamadas funciones inversas (Guajardo y Elizondo, 2003). La función de demanda inversa (01) adherida a la región consumidora  $i$ , se escribió como:

$$P_{di} = \alpha_{di} + \beta_{di}Q_{di}; \beta < 0 \quad (1)$$

donde  $P_{di}$ : precio endógeno al consumidor del cárnico porcino en la región  $i$ , expresado en moneda mexicana por  $t$ ;  $Q_{di}$ : cantidad de demanda del producto en la región  $i$ , expresada en  $t$ ;  $\alpha_{ij}$ : intercepto de la ecuación de demanda del cárnico en la región  $i$ ;  $\beta_{di}$ : pendiente de la ecuación de demanda del cárnico en la región  $i$ .

En tanto que la función inversa correspondiente a la oferta (2) del cárnico fue:

$$P_{si} = \lambda_{si} + \nu_{si}Q_{si} \quad (2)$$

donde  $P_{si}$ : precio endógeno al productor del cárnico por región ofertante  $i$ , en  $\$/t$ ;  $Q_{si}$ : cantidad de producto porcino por cada región  $i$ , en  $t$ ;  $\lambda_{si}$ : intercepto de la ecuación de oferta de carne porcina en canal en la región  $i$ ;  $\nu_{si}$ : coeficiente que antecede a la cantidad ofrecida del cárnico en la región.

Así, en las derivadas parciales de las ecuaciones (3) y (4) debe cumplirse que:

$$\frac{\partial P_{di}}{\partial Q_{di}} \leq 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial P_{si}}{\partial Q_{si}} \leq 0 \quad (4)$$

Así, la expresión del VSN (5) para México, de forma regional, se estructuró por la diferencia de áreas dadas por las curvas de demanda y oferta del cárnico, expresada como:

$$W_i(Q_{si}^*, Q_{di}^*) = \int_0^{Q_{di}^*} \alpha_{di} + \beta_{di}Q_{di} dQ_{di} - \int_0^{Q_{si}^*} \lambda_{si} + \nu_{si}Q_{si} dQ_{si} \quad (5)$$

Al adicionar los pagos por movilizar el cárnico entre las ocho regiones, la forma matemática se expresó así (6):

$$NW = \sum_{i=1}^n W_i(Q_{si}^*, Q_{di}^*) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij}T_{ij} \quad (6)$$

donde  $C_{ij}$ : Gasto de traslado de la carne de la zona  $i$  a la zona  $j$ , en  $\$/t$ , para  $i$  diferente de  $j$ ;  $T_{ij}$ : Cantidad transportada de la región  $i$  a la región  $j$ , en toneladas de carne porcina.

El modelo se estructuró por ocho regiones consumidores, ocho regiones productoras y dos puntos de internación de las importaciones del cárnico. En la conformación de dicho modelo, fue necesario restringir tanto a la demanda (7) como a la oferta. En la primera, se requirió que la suma de la cantidad transportada a la zona  $i$  de carne de cerdo, debe ser superior o igual que el consumo de esa demarcación. Esto es:

$$Q_{di} \leq \sum_{j=1}^n T_{ij}, \text{ para toda } i \quad (7)$$

Con relación a las restricciones de la oferta (8) de carne porcina, fue necesario que el total transportado del producto fuera de la zona  $i$ , sea igual o inferior al volumen total del cárnico de esa región, por lo que:

$$Q_{si} \leq \sum_{j=1}^n T_{ij}, \text{ para toda } i \quad (8)$$

En la modelización del mercado porcino mexicano en canal, estuvo inmersa la presencia de regiones ofertantes y demandantes que negocian un producto homogéneo (cárnico porcino en canal). En consecuencia, las regiones fueron mercados distintos, separados principalmente, por costos de transporte (Rebollar y Hernández, 2023). La instauración de esos costos, se especificó por unidades físicas e independientes del volumen producido.

El reporte del volumen producido por la región, más el volumen de importación del cárnico que esa región adquirió vía importaciones, se clasificó por estado, proveniente del SIAP (2022); luego, el volumen de exportación del cárnico que esa región realizó al extranjero, se restó de lo que produjo, para estimar así el total producido por cada región. Con relación al dato del volumen importado, la información se extrajo de Porcinocultores Mexicanos (PORCIMEX, 2022) y del Consejo Mexicano de la Carne (COMECARNE, 2022b).

Las ecuaciones de demanda, oferta y costos de transporte, se estimaron con información secundaria disponible de 2022. La obtención del consumo (demanda) por región, implicó disponer del dato de la población de personas por entidad federativa en el mismo año (2022), visualizado en la página electrónica del Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2022); después, el número de habitantes se multiplicó por la cantidad del cárnico consumida por persona, dada por el COMECARNE (2022b) y se sumó a lo que cada estado demandó, mismo que integró la respectiva zona.

El precio regional al productor del cárnico, se generó del dato que reportó la entidad federativa, como parte de la región y se ponderó con la producción. La ponderación fue de la siguiente manera: una vez que se dispuso del precio medio rural o el precio al productor de esta carne, por entidad federativa, así como el volumen producido (en t) y después que se agruparon los estados para formar cada región, se procedió a multiplicar el precio al productor del

cárnico por el volumen reportado por cada estado y generar el valor de la producción estatal de esa carne. Posterior a ello, se sumó el valor de la producción total de esa región y se dividió entre el volumen total de carne producida o reportada por la misma región, con lo que se obtuvo el precio ponderado al productor para tal zona.

Por su parte, el precio al consumidor se obtuvo del SNIIM (2022) y el de importación del cárnico, se consultó tanto en la página electrónica del COMECARNE (2022b), como del SENASICA (2021). Así, el precio internacional del cárnico, en los puntos de arribo de las importaciones 1 y 2, fue de 2,098 USD/t (FIRA, 2024) a un tipo de cambio de 20.12 pesos por dólar estadounidense (\$/USD) (BANXICO, 2022). El costo nacional de movilización del cárnico, expresado en unidades monetarias mexicanas tanto por t como por km, se conoció mediante consulta electrónica de empresas multimodales de distribución por tierra, disponible en ACSAA (2024).

El modelo de programación (9), se configuró por una expresión a optimizar de orden y exhibió la adición de excedentes por el lado del consumo y producción, menos los costos de movilización del producto; sujeta a restricciones lineales relacionadas con equilibrios de demanda (10) y oferta (11) regionales del cárnico con la expresión:

$$Max \sum_{i=1}^n \left[ \int_0^{Q_{di}^*} P_{di}(Q_{di}) dQ_{di} - \int_0^{Q_{si}^*} P_{si}(Q_{si}) dQ_{si} \right] - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n C_{ij} T_{ij} \quad (9)$$

Sujeto a:

$$Q_{di} - \sum_{j=1}^n T_{ij} \leq 0 \text{ para toda } i \quad (10)$$

$$-Q_{si} - \sum_{j=1}^n T_{ij} \leq 0 \text{ para toda } i \quad (11)$$

y  $Q_{di}, Q_{si}, T_{ij} \geq 0$  para toda  $i$  y  $j$  (condicionantes positivas del modelo).

Para regionalizar al país se tomó como referencia a Bassols (1995: 43), considerándose ocho zonas consumidoras: Noroeste (NO): integrada por Baja California (BC), Baja California Sur (BCS), Sonora (Son), Sinaloa (Sin) y Nayarit (Nay); Norte (NR): Chihuahua (Chih), Coahuila (Coah), Durango (Dgo), San Luis Potosí (SLP) y Zacatecas (Zac); Noreste (NE): Nuevo León (NL), Tamaulipas (Tams); Centro-Occidente (CO): Aguascalientes (Ags), Colima (Col), Guanajuato (Gto), Jalisco (Jal), Michoacán (Mich); Centro-Este (CE): Ciudad de México (CDMX), Hidalgo (Hgo), Estado de México (Méx), Morelos (Mor), Puebla (Pue), Querétaro (Qro), Tlaxcala (Tlax); Sur (SU): Chiapas (Chis), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax); Oriente (OR): Tabasco (Tab), Veracruz (Ver); Península de Yucatán (PE): Campeche (Camp), Quintana Roo (QRoo), Yucatán

(Yuc). Además de 10 zonas ofertantes, de las cuales, ocho de ellas fueron productoras: NO, NR, NE, CO, CE, SU, OR, PE y la diferencia como dos puntos de internamiento de importaciones porcinas, procedentes de EUA. El punto de internación 1 (PI1), involucró las fronteras de Colombia, que es parte del estado de NL; las de Nuevo Laredo y Reynosa en Tams y, Piedras Negras perteneciente al estado de Coah. El PI1, expuso la internación del 91% del cárnico, mientras que el punto de ingreso 2 (PI2), conformó las fronteras de Mexicali y Tijuana ubicadas en BC; la de Nogales y San Luis Rio Colorado en el estado de Son y la de Ciudad Juárez en el estado de Chih (COMECARNE, 2022b; SENASICA, 2022), mismo que reportó el ingreso del restante 9% de la importación del cárnico.

Para la solución del problema a optimizar, fue necesario que las respectivas ecuaciones de demanda (12), tuvieran pendiente menor que cero y las de oferta (13) mayor que cero. En dicho planteamiento, los requerimientos Karush-Kuhn-Tucker (Rebollar y Hernández, 2023), se escribieron a través de las expresiones, en las que la letra Z, representa la función objetivo del modelo, es decir, la función del Valor Social Neto (VSN). Que en este estudio Z se orientó en maximizar el VSN, mediante una asignación óptima del cárnico en México:

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{di}} = P_{di} - \lambda_{di} \leq 0 \quad (12)$$

$$\left( \frac{\partial Z}{\partial Q_{di}} \right) Q_{di} = 0, Q_{di} \geq 0 \quad (13)$$

Mismas (ecuaciones 12 y 13) que obligan a que el precio de demanda del subproducto porcino de la región i, sea el mismo que al de sombra ( $\lambda_{di}$ ), siempre y cuando el volumen consumido del cárnico sea positivo. En tanto que (14) se escribió como:

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{si}} = P_{si} - \psi_{si} \leq 0, \left( \frac{\partial Z}{\partial Q_{si}} \right) Q_{si} = 0, Q_{si} \geq 0 \quad (14)$$

En (14) se exige que el precio de mercado al productor del cárnico en la zona i de México, se comporte igual que su precio óptimo ( $\psi_{si}$ ), siempre que el volumen producido sea no negativo; adicionalmente, en (15):

$$\frac{\partial Z}{\partial T_{ij}} = -C_{ij} + \lambda_{di} - \psi_{si} \leq 0, \left( \frac{\partial Z}{\partial T_{ij}} \right) T_{ij} = 0, T_{ij} \geq 0 \quad (15)$$

La expresión 15, da a entender que el precio de mercado por el lado del consumo ( $\lambda_{di}$ ) en la demarcación i, no debe superar el promedio de los precios

óptimos al productor ( $\psi_{si}$ ) del cárnico en la zona  $i$  y las demarcaciones  $j$ , más los gastos de traslado expuestos por la expresión  $T_{ij}$ , condicionadas a que el volumen movilizado del cárnico no sea negativo.

La optimización del problema, permitió observar la cantidad ofertada ( $Q_{si}$ ) y demandada ( $Q_{di}$ ) por región, el abasto y distribución entre regiones distintas ( $T_{ij}$  donde  $i$ , es diferente de  $j$ ) y en la respectiva zona ( $T_{ij}$  para  $i=j$ ). El precio del cárnico por demarcación, se localizó en los precios sombra  $P_{di}$  y  $P_{si}$ .

Las apreciaciones resultantes entre precios de equilibrio y las regiones son: a) si la región  $i$  consume el total de la demanda que ella misma genera ( $T_{ii}=Q_{di}>0$ ), significa entonces que el diferencial de precios entre demanda y oferta del cárnico, se iguala o es el mismo que el costo de transporte ( $P_{di}=C_{ii}+P_{si}$ ); b) si una región  $i$ , envía la carne a la región  $j$  ( $T_{ij}>0$ ), entonces el costo de transporte de la región  $i$  más el precio de oferta de la zona  $j$ , se iguala al precio de demanda en la demarcación  $i$ , esto es,  $P_{di}=P_{sj}+C_{ji}$ .

En el caso de que la zona  $j$  no envíe producto a la demarcación  $i$ , es porque el precio al productor del cárnico de la zona  $j$ , supera al del consumidor de la demarcación  $i$ , por tanto, no se activa comercial entre la zona  $j$  y la demarcación  $i$  o esa ruta de abasto, se declaró inactiva en la salida de resultados ( $P_{di}<C_{ji}+P_{sj}$ ).

En el contexto de ecuaciones al consumidor y al productor del cárnico, se observan dos estimadores: el intercepto ( $\alpha_i$ ) y la pendiente ( $\beta_i$ ), generados al considerar las elasticidades, los precios, volúmenes producidos y demandados del subproducto porcino, con la expresión (16):

$$\varepsilon_{pi} = \left( \frac{\partial Q_i}{\partial P_i} \right) \left( \frac{P_i}{Q_i} \right) \quad (16)$$

En la que  $\varepsilon_{pi}$  refiere a la elasticidad precio tanto de demanda como de oferta en la demarcación  $i$ .

Utilizar funciones de demanda y oferta del subproducto porcino por zona, requiere del valor de la elasticidad precio que, para este estudio, se consultó en Rebolgar *et al.* (2014); por su parte, con relación a las fronteras de ingreso de importaciones, las publicadas en Pérez *et al.* (2010) y Vázquez y Martínez (2015). Por último, la salida y validación del modelo y sus resultados, se contrastaron con los valores que observaron en el año de estudio, procediéndose a realizar el análisis en cuestión. La corrida del modelo, se generó al ejecutar el solver MINOS-GAMS, versión 24.4.2 p/w8, Office 2013 y en referencia a Rosenthal (2014:219).

## RESULTADOS

El Cuadro 1, expone los resultados del modelo óptimo o modelo base en términos de producción, importaciones y adquisición del cárnico porcino mexicano,

**Cuadro 1.** México. Mercado porcino, 2022. Modelo base.

Demarcación	Niveles 2022	Modelo óptimo	Diferencia	Diferencia %
Producción (t)				
NO	242,797	241,922	-875	-0.36
NR	54,767	54,479	-288	-0.53
NE	30,156	30,058	-98	-0.32
CO	616,138	612,845	-3,293	-0.53
CE	148,103	147,822	-281	-0.19
SU	83,463	83,448	-15	-0.02
OR	170,386	159,397	-10,989	-6.45
PE	159,506	158,424	-1,082	-0.68
Subtotal	1'505,316	1'488,395	-16,921	-1.12
Importaciones (t)				
Zona de internamiento 1	1'282,190	1'310,737	28,547	2.226
Zona de internamiento 2	126,810	126,225	-585	-0.461
Subtotal	1'409,000	1'436,962	27,962	1.985
Consumo (t)				
NO	272,313	271,019	-1,294	-0.475
NR	304,482	307,114	2,632	0.865
NE	215,362	216,165	803	0.373
CO	495,400	502,739	7,339	1.481
CE	960,957	963,154	2,197	0.229
SU	305,661	304,964	-697	-0.228
OR	242,027	241,873	-154	-0.064
PE	118,115	118,329	214	0.181
Subtotal	2'914,316	2'925,357	11,041	0.379
VSN (MMDP)	1,943.6	1,944.0	0.4	0.021

Fuente: salida del modelo óptimo, 2022. VSN: Valor Social Neto.

tanto por zonas, como de la cuantía nacional, así como en el VSN (función objetivo o función Z) y su contraste con valores oficiales observados en 2022.

Por su parte, en el Cuadro 2, se observan resultados del modelo base, por el lado de la producción y precios; esto es, el precio óptimo al productor y su comparación con el de mercado del cárnico porcino. La diferencia entre este último, con relación al precio óptimo al productor, constituyó evidencia necesaria y suficiente para que el modelo, optimizara la cantidad ofertada del cárnico.

Por el lado de la demanda, en el Cuadro 3, se aprecia el resultado de las condiciones de optimización, dadas por la salida del modelo base por el lado del consumo. La diferencia aritmética entre el precio de mercado al consumidor y el valor optimizado al consumidor, fue de cero, situación que exhibió el cumplimiento de tales condiciones.

#### Optimización de flujos comerciales

El Cuadro 4, refleja la diferencia entre el margen de distribución o comercialización del cárnico porcino y el costo de transporte del mismo, si tal diferencia

**Cuadro 2.** Condiciones de optimización. Oferta del cárnico porcino.

Región	Producción óptima	Precio de mercado al productor (\$/t) A	Precio óptimo al productor (\$/t) B	Diferencia (A-B)
NO	241,922	39,107	39,107	0
NR	54,479	44,953	44,950	3
NE	30,058	45,361	45,356	5
CO	612,845	47,033	47,032	1
CE	147,822	49,494	49,494	0
SU	83,448	49,835	49,818	17
OR	159,397	50,635	50,635	0
PE	158,424	47,728	47,727	1
PI1	1'310,737	43,244	43,245	-1
PI2	126,225	37,845	37,846	-1

Fuente: elaboración propia con información de la optimización.

fue positiva, entonces ello se concibió como requisito indispensable y suficiente para poner en marcha, la ruta óptima de distribución del cárnico entre las distintas demarcaciones participantes, que auxilió a la maximización del bienestar social dado por el modelo.

## DISCUSIÓN

En México, la carne de porcino se traslada por carretera, con la utilización de transporte especializado y orientado en mover animales vivos finalizados a su peso comercial, aunque también bajo condiciones de frío. Para ello, se utilizan camiones tipo semirremolque de doble eje, cuatro metros (m) de altura, anchura: 2.5 m, largo: 12.2 m. El cobro por servicio de movilización que la empresa de transporte realiza, es por t de carne y por km que debe recorrerse, mismo que ya considera el regreso del vehículo vacío (Morales y de la Torre, 2006; Miranda, 2013).

**Cuadro 3.** Condiciones de optimización por el lado del consumo porcino.

Región	Consumo óptimo	Precio de mercado al consumidor (\$/t) A	Precio óptimo al consumidor (\$/t) B	Diferencia (A-B)
NO	271,019	44,900	44,900	0
NR	307,114	47,457	47,460	-3
NE	216,165	45,634	45,630	4
CO	502,739	48,285	48,280	5
CE	963,154	49,930	49,930	0
SU	304,964	52,706	52,710	-4
OR	241,873	52,275	52,270	5
PE	118,329	48,784	48,800	-16

Fuente: elaboración propia con información de la optimización del modelo.

**Cuadro 4.** Carne de cerdo. Itinerarios óptimos de distribución por región, 2022.

Itinerario activado ( $X_{sd}$ )	Beneficio (\$/t)	Gasto de movilización (\$/t)	Diferencia
$X_{1,1}$ (NO a NO)	5,793	5,792	1
$X_{2,5}$ (NR a CE)	4,979	4,979	0
$X_{3,7}$ (NE a OR)	6,914	6,912	2
$X_{4,4}$ (CO a CO)	1,252	1,252	0
$X_{4,5}$ (CO a CE)	2,898	2,897	1
$X_{5,6}$ (CE a SU)	3,216	3,216	0
$X_{6,6}$ (SU a SU)	2,892	2,892	0
$X_{7,7}$ (OR a OR)	1,635	1,635	0
$X_{8,7}$ (PE a OR)	4,547	4,547	0
$X_{8,8}$ (PE a PE)	1,073	1,070	3
$XP_{11,1}$ ( $P_{11}$ a NR)	4,215	4,211	4
$XP_{11,3}$ ( $P_{11}$ a NE)	2,390	2,388	2
$XP_{11,5}$ ( $P_{11}$ a CE)	6,685	6,684	1
$XP_{11,6}$ ( $P_{11}$ a SU)	9,465	9,465	0
$XP_{11,7}$ ( $P_{11}$ a OR)	9,025	9,024	1
$P_{12,1}$ ( $P_{12}$ a NO)	7,054	7,053	1
$P_{12,2}$ ( $P_{12}$ a NR)	9,614	9,610	4

Fuente: salida del modelo de optimización, 2022.

En condiciones óptimas y sin considerar distorsiones de mercado del cárnico porcino mexicano en 2022, se observó que el resultado del modelo, maximizó a la función objetivo y su ajuste se conoce como modelo base o modelo óptimo. La diferencia de estimación del VSN estimado y el observado en ese año, fue de 0.021%, mismo que se ubicó en el intervalo válido de entre 0 y 10% (Rebollar y Posadas, 2023). Por tanto, el modelo base, se juzgó pertinente para evaluar impactos de política comercial oportuna.

El VSN que arrojó la optimización del modelo, fue de 1,944 mil millones de pesos, 0.02% mayor que el que se observó en 2022. La salida de resultados, subvaloró el volumen producido del cárnico en todas las zonas, con un valor de -1.12%; este porcentaje, significó menor producción sugerida, con relación al nivel observado. En adición, el modelo sobreestimó importaciones en 1.98%, cuyo volumen pasó de 1,409 miles de t de 2022 a 1,437 miles de t dadas por la salida de resultados, equivalente a un aumento de las mismas en 2.22% por el PI1 y disminución de 0.46% las que ingresaron por el PI2.

Asimismo, hubo 0.02% de sobreestimación en la variable consumo nacional, al aumentar de 2.91 miles de t observadas en 2022 a 2.93 miles de t dadas por el modelo; tal incremento, se presentó en cinco de las ocho regiones, resaltando la CO, NR y CE; en las tres regiones restantes, de un total de ocho, el consumo fue menor en cuantía que lo que se observó en ese año. Es de relevancia mencionar que, el consumo en la región de la PE, el efecto del VSN, fue poco perceptible debido a su ubicación geográfica y porque se considera autosufi-

ciente, dado que casi toda la producción se consume por esa región, le queda un sobrante para redistribuirlo.

### Optimización de la producción

Una vez que se valida el cumplimiento de la condicionante matemática, en la que el precio de mercado por el lado de la producción, coincide con el precio ideal (dado por el modelo) del cárnico porcino, se dice que la producción es óptima. En el Cuadro 2, se puede apreciar que, en la totalidad de las zonas ofertantes del cárnico, se cumple esa condición y por variaciones pequeñas, debidas al uso de decimales fue que algunas de las cifras no cerraron en cero. Los resultados del modelo, ofrecen el valor del precio óptimo al productor, por el contrario, el precio de mercado al productor, se estima al considerar su ecuación respectiva (Rebollar y Hernández, 2023). Así, obsérvese que, para la región CO (Centro-Occidente), la ecuación del precio endógeno de mercado fue  $P_{CO} = -1,302,875 + 2.202690965(X_{CO})$ ; donde  $X_{CO}$ , representa el volumen óptimo del cárnico, para la zona CO que asignó el modelo y fue 612,845 t; con ello, el precio de mercado que se obtuvo fue 47,033 \$/t y el precio óptimo de 47,032 \$/t, la diferencia en ambos precios fue de uno, generada por el uso de decimales.

La condición matemática mencionada, fue suficiente para la existencia de precios y consumos óptimos positivos (Rebollar *et al.*, 2019a) del cárnico porcino, las estimaciones para el resto de las regiones, se realizaron de forma similar.

### Optimización del consumo

Con relación a la demanda del cárnico porcino, la estimación de la función para el precio endógeno por el lado del consumo, en el caso de la región Centro-Este (CE), fue  $P_{CE} = 567,376 - 0.537242 Y_{CE}$ ; donde el consumo óptimo dado por  $Y_{CE}$  fue 963,154 t y cuyo resultado fue:  $P_{CE} = 567,376 - 0.537242 (963,154) = \$49,930$  \$/t (Cuadro 3). Tal resultado es, precisamente, el precio de mercado por el lado de la demanda, por tanto, al contrastarlo con su precio óptimo ( $\sigma_d$ ) de la zona en cuestión, fue \$49,930 \$/t; la diferencia entre estos dos precios fue cero, cumpliéndose, matemáticamente, el requisito de consumos óptimos no negativos.

La demarcación CE (Centro-Este) del país, adquirió 32.97% y la PE (Península de Yucatán), lo hizo sólo en 4.01% con relación al total consumido; así, con base en estimaciones del consumo de carne de cerdo por persona publicadas por el COMECARNE (2022a), en las que esa variable, tiene que ver más con la cantidad de consumidores, que con el precio.

### Optimización de flujos comerciales

En esta investigación, el resultado del margen de mercadeo de carne de cerdo entre regiones que comercializaron el cárnico en 2022, resultó tanto mayor

como igual que cero, similar al hallazgo de Rebollar *et al.* (2019b), sobre el subproducto porcino para México, al de Rebollar (2021) en carne de pollo nacional y de Rebollar y Hernández (2023) para bovinos carne; cuando el margen es mayor o igual al costo de transporte por tonelada del cárnico, entonces se genera evidencia para que las rutas de abasto de la carne se consideren como óptimas, lo que va de la mano con la exigencia matemática de KKTr, generada por el modelo Lagrangeano.

Al respecto, el trayecto de distribución y abasto del cárnico en cuestión estipulado, como ejemplo por  $X_{2,5}$  (de la zona NR a la CE) (Cuadro 4), se dinamizó porque el precio optimizado por el lado del consumo en CE dado por  $\sigma_{d'}$  superó al del productor ( $\sigma_d$ ) observado en la región NR, mientras que el costo por tonelada comercializada de la zona NR a la CE, fue menor que la diferencia aritmética entre ambos precios (margen) (Cuadro 4).

Otros itinerarios de abasto del cárnico, para el resto de las regiones, no se presentan en el Cuadro 4, debido a que el costo de movilización del cárnico superó al margen.

## CONCLUSIONES

En contraste con datos observados en 2022, el modelo maximizó la función del Valor Social Neto en la variable producción, importación y consumo del cárnico. Las condiciones de optimización relacionadas con precios óptimos y de mercado por el lado del productor y consumidor, quedaron satisfechas y el diferencial entre el gasto de movilización y margen de distribución del cárnico, fue condicionante para que los itinerarios para abastecer y distribuir el producto entre las demarcaciones, fueran óptimos. Finalmente, los criterios de optimalidad vistos como restricciones, se cumplieron, lo cual evidenció que, en las condiciones planteadas, la validación del modelo es útil para evaluar escenarios de interés en política del sector gubernamental, en favor generar alternativas viables de distribución del cárnico en el país.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Universidad Autónoma del Estado de México, el haber aprobado y permitido desarrollar el proyecto de investigación: Efectos económicos de la peste porcina africana sobre el mercado de carne de cerdo en México. Se reconoce a los revisores pares y editores de esta revista por sus comentarios, que permitieron enriquecer este trabajo.

## REFERENCIAS

- ACSAA (Asociación de Certificación del Sector Agropecuario Alimentario). 2024. Movilización nacional de porcinos. <https://acsaa.com.mx/movilizacion-nacional-de-porcinos/>.
- Andreani R, Ramos A, Ribeiro AA, Secchin LD, Velazco AR. 2022a. On the convergence of augmented Lagrangian strategies for nonlinear programming. *IMA Journal of Numerical Analysis*, 42(2). 1735–1765. <https://doi.org/10.1093/imanum/drab021>.
- Andreani R, Ramos R, Secchin LD. 2022b. Improving the global convergence of Inexact Restoration methods for constrained optimization problems. *Optimization*. <https://optimization->

- [online.org/wp-content/uploads/2022/03/ir\\_cakkt\\_OO.pdf](https://online.org/wp-content/uploads/2022/03/ir_cakkt_OO.pdf).
- Bassols BA. 1995. El Desarrollo Regional de México: teoría y práctica. Libros de la Revista Problemas del Desarrollo; Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM: México. 329 p.
- BANXICO (Banco de México). 2022. Tipo de cambio. <https://www.banxico.org.mx/tipocamb/tip-CamIHAction.do>. Consulta el 01 de agosto de 2024.
- Chavas JP, Cox TL, Jesse EV. 1993. Spatial Hedonic Pricing and Trade. University of Wisconsin-Madison. Department of Agricultural Economics y Staff Paper: Estados Unidos. 367 p. <https://ideas.repec.org/p/ags/wisagr/200574.html>
- COMECARNE (Consejo Mexicano de la Carne). 2022a. Compendio estadístico. [https://comecarne.org/wp-content/uploads/2023/06/Compendio-Estadistico-2023\\_COMECARNE\\_2e.pdf](https://comecarne.org/wp-content/uploads/2023/06/Compendio-Estadistico-2023_COMECARNE_2e.pdf).
- COMECARNE (Consejo Mexicano de la Carne). 2022b. Compendio estadístico. [https://comecarne.org/wp-content/uploads/2023/06/Compendio-Estadistico-2023\\_COMECARNE\\_2e.pdf](https://comecarne.org/wp-content/uploads/2023/06/Compendio-Estadistico-2023_COMECARNE_2e.pdf).
- CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2022. Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas, 2020-2070. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2020-2070>.
- Enke S. 1951. Equilibrium Among Spatially Separated Markets: Solution by Electric Analogue. *Econometría*, 19(1). 40-47. <https://doi.org/10.2307/1907907>.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura). 2024. Panorama agroalimentario 2024. Carne de cerdo. <https://www.fira.gob.mx/Nd/NEstEcon.jsp>.
- Fletcher R. 2017. Augmented Lagrangians, box constrained QP and extensions. *IMA Journal of Numerical Analysis*, 37(4). 1635–1656. <https://doi.org/10.1093/imanum/drx002>.
- Gu R, Du Q, Y Y-x. 2021. Positive semidefinite penalty method for quadratically constrained quadratic programming. *IMA Journal of Numerical Analysis*, 41(4). 2488–2515. <https://doi.org/10.1093/imanum/draa031>.
- Guajardo RG, Elizondo HA. 2003. La liberación del mercado mundial del tomate: un modelo especial con precios endógenos. *Comercio Exterior*, 53(2). 169-177.
- Hernández P, Rebollar S, Gómez G, Velázquez HH. 2020. Efectos de una cuota compensatoria *ad valorem* sobre importaciones de carne de pollo en México. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 6. 1-12. <https://doi.org/10.30973/aap/2020.6.0061011>.
- Martínez FJ. 2019. El teorema de Karush-Kuhn-Tucker, una generalización del teorema de los multiplicadores de Lagrange, y programación convexa. *TEMat*, 3. 33-44. <https://temat.es/articulo/2019-p33/2019-p33-pdf>.
- McCarl BA, Spreen TH. 1997. Applied Mathematical Programming, notas de la clase AGECON, Texas A & M University. [http://lib.yzu.am/disciplines\\_bk/952fedc966b767637eef6773b484e3ba.pdf](http://lib.yzu.am/disciplines_bk/952fedc966b767637eef6773b484e3ba.pdf).
- Miranda GC. 2013. Transporte y logística pre-sacrificio: principios y tendencias en bienestar animal y su relación con la calidad de la carne. *Veterinaria México*, 44(1). 31-56. <https://veterinariamexico.fmvz.unam.mx/index.php/vet/article/view/328/328>.
- Morales CG, De la Torre ME. 2006. Características del autotransporte refrigerado en México, *Publicación Técnica 297*, Instituto Mexicano del Transporte-Secretaría de Comunicaciones y Transportes: Querétaro, México. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt297.pdf>.
- Morales JL, Nocedal J, Wu Y. 2012. A sequential quadratic programming algorithm with an additional equality constrained phase. *IMA Journal of Numerical Analysis*, 32(2). 553-579. <https://doi.org/10.1093/imanum/drq037>.
- Pérez FC, García R, Martínez MA, Mora JS, Vaquera H, González A. 2010. Efecto de las importaciones de la carne de porcino en el mercado mexicano, 1961-2007. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 1(2). 115-126. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/1517/1512>.
- PORCIMEX (Porcicultores Mexicanos). 2022. Estadísticas. [www.porcimex.org/estadisticas/analiticos/mcarne.htm](http://www.porcimex.org/estadisticas/analiticos/mcarne.htm).
- Rebollar A, Gómez G, Hernández J, Rebollar S, González FJ. 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. <https://cienciaspecuarias.inifap.gob.mx/index.php/Pecuarias/article/view/4008>.

- Rebollar S, Martínez MÁ, Callejas N, Velázquez HH. 2019a. Eficiencia en el mercado de carne de cerdo en México. *Ciencia Ergo Sum*, 26(3). 1-13. <https://doi.org/10.30878/ces.v26n3a7>. <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/9049/10190>.
- Rebollar S, Chiatchoua C, Gómez G. 2019b. Efectos de la aplicación de un impuesto en México: caso carne de cerdo. *Análisis Económico*, 34(86). 245-261. <https://analisiseconomico.azc.uam.mx/index.php/rae/article/view/425/336>.
- Rebollar S, Velázquez HH, Gómez G, Posadas RR, Martínez FE. 2020. Efectos de la aplicación de subsidios al mercado porcino en México. *Archivos de Zootecnia*, 69(265). 30-37. <https://doi.org/10.21071/az.v69i265.5036>.
- Rebollar S. 2021. Distribución de la carne de pollo en México: una aplicación de las condiciones Karush-Kuhn-Tucker. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 28(83). e3069. <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021833069>.
- Rebollar S, Hernández J. 2023. Condiciones Karush-Kuhn-Tucker aplicadas al mercado de la carne de bovino en México. *Avances de Investigación Agropecuaria*, 27(1). 65-79. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.23.27.06>
- Rebollar S, Posadas RR. 2023. Evaluación de los efectos de un cupo de importación al mercado regional y nacional de pollo en México. *Economía, Teoría y Práctica*, 31(59). 185-204. <http://dx.doi.org/10.24275/etypuam/ne/592023/Rebollar>.
- Rosenthal RE. 2014. *GAMS. A User's Guide*. GAMS Development Corporation; Washington, D. C., USA. <https://www.gams.com/docs/pdf/GAMSUsersGuide.PDF>
- Samuelson PA. 1952. Spatial Price Equilibrium and Linear Programming. *The American Economic Review*, 42(3). 283-303. <http://www.jstor.org/stable/1810381>.
- 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>.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2021. Inspección de cárnico en fronteras. [https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/06/SENASICA\\_.pdf](https://comecarne.org/wp-content/uploads/2021/06/SENASICA_.pdf).
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad e Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2022. Panorama actual de la carne de porcino en canal en México. [https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2022/septiembre/PanoramadelacarnedeporcinoencanalenM%C3%A9xico\\_39a380c5-55d8-4afd-a943-89280a464c13.pdf](https://dj.senasica.gob.mx/Contenido/files/2022/septiembre/PanoramadelacarnedeporcinoencanalenM%C3%A9xico_39a380c5-55d8-4afd-a943-89280a464c13.pdf).
- SNIIM (Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados). 2022. Mercados del exterior. <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/Home.aspx?opcion=../SNIIM-MercadosExterior/fruthort/me.htm>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Anuario Estadístico de la producción ganadera, Porcino. [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_pecuario/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_pecuario/).
- Takayama T, Judge GG. 1964. Spatial Equilibrium and Quadratic Programming. *Journal of Farm Economics*, 46(1). 67-93. <https://doi.org/10.2307/1236473>.
- Vázquez JMP, Martínez MÁ. 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>.
- Yavuz F, Zulauf C, Schnitkey G, Miranda M. 1996. A Spatial Equilibrium Analysis of Regional Structural Change in the U.S. Dairy Industry. *Review of Agricultural Economics*, 18(4). 693-703. <https://doi.org/10.2307/1349600>.