

## Distribución regional de carne de pollo en México: Una aplicación de las condiciones Karush-Kuhn-Tucker

### Chicken meat regional distribution in Mexico: An application of Karush-Kuhn-Tucker conditions

Samuel Rebollar-Rebollar\*✉

Rebollar-Rebollar, S. (2021). Distribución regional de carne de pollo en México: Una aplicación de las condiciones Karush-Kuhn-Tucker. Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 29(83), e3069, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021833069>

#### RESUMEN

El objetivo fue evaluar las condiciones Karush-Kuhn-Tucker sobre el mercado de carne de pollo en México en el año 2018, con programación cuadrática. El país se dividió en ocho zonas ofertantes-demandantes más dos regiones de ingreso de compras externas: Noroeste, Norte, Noreste, Centro-Oeste, Centro-Este, Sur, Oriente, Península. Se detectó subestimación en producción total y regional en 0.4%, equivalente a 13,984 t; magnitud próxima a la de 2018; subestimó demanda regional y nacional en 0.3%, con un bienestar social medido en 2,247.7 billones de pesos. Se generó producción y consumo positivos, diferencial de mercadeo mayor que el desembolso por transporte y activó mejores encadenamientos de abasto. El acoplamiento de 2018 y resultados fue menor a 1%. El optimizar es una opción matemática viable como base para el análisis del mercado y abasto territorial de esa carne en el país.

**Palabras clave:** carne de pollo; Karush-Kuhn-Tucker; programación cuadrática; Bienestar social.

#### ABSTRACT

The objective was to evaluate the Karush-Kuhn-Tucker conditions on the chicken meat market in Mexico in 2018, with quadratic programming. The country was divided into eight supplying-demanding zones plus two regions for the entry of external purchases: Northwest, North, Northeast, Center-West, Center-East, South, East, Peninsula. An underestimation in total and regional production was detected in 0.4%, equivalent to 13,984 t; magnitude close to the 2018; it underestimated regional and national demand by 0.3%, with a social welfare measured at 2,247.7 billion pesos. Positive production and consumption were generated, a marketing differential greater than the disbursement for transportation, and it activated better supply chains. The coupling of 2018 and results was less than 1%. Optimizing is a viable mathematical option as a basis for the analysis of the market and territorial supply of this meat in the country.

**Keywords:** chicken meat; Karush-Kuhn-Tucker; quadratic programming; Social welfare.

Recibido: 4 de febrero de 2021 Aceptado: 23 de julio de 2021

\*Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Carretera Toluca-Tejupilco km 67.5, Barrio de Santiago, C. P. 51300, Temascaltepec de González, México. Correo electrónico: [srebollarr@uaemex.mx](mailto:srebollarr@uaemex.mx) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2906-0571>

✉ Autor para correspondencia

## INTRODUCCIÓN

En 2019 la avicultura de México participó en 64% de todo el subsector pecuario, de este porcentaje 34% correspondió a pollo, cuyo volumen cárnico rebasó al de bovinos (20%) y porcinos (14%) (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, 2019). En el mismo año México produjo 3,447.6 miles de toneladas de carne de pollo (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 9 de octubre de 2020) auspiciada por Veracruz con 11.7%, Jalisco con 11.6%, Aguascalientes con 11.5% y Querétaro con 10.3%. Las importaciones se ubicaron en 550,000 t para dar un consumo nacional aparente (CNA) de 4,121 miles de toneladas (Unión Nacional de Avicultores, 15 de octubre de 2020).

El CNA de carne de pollo entre 2008 y 2019 creció 2.8% como promedio anual. El consumo en 2019 fue de 4 millones de toneladas gracias al aumento en producción nacional y precios accesibles al ingreso del consumidor, al posicionarse como proteína preferida por consumidores mexicanos (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, 2019). En el mismo año la distribución por persona fue 28.7 kg, superior al cerdo (16 kg) y a la res (18 kg) (Unión Nacional de Avicultores, 15 de octubre de 2020). Para abastecer el déficit de carne de pollo en México se importaron 550,000 t, 76% correspondió a pierna y muslo (Unión Nacional de Avicultores, 15 de octubre de 2020) debido a que ese tipo de carne en EE. UU. tiene menor valor comercial, con preferencia de pechuga y alas; por tanto, el precio que se otorga a pierna y muslo es menor (Saldaña Pérez, 2011).

En cuanto a importaciones, EE. UU. continúa como proveedor principal de carne de pollo hacia México. En 2019, 39% de las compras externas ingresó por Nuevo Laredo, 25% por Veracruz y 14% por Yucatán (Progreso) (SHCP-SAT, 16 de octubre de 2020); puntos de entrada ineficientes a centros demandantes, por lo que importaciones espaciales inapropiadas aumentan desembolsos monetarios por abasto, distribución; además de reducir competencia para el oferente mexicano (Rebollar-Rebollar, Martínez Damián, Callejas Juárez, & Velázquez-Villalva, 2019b).

En este sentido, las condiciones de Karusch-Kuhn-Tucker (KKT), como exigencias necesarias e idóneas para que el resultado de una cuestión de programación matemática sea la mejor (Gass & Harris, 2001; Moon Hee, & Gue Myung, 2013) son la especificación del procedimiento de multiplicadores de Lagrange (Andreani, Martínez, & Schuverdt, 2005; Boyd, Parikh, Chu, Peleato, & Ekstein, 2011) y utilizan la técnica consistente en hallar máximos y mínimos de ecuaciones con muchas inconstantes encadenadas a impedimentos y minimizan un problema limitado con  $n$  variables a otro sin obstáculos de  $n + k$  variables, en el que la letra  $k$  se iguala a las cantidades de inconvenientes y los modelos se solucionan por procedimiento habitual.

Las actuales variables escalares no conocidas, una por restricción, se llaman multiplicadores de Lagrange (Wallace, 2004). Tal criterio conduce a señalamientos en los que cuando la ecuación tiene un extremo supeditado en  $n$  limitaciones se ubica en límites estabilizados mediante un nuevo modelo sin limitaciones y se construye de forma lineal entre la primera ecuación y las mezcladas con limitantes en los que los resultados resaltan lagrangianos (Boyd et al., 2011).

El objetivo fue evaluar la aplicación de las condiciones de optimización de Kuhn-Tucker sobre la distribución del mercado de carne de pollo en México con datos oficiales observados en 2018. La hipótesis menciona que mediante las condiciones de optimización el intercambio entre regiones productoras, consumidoras e importaciones de carne de pollo se mejora, lo que se refleja en un valor social neto (VSN) mayor, con relación al observado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para generar resultados sobre eficiencia del mercado cárnico mexicano se precisó regionalizar al país con base en lo que encontraron Bassols Batalla, Delgadillo Macías y Torres Torres (1992), quienes lo separaron en ocho zonas oferentes y demandantes; la NO (Noroeste), integrada por Baja California (B. C.), Baja California Sur, Sonora (Son.), Sinaloa y Nayarit; la NR (Norte), conformada por Coahuila (Coah.), Chihuahua (Chih.), Zacatecas, San Luis Potosí y Durango; la NE (Noreste), representada por Tamaulipas (Tamps.) y Nuevo León (N. L.); la CO (Centro-Occidente), con Colima, Jalisco, Aguascalientes, Michoacán y Guanajuato; la CE (Centro-Este): Querétaro, Estado de México, Ciudad de México, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala y Morelos; la SU (Sur), en donde se ubican Oaxaca, Guerrero y Chiapas; la OR (Oriente), integrada por Tabasco y Veracruz; la PE (Península), con Quintana Roo, Yucatán y Campeche. Se agregaron internaciones de importaciones de esa carne (dos) procedentes de EE. UU. al cuadro de zonas ofertantes y sumar 10 territorios.

El primer punto de internación (PI1) integró garitas de Colombia (N. L.), Nuevo Laredo, Matamoros y Reynosa en Tamps. y Piedras Negras (Coah.). La garita 1 registró 68% de la carne total importada. El segundo (PI2) integró las de Tijuana, Ensenada y Mexicali (B. C.); Nogales y San Luis Rio Colorado (Son.) y Ciudad Juárez (Chih.). Tal garita permitió acceder 32% del total de importaciones de esa carne (Hernández-Aguirre, Rebollar-Rebollar, Gómez-Tenorio, & Velázquez-Villalva, 2020).

El modelo parcial de equilibrio se propuso mediante la estructura de ecuaciones de oferta y demanda inversas (Martínez Damián & Hernández Ortiz, 2012) con programación cuadrática. La función objetivo a optimizar se basó en generar el valor social neto (VSN) como el diferencial de espacio geométrico entre las líneas de demanda menos aquel espacio formado bajo el lugar geométrico de la oferta (costos marginales), restando todos los desembolsos del mercadeo que fueron costos de movilización de zonas ofertantes a territorios demandantes nacionales de carne de pollo, condicionada a limitantes de producción y consumo. Las funciones inversas de precios utilizaron elasticidades inelásticas precio de oferta y demanda provenientes de E. Rebollar, A. Rebollar, Rebollar Rebollar, Mondragón Ancelmo y Gómez Tenorio (2019c) y se aplicó al mercado del pollo en México con información disponible en 2018.

Existen regiones productoras y consumidoras que comercializan bienes en común; es el caso del subproducto ave, se hayan separadas por los costos de transporte del producto, pero no se comunican entre ellas (Takayama & Judge, 1964). La obtención del VSN prescindió de definir endógenamente los precios, como función de demanda inversa (Martínez Damián & Hernández Ortiz, 2012), que en la zona  $i$  fue:  $P_{di} = (Y_{di}) = \lambda_{di} + \omega_{di}Y_{di}$ ;  $\omega_{di} < 0$ . En donde  $P_{di}$  = demanda-precio del producto cárnico en el territorio  $i$  dada en \$/t;  $Y_{di}$  = volumen cárnico demandado en el territorio  $i$ , en t;  $\lambda_{di}$  = punto donde interseca la demanda de esa carne;  $\omega_{di}$  = pendiente de la ecuación por cada zona.

Para cierto territorio, la oferta inversa de carne de pollo fue:  $P_{si} = (X_{si}) = V_{si} + \eta_{si}X_{si}$ ;  $\eta_{si} > 0$ . Donde:  $P_{si}$  = precio, en la región  $i$ , dada en \$/t;  $X_{si}$  = cantidad ofertada en la zona  $i$ , en t;  $V_{si}$  = punto del territorio  $i$  donde la expresión matemática interseca;  $\eta_{si}$  = pendiente de la ecuación en el territorio  $i$ .

El espacio bajo la línea de consumo (demanda) (EBLC) provino por la integración de la ecuación inversa mediante el segmento que inicia en cero hasta  $Y_{di}^*$ , que es la cantidad óptima por estimar:  $EBLC = \int_0^{Y_{di}^*} (\lambda_{di} + \omega_{di}Y_{di}) dY_{di} = \lambda_{di}Y_{di}^* + \frac{1}{2} \omega_{di}Y_{di}^{*2}$ . El espacio bajo la línea referente a la oferta (EBLO), en el intervalo de 0 a  $X_{si}^*$ , como la magnitud

máxima a generar, fue obtenido mediante  $EBLO = \int_0^{X_{si}^*} (V_{si} + \eta_{si}X_{si}) dX_{si} = V_{si}X_{si} + \frac{1}{2} \eta_{si}X_{si}^2$ . Cuando se anexan costos de movilización del producto con los territorios, la expresión del VSN se observa como sigue:

$Max VSN = [\sum_{i=1}^8 (\lambda_{di}Y_{di} + \frac{1}{2} \omega_{di}Y_{di}^2) - \sum_{i=1}^8 (V_{si}X_{si} + \frac{1}{2} \eta_{si}X_{si}^2) dY_{di} - \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} X_{ij}T_{ij}]$ . Donde:  $X_{ij}$  = volumen movilizado del producto de la zona  $i$  al territorio  $j$  (\$/t);  $T_{ij}$  = desembolso por transportar carne desde la zona  $i$  a la zona  $j$  (\$/t);  $\lambda_{di}$  es  $> 0$  y  $V_{si} > 0$ . Condiciones de no negatividad.

El modelo matemático se basó en que la cantidad demandada de carne de pollo debe ser igual o menor que el total de lo que se envía de regiones ofertantes ( $s$ ) a zonas consumidoras ( $d$ ).  $Y_d \leq \sum_{d=1}^8 X_{sd}$   $d=1,2,3...8$ . El volumen ofertado del producto cárnico debe ser mayor o igual que el total de cantidades enviadas de zonas ofertantes ( $s$ ) a territorios consumidores ( $d$ ).  $X_s \leq \sum_{d=1}^{10} X_{sd}$   $s=1,2,3...10$ . El monto consumido, producido y de envíos de zonas ofertantes ( $s$ ) a territorios consumidores ( $d$ ), es igual o mayor que cero (condiciones de no negatividad del modelo) ( $Y_d, X_s$  y  $X_{sd} \geq 0$ ). Hay tres variables en el modelo: oferta y demanda en cada región e intercambios del producto entre territorios. Las condiciones de optimización se realizaron con el lagrangeano:

$$L = \sum_{i=1}^8 (\lambda_{di}Y_{di} + \frac{1}{2} \omega_{di}Y_{di}^2) - \sum_{i=1}^{10} (V_{si}X_{si} + \frac{1}{2} \eta_{si}X_{si}^2) + \sum_{s=1}^{10} \sum_{d=1}^8 t_{sd} x_{sd} + \sum_{d=1}^8 \sigma_d (X_{sd} - Y_{di}) + \sum_{s=1}^8 \sigma_s (X_s - \sum_{d=1}^8 X_{sd})$$

En su respuesta fue vital incorporar limitantes matemáticas de Kuhn-Tucker (Andreani et al., 2005; Boyd et al., 2011; Wallace, 2004), mismas que fueron definidas de la siguiente manera:  $\frac{\partial L}{\partial Y_{di}} = \lambda_{di} + \omega_{di}Y_d - \bar{\sigma}_d = 0$ .  $\lambda_{di} + \omega_{di}Y_d$  representa el valor de mercado que paga el demandante y  $\bar{\sigma}_d$  refiere el valor o precio al demandante óptimo. Por su parte:

$$\frac{\partial L}{\partial X_{si}} = (V_{si} + \eta_{si}X_{si}) - \bar{\sigma}_s \leq 0 \text{ y } \left(\frac{\partial L}{\partial X_{si}}\right) (\bar{X}_s) = 0, \forall s; V_{si} + \eta_{si}X_{si}$$

muestra el precio considerado como de mercado al oferente y,  $\bar{\sigma}_s$  el precio óptimo al productor. Adicionalmente:

$\frac{\partial L}{\partial X_{sd}} = -t_{sd} + \bar{\sigma}_d - \bar{\sigma}_s \leq 0 \text{ y } \left(\frac{\partial L}{\partial X_{sd}}\right) (\bar{X}_s) = 0, \forall s \text{ y } d. \bar{\sigma}_d > 0, \bar{\sigma}_s > 0$ , condiciones de no negatividad del modelo. Cuando el diferencial de precios ( $\bar{\sigma}_d - \bar{\sigma}_s$ ) es mayor o igual que costo de movilización por zona ( $t_{sd}$ ), es condición para que en la solución haya intercambios del producto.

Por su parte:

$\frac{\partial L}{\partial \sigma_d} = \sum_{s=1}^{10} X_{sd} - Y_{di} \geq 0 \text{ y } \left(\frac{\partial L}{\partial \sigma_d}\right) (\sigma_d) = 0, \forall d$  Cuando  $\sigma_d \geq 0$  indica que no habría exceso de demanda y:  $\frac{\partial L}{\partial \sigma_s} = X_s - \sum_{d=1}^8 X_{sd} \geq 0 \text{ y } \left(\frac{\partial L}{\partial \sigma_s}\right) (\sigma_s) = 0, \forall s$

Tal resultado expresa inexistencia de producción en exceso.

### Datos

Los datos de volúmenes producidos y ventas externas de esa carne por cada estado provino de información oficial (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, 9 de octubre de 2020; SHCP-SAT, 16 de octubre de 2020); después, a la producción de las entidades federativas se restó la exportación, adicionándose tal producción estatal que integró cada zona para obtener el volumen regional  $S_i = Q_i - \text{exportaciones}$ .

Las compras externas (importación) provinieron del SHCP-SAT (16 de octubre de 2020) por fracción arancelaria y puntos (aduanas) de ingreso a México. La información sobre demanda por región se obtuvo al utilizar la población por estado, generada del Consejo Nacional de Población (2018). Para la población se procedió a multiplicar el dato por el consumo individual dado para ese territorio (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura, 2019; Unión Nacional de Avicultores, 15 de octubre de 2020) y se agregó el resultado al consumo estatal que integró cada región. El precio del producto por región fue ponderado con base en la participación de la producción estatal de esa región; el de las aduanas de ingreso de la carne provino del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (19 de octubre de 2018).

Por región, el costo de transporte provino de generar el producto: distancia x costo x km, cuya información se obtuvo por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (10 de febrero de 2018). Las capitales de los estados se consideraron como puntos referenciales y se ponderaron tales distancias en cada región. El costo de transporte del pollo fue de 44 pesos por km y se obtuvo por encuesta a una compañía especializada en ese servicio. Para su estimación fue necesario el índice de precios referente al transporte carretero de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes adicional al costo del diésel más la inflación del mismo año, todo ello para generar la composición porcentual de dicho gasto.

Las funciones inversas de oferta y demanda del producto cárnico requirieron previamente de la utilización de sus respectivas elasticidades precio difundidas por Rebollar Rebollar et al. (2019c) y de las importaciones las de Vázquez Alvarado y Martínez Damián (2011). Su obtención se basó en Alston, Norton y Pardey (1998), Kawaguchi, Susuki y Kaiser (1997) citados por Rebollar Rebollar, Velázquez Villalva, Gómez Tenorio, Posadas Domínguez y Martínez Castañeda (2020). La salida óptima que se estima no tiene escenarios de política comercial o no presenta distorsiones de mercado (Rebollar Rebollar et al., 2020). Los resultados que se obtienen y su relación con los observados no deben variar más de 10%, ello con el propósito de aplicar escenarios de política. Si la variación es menor o mayor existe subestimación/sobreestimación de resultados (Rebollar Rebollar, Chiatchoua, & Gómez Tenorio, 2019a). La salida del modelo base se generó con la utilización del software General Algebraic Modeling System (GAMS), escrito como lenguaje de programación GAMS, mediante el uso de uno de sus solucionadores, conocido como MINUS, en su referencia 24.4.2, Windows-Office 2013.

RESULTADOS

La tabla 1 presenta resultados de la optimización del modelo y su contraste con el nivel observado (2018) del producto cárnico, con relación a variables: producción, importaciones y consumo, a nivel zona y país.

Tabla 1  
*México: mercado del pollo en México*

Región	2018	Base	Diferencia	%
Producción (t)				
Noroeste (NO)	203,313	203,241	-72	-0.035
Norte (NR)	471,390	465,039	-6,351	-1.366
Noreste (NE)	68,843	70,701	1,858	2.628
Centro-Occidente (CO)	1,044,478	1,034,013	-10,465	-1.012
Centro-Este (CE)	757,180	782,018	24,838	3.176
Sur (SU)	210,117	210,530	413	0.196
Oriente (OR)	413,467	413,347	-120	-0.029
Península de Yucatán (PE)	169,585	159,935	-9,650	-6.034
Importaciones (t)				
Punto de internación 1	579,229	524,518	-54,711	-10.431
Punto de internación 2	226,525	245,532	19,007	7.741
Consumo (t)				
Noroeste (NO)	391,710	397,236	5,526	1.391
Norte (NR)	433,290	433,424	134	0.031
Noreste (NE)	295,680	295,233	-447	-0.151
Centro-Occidente (CO)	691,020	692,101	1,081	0.156
Centro-Este (CE)	1,357,290	1,349,942	-7,348	-0.544
Sur (SU)	433,950	430,814	-3,136	-0.728
Oriente (OR)	352,440	350,188	-2,252	-0.643
Península de Yucatán (PE)	159,720	159,935	215	0.134
VSN (BDP)	2,207	2,450	243	9.901

Nota: Resultados óptimos 2018. BDP: billones de pesos.  
Elaboración propia.

### Producción óptima

La producción es óptima si se cumple la condición matemática donde el precio óptimo y de mercado al productor son iguales (tabla 2). Se observa que, para todas las regiones productoras, si bien los precios fueron diferentes, se cumple tal condición.

Tabla 2  
*Condiciones de optimización. Oferta.*

Región	Producción óptima (t)	Precio de mercado al productor (\$/t) A	Precio óptimo al productor (\$/t) B	Diferencia (A-B)
NO	203,241	27,013	27,013	0
NR	465,039	30,600	30,600	0
NE	70,701	30,760	30,760	0
CO	1,034,013	31,774	31,774	0
CE	782,018	32,834	32,834	0
SU	210,530	32,917	32,917	0
OR	413,347	32,665	32,665	0
PE	159,935	33,865	33,865	0
PI1	524,518	29,639	29,639	0
PI2	245,532	26,535	26,535	0

*Nota:* Elaborada con cálculos propios, al tomar como referencia la salida del modelo.

### Demanda óptima

Al referenciar la optimización del modelo, la existencia de resultados no negativos en la maximización de producción y consumo del producto cárnico, se requiere que en cada región el precio de mercado estimado para la demanda en cada una de sus ecuaciones se iguale óptimo (tabla 3).

Tabla 3  
*Consumo de pollo. Optimización del modelo 2018*

Región	Consumo óptimo (t)	Precio de mercado al consumidor (\$/t) A	Precio óptimo al consumidor (\$/t) B	Diferencia (A-B)
NO	397,236	30,510	30,510	0
NR	433,424	31,950	31,950	0
NE	295,233	30,990	30,990	0
CO	692,101	32,510	32,510	0
CE	1,349,942	33,410	33,410	0
SU	430,814	34,650	34,650	0
OR	350,188	33,590	33,590	0
PE	159,935	34,460	34,460	0

*Nota:* Elaborada con cálculos propios, al tomar como referencia la salida del modelo.

### Flujos comerciales óptimos

En la existencia de intercambios del producto entre zonas la diferencia aritmética (margen de comercialización) entre los precios óptimo al consumidor/productor, debe ser igual o mayor que cero (tabla 4).

Tabla 4  
*Carne de pollo. Márgenes de mercadeo*

Región	Precio óptimo al consumidor (\$/t) A	Precio óptimo al productor (\$/t) B	Margen (A-B)
NO	30,510	27,013	3,497
NR	31,950	30,600	1,350
NE	30,990	30,760	230
CO	32,500	31,774	726
CE	33,410	32,834	576
SU	34,650	32,917	1,733
OR	33,590	32,665	925
PE	34,460	33,865	595

Nota: Elaboración propia, con referencia en la solución óptima.

Para que existan o se activen rutas de transporte y abastecimiento del producto con las zonas productoras y consumidoras debe cumplirse la condición en que el margen (diferencia) de comercialización sea igual o mayor que el costo de transporte por tonelada). Así, la ruta  $X_{1,1}$  (tabla 5) describe la comercialización (mercadeo) al interior de la misma región que se activó, porque el margen fue superior al precio por transportar la misma unidad de producto.

Tabla 5  
*Carne de pollo. Optimización de rutas de abasto, 2018*

Itinerario (Xsd)	Diferencia (\$/t)	Costo de mercadeo (\$/t)	Diferencia
$X_{1,1}$ (NO a NO)	3,497	3,496	1
$X_{2,2}$ (NR a NR)	1,350	1,348	2
$X_{2,5}$ (NR a CE)	2,810	2,808	2
$X_{3,5}$ (NE a CE)	2,650	2,648	2
$X_{4,4}$ (CO a CO)	730	730	0
$X_{4,5}$ (CO a CE)	1,636	1,634	2
$X_{5,5}$ (CE a CE)	576	574	2
$X_{5,6}$ (CE a SU)	1,816	1,813	3
$X_{66}$ (SU a SU)	1,733	1,730	3
$X_{76}$ (OR a SU)	1,985	1,982	3
$X_{77}$ (OR a OR)	925	924	1
$X_{88}$ (PE a PE)	595	595	0
$XP_{11,3}$ (PI1 a NE)	1,351	1,347	4
$XP_{11,5}$ (PI1 a CE)	3,771	3,769	2
$PI_{2,NO}$ (PI2 a NO)	3,975	3,975	0
$PI_{2,NR}$ (PI2 a NR)	5,415	5,415	0

Nota: Elaborada con cálculos propios, con base en resultados del modelo base, 2018.



## DISCUSIÓN

Se sobreestimó la producción en 0.01%, pues el total fue mayor al de 2018 en 450 t. Los resultados sobreestimaron importaciones en 4.4%, equivalente a 35,704 t entre el modelo base y el observado. Subestimó consumo nacional y regional en -0.2%; cuya diferencia entre el de la salida y el de 2018 fue de -8,434 t (tabla 1). Con la salida base, la opción de estrategia económica en beneficio de la sociedad medida por la diferencia entre el excedente al consumidor y al productor (excedente social) es que esta propone menor producto a nivel nacional (figura 1), excepto en el CE (Centro-Este) y SU (Sur), cuyo volumen de producción (de estas dos regiones) sumó 25,251 t, con predominancia de la región CE. Sin embargo, en la realidad como la producción no puede disminuir, pero tampoco es tan conveniente que se autorice incrementar importaciones para no dañar a productores, el gobierno podría echar mano de otros instrumentos de política como cuotas compensatorias *ad valorem* en carne de pollo (Hernández-Aguirre et al., 2020), con la idea de que son más benéficas que perjudiciales, lo cual es similar a la afirmación de la OCDE (2018) y de la Unión Nacional de Avicultores (25 de octubre de 2020).



Figura 1. Se estudia la distribución del mercado de carne de pollo en varias zonas de México en 2018.  
Fotografía del equipo de investigación.

Con relación a la producción óptima (tabla 2), la expresión endógena del precio relacionada con la cantidad ofertada para la región (NO) fue:  $P_{NO} = -16,322,290 + 80.443(X_{NO})$ ,  $X_{NO}$  fue 203,241 t de producto con resultado de 27,025 \$/t (por cuestión de decimales, el precio debió ser 27,013) y el del modelo 27,013 \$/t con un diferencial de cero. Tal atributo fue considerado en la obtención de valores mayores que cero; como lo afirmaron Rebollar-Rebollar et al. (2019b) en las otras zonas, las estimaciones fueron similares. Adicionalmente, 18.7% del consumo total del producto provendría desde fuera de México (PI1 y PI2) y la región CO, como principal productora, tendría que abastecer 31% del total nacional.

### Consumo óptimo

Con referencia a la estimación del consumo de la zona Noroeste, su ecuación fue  $P_{NO} = 188,398 - 0.39746Y_{NO}$ ; en este caso, en lugar de  $Y_{NO}$  (consumo óptimo,  $Y_d$ ) se coloca el valor dado por el modelo de 397,236 t; que, al sustituirlo en la ecuación del precio, el resultado fue:  $P_{NO} = 188,398 - 0.39746 (397,236) = \$30,512.6$  \$/t. Tal cantidad se haya validada por los precios óptimo ( $\overline{\sigma_d}$ ) y de mercado que, para el mismo territorio, fue \$30,510; el resultado aritmético, por redondeo, fue cero, cumpliéndose el requerimiento matemático de demandas óptimas positivas. La región CE consumió 32.9% y la NE solamente 3.9% del volumen total nacional; en concordancia con la Unión Nacional de Avicultores (25 de octubre de 2020), el consumo se relaciona directamente con el número de consumidores, más que con el precio.

### Flujos comerciales óptimos

El diferencial de mercadeo entre regiones igualó y/superó al cero, similar al hallazgo de Rebollar-Rebollar et al. (2019b) para el subproducto porcino mexicano; situación vital para activar trayectos en mercadeo y abasto de esa carne, situación que enriquece las condiciones de maximización planteadas en esta investigación.

El itinerario sobre abasto y distribución de ese producto cárnico dado por  $X_{2.5}$  (de la región NR a la CE de México) (tabla 5) se activó porque el precio óptimo al consumidor de la CE ( $\overline{\sigma_d}$ ) fue de 33,410 \$/t; el precio óptimo al productor ( $\overline{\sigma_s}$ ) de la región NR de 30,600 \$/t y el costo de transporte por tonelada comercializada de la NR a la CE fue de 2,808 \$/t; por tanto, la diferencia (margen) entre precio al consumidor de la región CE y precio al productor de la NR fue de 2,810 pesos (\$33,410 - \$30,600). Este margen de comercialización (2,810 \$/t) fue mayor que el costo de transporte (2,808 \$/t) (tabla 5).

No fue posible observar otros trayectos de mercadeo del producto con las zonas debido a que la dimensión del diferencial de comercialización (margen) ocasionó que la remuneración de la distribución del producto superara a la ganancia.

## CONCLUSIONES

El modelo optimizó el mercado del producto cárnico en el país. Los precios óptimos y de mercado, tanto al consumidor como al productor, así como el diferencial entre margen y costo de transporte fueron la base para la activación de sendas de mercadeo en esa carne entre distintas regiones del país; lo anterior fue una condición esencial en la demostración de requerimientos Karush-Kuhn-Tucker derivadas de la optimización lagrangeana. Las restricciones del problema y el criterio de optimalidad (multiplicadores de Lagrange) quedaron satisfechos, por lo que los resultados del modelo sirven como base para aplicar escenarios distintos de política comercial sobre los que se base el propósito gubernamental.

## REFERENCIAS

- Alston, J. M., Norton, G. W., & Pardey, P. G. (1998). *Science under scarcity: Principles and practice for agricultural research evaluation and priority setting*. New York, US: Cornell University Press. Recuperado de <https://ebrary.ifpri.org/digital/collection/p15738coll11/id/6>

- Andreani, R., Martínez, J. M., & Schuverdt, M. L. (2005). On the relation between constant positive linear dependence condition and quasinormality constraint qualification. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 125(2), 473-483. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10957-004-1861-9>
- Bassols Batalla, A., Delgadillo Macías, J., & Torres Torres, F. (Eds.) (1992). *El desarrollo regional de México: Teoría y práctica*. Distrito Federal, México: UNAM.
- Boyd, S., Parikh, N., Chu, E., Peleato B., & Eckstein, J. (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>
- Consejo Nacional de Población. (2018). Proyecciones de la población y conciliación demográfica (Página electrónica). Recuperado de <https://www.gob.mx/conapo#documentos>.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. (2019). *Panorama Agroalimentario. Carne de pollo 2019* (Documento en pdf, 20 pp.). Recuperado de <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/09/Panorama-Agroalimentario-Carne-de-pollo-2019.pdf>.
- Gass, S. 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
- Hernández-Aguirre, P., Rebollar-Rebollar, S., Gómez-Tenorio, G., y 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, 1-12. doi: 10.30973/aap/2020.6.0061011
- Kawaguchi, T., Suzuki, N., & Kaiser, H. M. (1997). A spatial equilibrium model for imperfectly competitive milk markets. *American Journal of Agricultural Economics*, 79(3), 851- 859. doi: 10.2307/1244426
- Martínez Damián, M. A., & Hernández Ortiz, J. (2012). Importaciones de granos básicos y precio interno en México: Un enfoque de sistema de demanda inverso. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 9(4), 401-410. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722012000400002](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722012000400002)
- Moon Hee, K., & Gue Myung, L. (2013). On efficient applications of G-Karusch Kuhn-Tucker necessary optimality theorems to multiobjective programming problems. *Journal of Global Optimization*, 55(1), 5-11. doi: 10.1007/s10898-012-9949-5
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2018). [Portal electrónico]. Recuperado de <https://www.oecd.org/>
- Rebollar Rebollar, S., Chiatchoua, C., & Gómez Tenorio, G. (2019a). Efectos de la aplicación de un impuesto en México: Caso carne de cerdo. *Análisis Económico*, 34(86), 245-261. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-66552019000200245&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2448-66552019000200245&script=sci_abstract)

- Rebollar-Rebollar, S., Martínez Damián, M. A., Callejas Juárez, N., y Velázquez-Villalva, H. H. (2019b). Eficiencia en el mercado de carne de cerdo en México. *Ciencia Ergo Sum*, 26(3). doi: 10.30878/ces.v26n3a8
- Rebollar Rebollar, E., Rebollar Rebollar, A., Mondragón Ancelmo, J., & Gómez Tenorio, G. (2019c). Oferta y demanda regional de carne de pollo en México, 1996-2016. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(4), 917-932. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=\\$2007-11242019000400917](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=$2007-11242019000400917)
- Rebollar Rebollar, S., Velázquez Villalva, H. H., Gómez Tenorio, G., Posadas Domínguez, R. R., & Martínez Castañeda, F. E. (2020). Efectos de la aplicación de subsidios al mercado porcino en México. *Archivos de Zootecnia*, 69(265), 30-37. doi: 10.21071/az.v69i265
- Saldaña Pérez, J. M. (2011). Importaciones de pollo de los Estados Unidos: Un caso de *dumping*, no de salvaguardia. *Cultura Jurídica*, 1, 15-41. Recuperado de [https://www.derecho.unam.mx/investigacion/publicaciones/revista-cultura/pdf/CJ\(Art\\_1\).pdf](https://www.derecho.unam.mx/investigacion/publicaciones/revista-cultura/pdf/CJ(Art_1).pdf)
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (10 de febrero de 2018). Rutas punto a punto [Página electrónica]. Recuperado de [https://app.sct.gob.mx/sibuac\\_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta](https://app.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta)
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público-Sistema de Administración Tributaria. (16 de octubre de 2020). Buscador de fracciones arancelarias. Recuperado de <https://www.ventanillaunica.gob.mx/vucem/Clasificador.html>.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (9 de octubre de 2020). Avance mensual de la producción pecuaria [Página electrónica]. Recuperado de [http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance\\_siap\\_gb/pecResumen.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp)
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. (19 de octubre de 2018). Mercados del exterior [Página electrónica]. Recuperado de <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/Home.aspx?opcion=../SNIIM-MercadosExterior/fruthort/me.htm>
- Takayama, T., & Judge, G. G. (1964). Spatial equilibrium and quadratic programming. *Journal of Farm Economics*, 46(1), 67-93. doi: 10.2307/1236473
- Unión Nacional de Avicultores. (15 de octubre de 2020). Indicadores económicos [Portal electrónico]. Recuperado de <https://una.org.mx/indicadores-economicos/>
- \_\_\_\_\_ (25 de octubre de 2020). La Industria avícola garantiza el abasto de pollo y huevo para el país: Juan Manuel Gutiérrez [Portal electrónico]. Recuperado de <https://una.org.mx/abasto-de-pollo-y-huevo/>
- Vázquez Alvarado, J. M. P., & Martínez Damián, M. A. (2011). (28 de octubre de 2019). *Elasticidades de oferta y demanda de los principales productos agropecuarios de México* [Documento en pdf]. México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de <https://www.siiiba.conadesuca.gob.mx/siiaca/Consulta/verDoc.aspx?num=1132>

- Wallace, B. (2004). Constrained Optimization: Kuhn-Tucker conditions [Documento en pdf]. Recuperado de <http://www.worldcolleges.info/sites/default/files/enggnotes/kuhn-tucker.pdf>



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato  
Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material  
La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.