

Prueba de factibilidad de mecanismos de estabilización de precios del maíz, trigo, y arroz mexicanos mediante algoritmos de cobertura cruzada con opciones del CME

Dr. Oscar V. De la Torre Torres

Tabla de contenidos

1 Datos generales del proyecto	2
Resumen ejecutivo del proyecto	3
2 Introducción al proyecto y antecedentes del problema de investigación	3
3 Problema general de investigación	14
3.1 Problemas particulares de investigación	15
4 Justificación del proyecto de investigación	16
5 Impacto y trascendencia del proyecto: Beneficiarios del proyecto de investigación	19
6 Hipótesis general y específicas de la investigación	20
6.1 Hipótesis general	20
6.2 Hipótesis específicas de investigación	20
7 Objetivo general y específicos de la investigación	21
7.1 Objetivo general del proyecto de investigación	21
7.2 Objetivos específicos del proyecto de investigación	21
8 Metas del proyecto de investigación	21
8.1 Metas presentadas en formulario del SIIA web de la UMSNH	21
8.2 Metas expuestas a detalle para la mesa revisora de la CIC-UMSNH (metas oficiales)	22
9 Entregables comprometidos	23
10 Marco teórico y revisión de la literatura científica relacionada	24
10.1 1. Teorías del cross-hedging y optimización de cartera de cobertura	24
10.2 2. Estudios previos sobre cobertura cruzada con futuros y reducción del riesgo de precios agrícolas	25
10.3 3. Políticas públicas de cobertura de riesgo y estabilización de ingresos	25

10.4	4. El caso mexicano y antecedentes empíricos relacionados	26
10.5	5. Opciones financieras, asimetría, straddles y regímenes de volatilidad	27
10.6	Síntesis integradora: justificación de la necesidad del trabajo y brechas de investigación	27
11	Metodología	28
12	Viabilidad del proyecto (recursos materiales para su ejecución, cronograma de actividades de investigación y desglose financiero)	33
12.1	Arquitectura informática que sustenta el proyecto de investigación	33
12.2	Cronograma tentativo de actividades	36
12.3	Presupuesto o planeación financiera del proyecto	42
12.4	Justificación del presupuesto	42
12.4.1	COG 21502100 (Material para información en actividades de investigación científica y tecnológica) con el concepto de compra de datos de opciones financieras y no financieras	43
12.4.2	COG 31902100 (contratación de otros servicios) con el concepto de Análisis y estudios de muestras experimentales	43
12.4.3	COG 38301200 (Eventos académicos) con el concepto de pago de cuotas de congresos de investigación	43
13	Consideraciones finales	43
14	Declaración de originalidad, coherencia y congruencia global	44
15	Glosario de términos y definiciones empleadas en el proyecto	45
	Bibliografía citada en esta propuesta de investigación	46



UMSNH

1. Datos generales del proyecto

Folio CIC: En proceso de revisión

Estado: En proceso de revisión

Aprobación CIC-UMSNH: En proceso de revisión

Modalidad: Proyectos de investigación financiados por la Coordinación de la Investigación Científica de la UMSNH en **modalidad de 2 años** susceptible a extenderse a 3 años.

Periodo del proyecto: 2 años (2027-2028) con posible extensión a 3 (hasta 2029).

Tipo de proyecto: Ciencia aplicada.

Encargado: Dr. Oscar Valdemar De la Torre Torres (Profesor-investigador titular A de tiempo completo).

Adscripción del proyecto: Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas -UMSNH-.

Área del proyecto: Ciencia aplicada

Área de conocimiento: Ciencias Económico-Administrativas.

Palabras clave: Riesgo de ingreso, estabilización de precios, cobertura cruzada, opciones, inteligencia artificial, mercado de derivados.

Resumen ejecutivo del proyecto

El presente proyecto de investigación científica busca demostrar la viabilidad material y financiera de utilizar un mecanismo de cobertura cruzada con opciones de futuros agrícolas de la bolsa de mercancías de Chicago (*Chicago Mercantile Exchange* o *CME*). En la actualidad, México tiene estrategias que buscan incrementar la seguridad alimentaria al cubrir la fluctuación del precio de venta de productos de consumo básico como son el maíz blanco, el trigo y el arroz blanco; productos que son clave para la dieta de las y los mexicanos, así como materias primas en la industria agroalimentaria. Dentro de las estrategias que históricamente ha realizado el Gobierno Federal mexicano han estado el ofrecer comprar estos productos (u otros como la leche o el frijol) directamente a las productoras y productores, pactando un precio de garantía o ejercicio (K), a efecto de sostener la oferta de estos productos. Esto ha permitido históricamente que se sostenga la oferta de productores de estos, en especial aquellos cuyo tamaño de producción no les permite tener economías de escala y sostener precios bajos que erosionen sus márgenes de beneficio. Sin embargo, el pactar este precio de garantía K implica que la diferencia cuando el precio en el momento de pago S_t es menor que el de garantía debe ser cubierta por el Gobierno con recursos procedentes de los ingresos fiscales, lo que implica un compromiso presupuestario que puede ser difícil de sostener a largo plazo. Como resultado, este proyecto busca desarrollar algoritmos de toma de decisiones de cobertura que permitan financiar esta diferencia con recursos procedentes de coberturas (opciones) adquiridas en el CME; opciones de productos como son el maíz amarillo (para cubrir el precio del maíz blanco), el arroz (para cubrir el del arroz blanco) y el trigo (para hacer lo propio con el trigo mexicano). El objetivo principal del proyecto es demostrar que estos algoritmos permiten financiar de manera adecuada el pago del precio de garantía al productor, a la vez que se genera una utilidad (o se reduce una pérdida) para el presupuesto federal. Dentro de las barreras de factibilidad que se superarán están tanto el riesgo base (la diferencia del comportamiento del precio del producto mexicano versus el del futuro en el CME), como una adecuada relación costo-beneficio que permita ya sea generar ingresos fiscales o, al menos, reducir de manera importante el costo de este tipo de cobertura. El presente proyecto se espera impacte en el desarrollo económico del estado de Michoacán y de México, así como en la soberanía y seguridad alimentaria en México (eje estratégico de SECIHTI).

2. Introducción al proyecto y antecedentes del problema de investigación

México, durante décadas, basó su economía en la producción de productos agrícolas (Gómez Oliver, 1994; Hewitt de Alcántara, 1978). Sin embargo, con el paso del tiempo y la firma de tratados internacionales como el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), el país se ha visto en la necesidad de ajustar su producción y sus políticas públicas para poder competir en un mercado globalizado (Calva, 2007; Puyana y Romero, 2008; Yúnez-Naude, 2003). En este contexto, los pequeños y medianos productores de granos han sido los más afectados,

ya que no cuentan con los recursos necesarios para competir con las grandes empresas transnacionales que dominan el mercado ([Appendini, 2014](#); [Martínez-Cuero, 2021](#)).

Por otro lado, desde los años de la década de 1970, los precios de mercancías agrícolas como los tres granos de interés en el proyecto se han visto influenciados por factores como la baja productividad agrícola y, por otro lado, la amenaza de precios más bajos y competitivos de productos de la misma naturaleza adquiridos en el extranjero ([Diario Oficial de la Federación, 1996](#); [Gómez Oliver, 1994](#)). A esta situación debe añadirse el efecto que, con la apertura de México a mercados internacionales, se tiene de la volatilidad de los precios agrícolas en el mundo sobre los mexicanos. Esto ha provocado que, de manera gradual, la oferta de maíz, trigo y arroz se haya reducido en los productores medios y pequeños y concentrado en productores grandes con economías de escala. Esto comenzó a tener impactos de oferta y disponibilidad de múltiples productos básicos de consumo masivo para la población mexicana, tales como los tres granos de interés en el proyecto de investigación. Para resolver este impacto, el Gobierno de México implementó mecanismos de contención de precios y de apoyo a los productores mediante esquemas de precios de garantía y mecanismos de compra de excedentes de la producción nacional. El primero de estos esquemas en la década de 1970 fue la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO). Este organismo comenzó con un esquema de compra directa y almacenamiento de productos básicos como maíz, frijol y leche. En estos tres productos, el gobierno compraba y pactaba un precio de compra alto (aunque el precio de mercado real fuera más bajo) para garantizar la oferta nacional de estos productos. Con esto, se buscaba minimizar el impacto inflacionario y garantizar la disponibilidad de estos productos para el consumo y la industria. De manera complementaria, la CONASUPO implementó tiendas de conveniencia en formato de supermercado (entre otros) en donde vendía estos productos y otros a precios más accesibles. Todo esto lo hacía con la finalidad de mantener los mercados agropecuarios y de productos de consumo básico, así como para contener la inflación que creció a niveles importantes en aquel entonces. Este esquema era financiado con recursos públicos para hacer frente a las pérdidas generadas por la compra de productos a precios superiores a los del mercado y la venta a precios inferiores. Es importante señalar que la CONASUPO fue un proceso evolutivo de otros organismos previos cuyos antecedentes se remontan al Comité Regulador del Mercado del Henequén en Yucatán (1917). Sin embargo, por temas administrativos, costos y temas de corrupción (ante la gran cantidad de recursos disponibles que manejaba CONASUPO), el organismo fue migrando, desde 1991, a otro tipo de esquemas como son la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA) y, en 2019, a Seguridad Alimentaria Mexicana (SEGALMEX). Este último organismo operó de manera paralela a la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA). El mecanismo que originalmente implementó CONASUPO de ofrecer un precio de compra y subsidiar la diferencia, tiene un efecto de distorsión en los mercados financieros, lo que llevó a esta práctica a ser una práctica de tipo ámbra ([World Trade Organization, 1993, 1994](#)). Este tipo de prácticas no son recomendables por la Organización Mundial del Comercio (OMC) y lo ideal sería transitar a mecanismos de apoyo que se consideren verdes por parte de la OMC. Un ejemplo de este mecanismo sería la herramienta de estabilización de precios de la Unión Europea ([European Parliamentary Research Service \(EPRS\), 2016](#)). En este vehículo, la Unión Europea subsidia la creación de mutuas de seguros y el pago de primas de seguros a esas mutuas o aseguradoras para cubrir el 70 % del promedio olímpico del ingreso de los últimos tres años. Si el ingreso de las productoras o productores cae por debajo de ese promedio, la mutua hace el pago correspondiente para resarcir la pérdida. Esto reduce el riesgo de ingreso y fomenta la oferta. En este sentido, ASERCA comenzó con un esquema similar de subsidio de primas de opciones para ser adquiridas en la Bolsa de Mercancías de Chicago (CME) a productores de maíz, esto a través de la garantía y operación de los Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA ([2026](#))). Por cuestiones operativas, de conocimiento operativo y requisitos, el mecanismo funcionó, pero no tuvo la permeabilidad necesaria entre productoras y productores de maíz. Como consecuencia, el mecanismo dejó de funcionar como tal y ASERCA pasó a otros esquemas de apoyo. En el año 2019, se constituyó el organismo Seguridad Alimentaria Mexicana (SEGALMEX ([2019](#))). Dentro de sus atribuciones estaba el ofrecer un precio de garantía a productores de maíz, trigo y arroz. Dicho precio de garantía se establecía a partir del promedio mensual del precio del futuro de maíz amarillo (#2) en el CME, así como el promedio del tipo de cambio FIX. Esto para fijar un precio de garantía G por tonelada. Posteriormente, cuando la fecha de vencimiento T llegaba, SEGALMEX compraba el

maíz pactado y acreditado para entrega en almacenes de depósito al precio de garantía G . La diferencia en contra es pagada con recursos fiscales. Para dar una idea, las siguientes tablas muestran las erogaciones del programa que implementó SEGALMEX en apoyo a los productores de maíz, trigo y arroz ([Auditoría Superior de la Federación, 2001, 2004, 2006, 2011, 2012, 2014, 2015, 2017, 2019](#); [Diario Oficial de la Federación, 1996](#); [Gómez Oliver, 1994](#); [Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024](#); [Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 1999, 2000, 2002, 2003, 2005, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013, 2016, 2018, 2020, 2022, 2023, 2024, 2025, 2026](#); [Seguridad Alimentaria Mexicana, 2021](#)):

Tabla 1: Erogaciones gubernamentales y costos fiscales en apoyos a la comercialización y cobertura de maíz (1991–2026).

Año	Era Institucional	Programa Presupuestario	Vol. Apoyado (Ton)	% Cobertura	Ejercido Real 2026 (MDP)	Proyectado 100 % (MDP)	Brecha Fiscal (MDP)	Subsidio/Ton (MXN)	Fuente Oficial
1991	CONASUPO / ASERCA Transición	Apoyo a la Comercialización y Compras Estatales	2,800,000	18.4 %	\$4,819.5	\$26,163.0	\$21,343.5	\$1,721.25	(Gómez Oliver, 1994)
1992	CONASUPO / ASERCA Transición	Apoyos Directos a la Comercialización	3,200,000	18.9 %	\$5,411.4	\$28,579.0	\$23,167.6	\$1,691.06	(Secretaría de Hacienda y Crédito Público [SHCP], 1993)
1993	CONASUPO / ASERCA Transición	Compras y Subsidios de Comercialización Pre-TLCAN	3,500,000	19.3 %	\$5,892.6	\$30,473.2	\$24,580.6	\$1,683.60	(SHCP, 1994)
1994	ASERCA Inicial	Precios de Indiferencia (TLCAN)	4,100,000	22.5 %	\$6,749.0	\$30,041.3	\$23,292.3	\$1,646.10	(SHCP, 1995)
1995	ASERCA Inicial	Apoyos de Emergencia a la Comercialización	4,500,000	24.5 %	\$5,819.0	\$23,702.7	\$17,883.7	\$1,293.11	(SHCP, 1996)
1996	ASERCA Inicial	Primeras Coberturas de Precios Agrícolas	5,200,000	27.4 %	\$5,916.0	\$21,616.2	\$15,700.2	\$1,137.69	(Diario Oficial de la Federación [DOF], 1996)
1997	ASERCA Inicial	Programa de Administración de Riesgos	5,800,000	31.5 %	\$5,779.2	\$18,334.0	\$12,554.8	\$996.41	(SHCP, 1998)
1998	ASERCA Inicial	Coberturas de Precios y Bases de Comercialización	6,100,000	33.0 %	\$5,702.4	\$17,294.2	\$11,591.8	\$934.82	(SHCP, 1999)
1999	ASERCA Inicial	Administración de Riesgos de Mercado	6,400,000	33.3 %	\$5,289.0	\$15,867.0	\$10,578.0	\$826.41	(SHCP, 2000)

Tabla 1: Erogaciones gubernamentales y costos fiscales en apoyos a la comercialización y cobertura de maíz (1991–2026).

Año	Era Institucional	Programa Presupuestario	Vol. Apoyado (Ton)	% Cobertura	Ejercido Real 2026 (MDP)	Proyectado 100 % (MDP)	Brecha Fiscal (MDP)	Subsidio/Ton (MXN)	Fuente Oficial
2000	ASERCA Inicial	Programa de Coberturas de Precios	6,800,000	33.1 %	\$5,378.8	\$16,258.2	\$10,879.4	\$791.00	(Auditoría Superior de la Federación [ASF], 2001)
2001	ASERCA Agricultura por Contrato	Agricultura por Contrato (AxC)	7,100,000	35.3 %	\$5,618.0	\$15,936.1	\$10,318.1	\$791.27	(SHCP, 2002)
2002	ASERCA Agricultura por Contrato	AxC e Ingreso Objetivo	7,500,000	38.9 %	\$5,800.0	\$14,909.9	\$9,109.9	\$773.33	(SHCP, 2003)
2003	ASERCA Agricultura por Contrato	Apoyos a la Comercialización (S052)	7,900,000	38.2 %	\$6,048.0	\$15,847.3	\$9,799.3	\$765.57	(ASF, 2004)
2004	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Coberturas y Manejo de Riesgos	8,300,000	38.3 %	\$6,222.0	\$16,252.2	\$10,030.2	\$749.64	(SHCP, 2005)
2005	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	8,700,000	45.0 %	\$6,476.8	\$14,397.9	\$7,921.1	\$744.46	(ASF, 2006)
2006	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	9,100,000	41.6 %	\$6,675.5	\$16,065.2	\$9,389.7	\$733.57	(SHCP, 2007)
2007	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	9,600,000	40.9 %	\$6,927.5	\$16,957.9	\$10,030.4	\$721.61	(SHCP, 2008)
2008	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	10,200,000	41.8 %	\$7,440.0	\$17,797.6	\$10,357.6	\$729.41	(SHCP, 2009)
2009	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	10,800,000	53.7 %	\$7,570.5	\$14,089.5	\$6,519.0	\$700.97	(SHCP, 2010)
2010	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	11,300,000	48.5 %	\$7,755.0	\$15,990.4	\$8,235.4	\$686.28	(ASF, 2011)
2011	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	11,800,000	56.5 %	\$8,024.0	\$14,212.0	\$6,188.0	\$680.00	(ASF, 2012)
2012	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	12,400,000	56.2 %	\$8,056.5	\$14,339.3	\$6,282.8	\$649.72	(SHCP, 2013)
2013	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	13,300,000	58.7 %	\$8,064.0	\$13,739.1	\$5,675.1	\$606.32	(ASF, 2014)

Tabla 1: Erogaciones gubernamentales y costos fiscales en apoyos a la comercialización y cobertura de maíz (1991–2026).

Año	Era Institucional	Programa Presupuestario	Vol. Apoyado (Ton)	% Cobertura	Ejercido Real 2026 (MDP)	Proyectado 100 % (MDP)	Brecha Fiscal (MDP)	Subsidio/Ton (MXN)	Fuente Oficial
2014	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	13,500,000	58.0 %	\$8,288.5	\$14,286.9	\$5,998.4	\$613.96	(ASF, 2015)
2015	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	12,900,000	52.2 %	\$7,198.0	\$13,776.6	\$6,578.6	\$557.98	(SHCP, 2016)
2016	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Administración de Riesgos de Precios	12,200,000	43.2 %	\$6,612.0	\$15,310.6	\$8,698.6	\$541.97	(ASF, 2017)
2017	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	11,800,000	42.5 %	\$5,886.0	\$13,847.1	\$7,961.1	\$498.81	(SHCP, 2018)
2018	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	11,200,000	41.2 %	\$5,356.0	\$12,993.1	\$7,637.1	\$478.21	(ASF, 2019)
2019	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	4,200,000	15.4 %	\$4,752.0	\$30,797.5	\$26,045.5	\$1,131.43	(SHCP, 2020)
2020	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	5,100,000	18.6 %	\$5,890.0	\$31,667.4	\$25,777.4	\$1,154.90	(Seguridad Alimentaria Mexicana [SEGALMEX], 2021)
2021	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	5,800,000	21.1 %	\$6,390.0	\$30,297.4	\$23,907.4	\$1,101.72	(SHCP, 2022)
2022	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	6,300,000	23.3 %	\$6,889.0	\$29,622.7	\$22,733.7	\$1,093.49	(SHCP, 2023)
2023	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	7,200,000	26.1 %	\$7,742.0	\$29,623.9	\$21,881.9	\$1,075.28	(SHCP, 2024)
2024	SEGALMEX / SADER	S290 - Precios de Garantía / Apoyo Extraordinario	7,800,000	32.2 %	\$8,175.0	\$25,363.5	\$17,188.5	\$1,048.08	(Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2024)
2025	SEGALMEX / SADER	S290 - Precios de Garantía e Incentivos	8,100,000	31.4 %	\$8,395.0	\$26,739.6	\$18,344.6	\$1,036.42	(SHCP, 2025)
2026	SEGALMEX / SADER	S290 - Precios de Garantía	8,400,000	31.7 %	\$8,470.0	\$26,720.8	\$18,250.8	\$1,008.33	(SHCP, 2026)

Tabla 2: Erogaciones gubernamentales y costos fiscales en apoyos a la comercialización y cobertura de trigo (1991–2026).

Año	Era Institucional	Programa Presupuestario	Vol. Apoyado (Ton)	% Cobertura	Ejercido Real 2026 (MDP)	Proyectado 100 % (MDP)	Brecha Fiscal (MDP)	Subsidio/Ton (MXN)	Fuente Oficial
1991	CONASUPO / ASERCA Transición	Apoyo a la Comercialización y Compras Estatales	2,100,000	56.8 %	\$2,249.1	\$3,962.7	\$1,713.6	\$1,071.00	(Gómez Oliver, 1994)
1992	CONASUPO / ASERCA Transición	Apoyos Directos a la Comercialización	2,250,000	62.5 %	\$2,425.8	\$3,881.3	\$1,455.5	\$1,078.13	(Secretaría de Hacienda y Crédito Público [SHCP], 1993)
1993	CONASUPO / ASERCA Transición	Compras y Subsidios de Comercialización Pre-TLCAN	2,300,000	64.8 %	\$2,647.4	\$4,086.2	\$1,438.8	\$1,151.04	(SHCP, 1994)
1994	ASERCA Inicial	Precios de Indiferencia (TLCAN)	2,400,000	69.6 %	\$3,334.8	\$4,793.8	\$1,459.0	\$1,389.50	(SHCP, 1995)
1995	ASERCA Inicial	Apoyos de Emergencia a la Comercialización	2,300,000	66.1 %	\$2,697.9	\$4,082.0	\$1,384.1	\$1,173.00	(SHCP, 1996)
1996	ASERCA Inicial	Primeras Coberturas de Precios Agrícolas	2,350,000	68.7 %	\$2,366.4	\$3,443.9	\$1,077.5	\$1,006.98	(Diario Oficial de la Federación [DOF], 1996)
1997	ASERCA Inicial	Programa de Administración de Riesgos	2,400,000	71.0 %	\$2,318.4	\$3,265.1	\$946.7	\$966.00	(SHCP, 1998)
1998	ASERCA Inicial	Coberturas de Precios y Bases de Comercialización	2,400,000	73.8 %	\$2,246.4	\$3,042.0	\$795.6	\$936.00	(SHCP, 1999)
1999	ASERCA Inicial	Administración de Riesgos de Mercado	2,450,000	72.1 %	\$2,041.8	\$2,833.5	\$791.7	\$833.39	(SHCP, 2000)
2000	ASERCA Inicial	Programa de Coberturas de Precios	2,500,000	71.6 %	\$2,011.4	\$2,807.9	\$796.5	\$804.56	(Auditoría Superior de la Federación [ASF], 2001)
2001	ASERCA Agricultura por Contrato	Agricultura por Contrato (AxC)	2,550,000	78.0 %	\$2,077.6	\$2,664.2	\$586.6	\$814.75	(SHCP, 2002)
2002	ASERCA Agricultura por Contrato	AxC e Ingreso Objetivo	2,480,000	78.0 %	\$2,160.0	\$2,769.7	\$609.7	\$870.97	(SHCP, 2003)
2003	ASERCA Agricultura por Contrato	Apoyos a la Comercialización (S052)	2,420,000	79.3 %	\$2,265.6	\$2,855.4	\$589.8	\$936.20	(ASF, 2004)

Tabla 2: Erogaciones gubernamentales y costos fiscales en apoyos a la comercialización y cobertura de trigo (1991–2026).

Año	Era Institucional	Programa Presupuestario	Vol. Apoyado (Ton)	% Cobertura	Ejercido Real 2026 (MDP)	Proyectado 100 % (MDP)	Brecha Fiscal (MDP)	Subsidio/Ton (MXN)	Fuente Oficial
2004	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Coberturas y Manejo de Riesgos	2,450,000	78.8 %	\$2,324.1	\$2,950.2	\$626.1	\$948.61	(SHCP, 2005)
2005	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	2,450,000	81.1 %	\$2,376.0	\$2,928.8	\$552.8	\$969.80	(ASF, 2006)
2006	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	2,550,000	76.6 %	\$2,501.2	\$3,266.3	\$765.1	\$980.86	(SHCP, 2007)
2007	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	2,650,000	75.3 %	\$2,640.6	\$3,507.5	\$866.9	\$996.45	(SHCP, 2008)
2008	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	2,800,000	75.7 %	\$2,867.5	\$3,789.2	\$921.7	\$1,024.11	(SHCP, 2009)
2009	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	2,900,000	75.9 %	\$2,822.4	\$3,717.8	\$895.4	\$973.24	(SHCP, 2010)
2010	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	2,900,000	78.8 %	\$2,791.8	\$3,542.7	\$750.9	\$962.69	(ASF, 2011)
2011	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	2,850,000	78.7 %	\$2,924.0	\$3,714.0	\$790.0	\$1,025.96	(ASF, 2012)
2012	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	2,750,000	84.1 %	\$3,013.0	\$3,582.7	\$569.7	\$1,095.64	(SHCP, 2013)
2013	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	2,850,000	84.8 %	\$3,175.2	\$3,743.4	\$568.2	\$1,114.11	(ASF, 2014)
2014	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	3,150,000	85.8 %	\$3,448.5	\$4,017.8	\$569.3	\$1,094.76	(ASF, 2015)
2015	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	3,050,000	82.0 %	\$3,162.4	\$3,857.1	\$694.7	\$1,036.85	(SHCP, 2016)
2016	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Administración de Riesgos de Precios	2,950,000	76.0 %	\$2,793.0	\$3,673.5	\$880.5	\$946.78	(ASF, 2017)
2017	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	2,800,000	79.5 %	\$2,484.0	\$3,122.7	\$638.7	\$887.14	(SHCP, 2018)
2018	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	2,400,000	81.6 %	\$2,163.0	\$2,649.7	\$486.7	\$901.25	(ASF, 2019)

Tabla 2: Erogaciones gubernamentales y costos fiscales en apoyos a la comercialización y cobertura de trigo (1991–2026).

Año	Era Institucional	Programa Presupuestario	Vol. Apoyado (Ton)	% Cobertura	Ejercido Real 2026 (MDP)	Proyectado 100 % (MDP)	Brecha Fiscal (MDP)	Subsidio/Ton (MXN)	Fuente Oficial
2019	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	1,800,000	55.0 %	\$1,831.5	\$3,327.2	\$1,495.7	\$1,017.50	(SHCP, 2020)
2020	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	1,950,000	65.2 %	\$2,185.0	\$3,350.3	\$1,165.3	\$1,120.51	(Seguridad Alimentaria Mexicana [SEGAL-MEX], 2021)
2021	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	2,100,000	64.0 %	\$2,475.0	\$3,865.7	\$1,390.7	\$1,178.57	(SHCP, 2022)
2022	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	2,300,000	64.4 %	\$2,822.0	\$4,380.2	\$1,558.2	\$1,226.96	(SHCP, 2023)
2023	SEGALMEX / SADER	S290 - Precios de Garantía / Apoyo Extraordinario	2,600,000	74.1 %	\$3,318.0	\$4,479.3	\$1,161.3	\$1,276.15	(SHCP, 2024)
2024	SEGALMEX / SADER	S290 - Precios de Garantía / Apoyo Extraordinario	2,100,000	77.2 %	\$3,450.0	\$4,468.6	\$1,018.6	\$1,642.86	(Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2024)
2025	SEGALMEX / SADER	S290 - Precios de Garantía e Incentivos	2,400,000	77.4 %	\$3,540.5	\$4,573.1	\$1,032.6	\$1,475.21	(SHCP, 2025)
2026	SEGALMEX / SADER	S290 - Precios de Garantía	2,500,000	78.1 %	\$3,570.0	\$4,569.6	\$999.6	\$1,428.00	(SHCP, 2026)

Tabla 3: Erogaciones gubernamentales y costos fiscales en apoyos a la comercialización y cobertura de arroz (1991–2026).

Año	Era Institucional	Programa Presupuestario	Vol. Apoyado (Ton)	% Cobertura	Ejercido Real 2026 (MDP)	Proyectado 100 % (MDP)	Brecha Fiscal (MDP)	Subsidio/Ton (MXN)	Fuente Oficial
1991	CONASUPO / ASERCA Transición	Apoyo a la Comercialización y Compras Estatales	150,000	39.5 %	\$267.8	\$678.3	\$410.5	\$1,785.00	(Gómez Oliver, 1994)
1992	CONASUPO / ASERCA Transición	Apoyos Directos a la Comercialización	160,000	40.5 %	\$298.6	\$737.1	\$438.5	\$1,866.00	(Secretaría de Hacienda y Crédito Público [SHCP], 1993)

Tabla 3: Erogaciones gubernamentales y costos fiscales en apoyos a la comercialización y cobertura de arroz (1991–2026).

Año	Era Institucional	Programa Presupuestario	Vol. Apoyado (Ton)	% Cobertura	Ejercido Real 2026 (MDP)	Proyectado 100 % (MDP)	Brecha Fiscal (MDP)	Subsidio/Ton (MXN)	Fuente Oficial
1993	CONASUPO / ASERCA Transición	Compras y Subsidios de Comercialización Pre-TLCAN	165,000	44.0 %	\$341.6	\$776.4	\$434.8	\$2,070.30	(SHCP, 1994)
1994	ASERCA Inicial	Precios de Indiferencia (TLCAN)	170,000	45.9 %	\$381.1	\$829.5	\$448.4	\$2,241.88	(SHCP, 1995)
1995	ASERCA Inicial	Apoyos de Emergencia a la Comercialización	160,000	44.4 %	\$275.1	\$618.9	\$343.8	\$1,719.25	(SHCP, 1996)
1996	ASERCA Inicial	Primeras Coberturas de Precios Agrícolas	165,000	45.2 %	\$224.4	\$496.4	\$272.0	\$1,360.00	(Diario Oficial de la Federación [DOF], 1996)
1997	ASERCA Inicial	Programa de Administración de Riesgos	170,000	48.6 %	\$228.5	\$470.4	\$241.9	\$1,344.00	(SHCP, 1998)
1998	ASERCA Inicial	Coberturas de Precios y Bases de Comercialización	170,000	50.0 %	\$224.6	\$449.3	\$224.6	\$1,321.41	(SHCP, 1999)
1999	ASERCA Inicial	Administración de Riesgos de Mercado	175,000	50.7 %	\$209.1	\$412.2	\$203.1	\$1,194.86	(SHCP, 2000)
2000	ASERCA Inicial	Programa de Coberturas de Precios	180,000	51.1 %	\$214.7	\$419.9	\$205.2	\$1,192.78	(Auditoría Superior de la Federación [ASF], 2001)
2001	ASERCA Agricultura por Contrato	Agricultura por Contrato (AxC)	175,000	53.0 %	\$222.6	\$419.8	\$197.2	\$1,272.00	(SHCP, 2002)
2002	ASERCA Agricultura por Contrato	AxC e Ingreso Objetivo	165,000	53.2 %	\$230.0	\$432.1	\$202.1	\$1,393.94	(SHCP, 2003)
2003	ASERCA Agricultura por Contrato	Apoyos a la Comercialización (S052)	160,000	57.1 %	\$240.0	\$420.0	\$180.0	\$1,500.00	(ASF, 2004)
2004	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Coberturas y Manejo de Riesgos	160,000	56.1 %	\$237.9	\$423.8	\$185.9	\$1,486.88	(SHCP, 2005)
2005	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	160,000	54.2 %	\$246.4	\$454.3	\$207.9	\$1,540.00	(ASF, 2006)
2006	ASERCA Agricultura por Contrato	S052 - Apoyos a la Comercialización	165,000	54.1 %	\$253.5	\$468.6	\$215.1	\$1,536.36	(SHCP, 2007)

Tabla 3: Erogaciones gubernamentales y costos fiscales en apoyos a la comercialización y cobertura de arroz (1991–2026).

Año	Era Institucional	Programa Presupuestario	Vol. Apoyado (Ton)	% Cobertura	Ejercido Real 2026 (MDP)	Proyectado 100 % (MDP)	Brecha Fiscal (MDP)	Subsidio/Ton (MXN)	Fuente Oficial
2007	ASERCA	S052 - Apoyos a la Comercialización	160,000	57.1 %	\$260.8	\$456.4	\$195.6	\$1,630.00	(SHCP, 2008)
2008	ASERCA	S052 - Apoyos a la Comercialización	160,000	61.5 %	\$263.5	\$428.2	\$164.7	\$1,646.88	(SHCP, 2009)
2009	ASERCA	S052 - Apoyos a la Comercialización	155,000	63.3 %	\$249.9	\$395.0	\$145.1	\$1,612.26	(SHCP, 2010)
2010	ASERCA	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	140,000	62.2 %	\$246.8	\$396.6	\$149.8	\$1,762.50	(ASF, 2011)
2011	ASERCA	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	135,000	64.3 %	\$251.6	\$391.4	\$139.8	\$1,863.70	(ASF, 2012)
2012	ASERCA	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	140,000	63.6 %	\$262.0	\$411.7	\$149.7	\$1,871.43	(SHCP, 2013)
2013	ASERCA	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	145,000	67.4 %	\$277.2	\$411.0	\$133.8	\$1,911.72	(ASF, 2014)
2014	ASERCA	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	175,000	71.4 %	\$314.6	\$440.4	\$125.8	\$1,797.71	(ASF, 2015)
2015	ASERCA	S052 - Comercialización y Desarrollo de Mercados	170,000	72.3 %	\$283.2	\$391.5	\$108.3	\$1,665.88	(SHCP, 2016)
2016	ASERCA	S052 - Administración de Riesgos de Precios	170,000	68.0 %	\$262.2	\$385.6	\$123.4	\$1,542.35	(ASF, 2017)
2017	ASERCA	S052 - Apoyos a la Comercialización	185,000	69.8 %	\$243.0	\$348.1	\$105.1	\$1,313.51	(SHCP, 2018)
2018	ASERCA	S052 - Apoyos a la Comercialización	190,000	66.9 %	\$216.3	\$323.3	\$107.0	\$1,138.42	(ASF, 2019)
2019	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	170,000	69.7 %	\$277.2	\$397.9	\$120.7	\$1,630.59	(SHCP, 2020)
2020	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	210,000	70.9 %	\$342.0	\$482.1	\$140.1	\$1,628.57	(Seguridad Alimentaria Mexicana [SEGAL-MEX], 2021)

Tabla 3: Erogaciones gubernamentales y costos fiscales en apoyos a la comercialización y cobertura de arroz (1991–2026).

Año	Era Institucional	Programa Presupuestario	Vol. Apoyado (Ton)	% Cobertura	Ejercido Real 2026 (MDP)	Proyectado 100 % (MDP)	Brecha Fiscal (MDP)	Subsidio/Ton (MXN)	Fuente Oficial
2021	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	195,000	75.9 %	\$405.0	\$533.8	\$128.8	\$2,076.92	(SHCP, 2022)
2022	SEGALMEX / Precios de Garantía	S290 - Precios de Garantía	190,000	77.9 %	\$464.8	\$596.9	\$132.1	\$2,446.32	(SHCP, 2023)
2023	SEGALMEX / SADER	S290 - Precios de Garantía	205,000	83.0 %	\$545.1	\$656.8	\$111.7	\$2,659.02	(SHCP, 2024)
2024	SEGALMEX / SADER	S290 - Precios de Garantía / Apoyo Extraordinario	180,000	83.7 %	\$585.0	\$698.8	\$113.8	\$3,250.00	(Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural [SADER], 2024)
2025	SEGALMEX / SADER	S290 - Precios de Garantía e Incentivos	200,000	83.3 %	\$605.9	\$727.1	\$121.2	\$3,029.50	(SHCP, 2025)
2026	SEGALMEX / SADER	S290 - Precios de Garantía	210,000	84.0 %	\$616.0	\$733.3	\$117.3	\$2,933.33	(SHCP, 2026)

Como se puede apreciar en las tablas previas, la producción de maíz nacional ha sido cubierta en su precio en un 35.9 % promedio anual, sumando un ejercicio total de \$237,478.2 millones de pesos de 1991 a 2026. Si se hubiera cubierto el 100 % de las toneladas registradas por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el monto total ejercido hubiera sido del orden de los \$729,910.20 millones de pesos. Para el caso del trigo, el promedio de cobertura anual del total de la producción ha sido de 74 % promedio anual, con un gasto ejercido por cobertura del orden de los \$95,521.30 millones de pesos. De haberse cubierto el 100 % de la producción de trigo para ese periodo de análisis, el gasto total hubiera sido del orden de los \$129,565.10 millones. Finalmente, para el caso del arroz blanco, la cobertura promedio anual fue de 61.2 %, con una erogación total en el periodo de análisis de \$11,067.90 millones de pesos.

Dada la relevancia de estos tres cultivos (granos) como productos de consumo básico en los hogares mexicanos, la necesidad de una adecuada cobertura de su precio, la baja cobertura en el caso del maíz blanco y el alto costo fiscal que ha representado, es de interés investigar la factibilidad fiscal de un nuevo vehículo de estabilización de precios de estos tres productos agrícolas que pacte la cobertura no directamente con las productoras y productores, sino con los almacenes de depósito de los estados productores de estos granos (con representatividad y supervisión de productores), quienes pueden tener la infraestructura para acopiar y pactar los precios de garantía K que trasladarán a productoras y productores.

De manera adicional, se busca que el vehículo de estabilización de precios ofrezca el precio de garantía G en $t + 4$, $t + 8$ y $t + 12$ semanas (uno, dos y tres meses, respectivamente) que sea opcional en su ejercicio. Es decir, que los almacenes no necesiten cobertura del precio de garantía G cuando el precio de mercado del grano en el momento de liquidación (P_t) sea mayor al precio de garantía ($G < P_t$). En caso contrario, el mecanismo de estabilización de precios pagará el precio de garantía G si el precio de mercado del grano es menor ($G < P_t$). Con esto, los almacenes pueden tener beneficios económicos adicionales y trasladar mayores beneficios a las productoras y productores de manera flexible.

La diferencia ($G - P_t$) entre el precio de garantía G y el precio de mercado P_t que paguen a los almacenes cuando sea el caso, puede ser financiada en su mayor parte (e incluso su totalidad, dependiendo de los precios futuros de los granos) por una posición contraria o inversa en contratos de opciones de maíz, trigo o arroz en el CME; opciones cuyas primas (que serían solo una porción más baja de la diferencia $G - P_t$) se pagarían con recursos fiscales.

El objetivo es que, independientemente del costo de la prima V de las opciones adquiridas, esta estrategia permitiría financiar la diferencia $G - P_t$ pagada a los almacenes.

El siguiente diagrama resume el funcionamiento del mecanismo de estabilización de precios en términos de la cobertura que ofrece a los almacenes de depósito (G) y cómo puede ser financiado mediante una posición en opciones del mercado de futuros del CME, la cual representa la cobertura contraria o inversa (V) que permitiría financiar la diferencia ($G - P_t$) entre el precio de garantía G y el precio de mercado P_t que se pague a los almacenes cuando sea el caso. En este sentido, el mecanismo, al pagar la prima V de una opción de venta (**put**) en el CME, está adquiriendo el derecho de ejercer la venta del grano de interés a un precio de ejercicio K de la opción y beneficiarse, a su vez, de la potencial baja del precio del futuro F_t del grano cubierto con la opción en el CME ($K - F_t$).

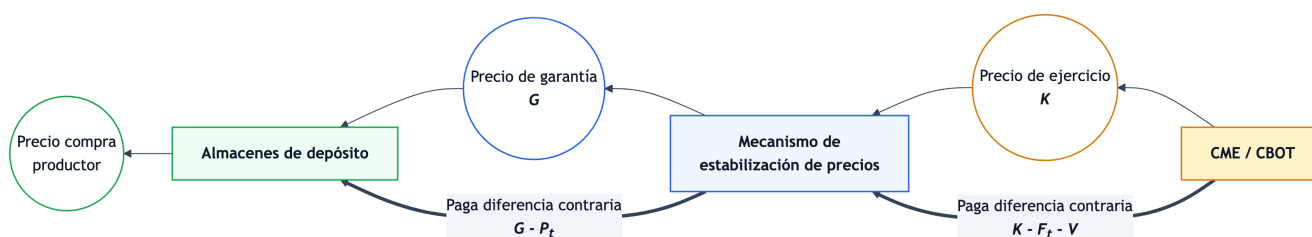


Figura 1: Esquema de funcionamiento del mecanismo de estabilización de precios y financiamiento mediante opciones del CME.

Derivado de esta idea surge la primera pregunta de investigación: **¿Sería financiera y fiscalmente factible un vehículo público de estabilización de precios de maíz, trigo y arroz blanco financiado mediante la compra de opciones en el CME para financiar la diferencia ($G - P_t$) que se paga a los almacenes de depósito de estos productos?**

La segunda pregunta sería: **¿Al contratar la cobertura de los precios de estos tres granos con el vehículo de estabilización de precios, se reduciría el riesgo de ingreso y se aumentaría el ingreso promedio anual de las productoras y productores de maíz, trigo y arroz blanco, a través de la cobertura pactada entre el almacén de depósito y el vehículo?**

Partiendo de estas dos preguntas que son complementarias entre sí por la naturaleza de la cobertura y el mercado de estos tres granos, se revisan los problemas general y particulares de investigación del presente proyecto de investigación.

3. Problema general de investigación

Dado que SEGALMEX y otros organismos públicos Federaes han implementado esquemas de cobertura de precios del maíz, trigo y arroz producidos en México y siguiendo la necesidad de incrementar al 100 % la cobertura y reducir el impacto fiscal (incluso hacerlo autofinanciable), se puede presentar el siguiente problema general de investigación:

¿Es fiscalmente factible crear un mecanismo de estabilización de precios del maíz blanco, trigo y arroz que sea autofinanciable con algoritmos de cobertura en opciones del CME y que logre un 100 % de cobertura en la producción de estos cultivos?

Como se aprecia de los antecedentes, este problema general tiene varias aristas particulares por resolver como son:

1. Lidar con el denominado **riesgo base**, que es la diferencia de la fluctuación del precio ΔP_t del grano cubierto (maíz, trigo o arroz) con la diferencia del futuro (ΔF_t) subyacente a la opción del CME empleada para cubrirlo. En este punto es importante resaltar que, teóricamente, se espera que $\Delta P_t - \Delta F_t = 0$. En la realidad, esta diferencia tiende a ser diferente a cero y esa diferencia no nula es lo que se denomina riesgo base.
2. Demostrar que en horizontes de cobertura de un mes ($t + 4$ semanas), dos meses ($t + 8$ semanas) o 3 meses ($t + 12$ semanas), los almacenes de depósito reducen sus pérdidas por adquirir el grano a un precio de compra P_{t-n} en $t - n$ que sea mayor al de venta o salida del grano en t (P_t). Esto si el mecanismo de estabilización de precios les ofrece la opción de pagarles la pérdida si $P_t - P_{t-n} < 0$.
3. El mecanismo de estabilización de precios se espera que genere ya sea beneficios (ingresos) fiscales en los que la estrategia de cobertura sea no direccional o, al menos, abarate significativamente los costos que se tendrían con el mismo, comparado con las erogaciones que el Gobierno mexicano ha realizado históricamente en el programa.
4. Dado que la toma de decisiones de cobertura cruzada para financiar la diferencia $G - P_t$ de la cobertura ofrecida por el mecanismo de estabilización de precios debe financiarse con una cobertura cruzada de las opciones equivalentes en el CME (maíz, trigo o arroz), el mecanismo debe determinar la toma de decisiones y debe definir cuál será la regla de toma de decisiones y el mecanismo cuantitativo para dichas decisiones. Como propuesta, el presente proyecto desea probar los modelos Markov-Switching GARCH o **MS-GARCH** (Ardia, 2008; Ardia et al., 2018; Haas et al., 2004; Hamilton, 1990, 1994). En este sentido, se asume que los mercados de futuros, de maíz blanco, arroz blanco y trigo se comportan por medio de una cadena markoviana ergódica y autorregresiva de orden 1 de la que se puede pronosticar la probabilidad en $t + 4$, $t + 8$ y $t + 12$ semanas de estar en uno de dos regímenes o estados de la naturaleza: un régimen ($s = 1$) de baja volatilidad denominado “normalidad” y un régimen ($s = 2$) de alta volatilidad denominado “crisis”, por lo que para cada uno de estos regímenes se debe estimar, para el mecanismo de cobertura, el mejor modelo MS-GARCH que ayudaría a la mejor toma de decisiones de cobertura cruzada del precio de garantía ofrecido (K) con opciones del CME en $t + 4$ semanas (1 mes), $t + 8$ (2 meses) y $t + 12$ (3 meses). Esto refinaría el financiamiento de la diferencia $G - P_t$ con la ganancia $K - F_t$ en el CME.

Resultado de estas necesidades particulares que forman parte del problema general de investigación previamente descrito, se plantean los 4 problemas particulares de investigación del presente proyecto.

3.1. Problemas particulares de investigación

El resolver este problema conlleva 4 problemas particulares a resolver:

1. Desde la perspectiva del comportamiento de los precios del maíz blanco, el trigo y el arroz mexicano versus el de sus contrapartes de futuros en el CME, se busca resolver el problema **¿Tiene el comportamiento del precio del maíz blanco, trigo y arroz mexicano, y sus correspondientes futuros de maíz amarillo, trigo y arroz en el CME, así como sus probabilidades del segundo régimen $\xi_{s=2,t+n}$, una concordancia significativa y relación de largo plazo, pronosticadas por el modelo de Markov-Switching GARCH?** El resolver este problema y demostrar que tanto los precios como las probabilidades suavizadas $\xi_{s=2,t+n}$ (por ejemplo, del maíz blanco mexicano con el futuro del maíz amarillo del CME) permitirá aceptar la presencia del riesgo base, pero en una magnitud baja que no afectaría la cobertura cruzada de la cobertura ofrecida por el mecanismo de estabilización de precios.

2. En relación al impacto social y económico, a través del beneficio de ofrecer coberturas a los almacenes de depósito, se busca resolver el problema **¿Es factible que los almacenes generales de depósito reduzcan o incluso eliminen las pérdidas que tendrían por la compra de maíz blanco, trigo y arroz a un precio de compra P_{t-n} mayor al precio de salida o venta P_t en t ?** Con la cobertura que le ofrezca el mecanismo de estabilización de precios, se eliminarían las pérdidas económicas para los almacenes de depósito de estos granos e incluso serían ellos quienes podrían trasladar el precio de garantía G a las productoras y productores de los granos de interés. Esto tendría un impacto positivo en la estabilización de precios para las productoras y productores, así como para la industria y consumidores finales. En este problema particular de investigación reside la importancia económica y social del proyecto.
3. En función de determinar la factibilidad fiscal (reducción de costos o cargas fiscales en los programas de cobertura de precios agrícolas en México), se busca resolver el problema **¿Es factible, desde la perspectiva de los ingresos y egresos gubernamentales, que el mecanismo de estabilización de precios generado por el Gobierno mexicano sea financieramente sustentable al reducir el costo actual de los programas de garantía de precios en 60 % o más?** Al demostrar que el mecanismo de estabilización de precios diseñado efectivamente reduce el costo fiscal de los mecanismos de cobertura actuales (SEGALMEX), se demostraría no solo que sería una alternativa de cobertura de precios agrícolas con alto impacto económico o social, sino también una con menor costo o impacto fiscal.
4. Finalmente, se busca resolver el problema **¿Cuál es el mejor modelo de Markov-Switching GARCH que permite pronosticar las probabilidades del segundo régimen (crisis) del precio del maíz blanco, el trigo y el arroz mexicano y sus contrapartes de futuros en el CME, y cuál es la mejor estrategia de cobertura cruzada de opciones del CME para fijar el precio de garantía de estas mercancías?** Este es un objetivo más econométrico y propio de las áreas de estudio del *algorithmic trading* y las finanzas computacionales. Sin embargo, es la parte cuantitativa medular del algoritmo de toma de decisiones de cobertura cruzada que, de demostrar su eficacia, sería el corazón del mecanismo de estabilización de precios. Es por ello que será necesario probar diferentes reglas de decisión de cobertura como comprar una opción de venta (*put*) larga, un *straddle* o estrategias dinámicas para cada estado de la naturaleza que permitan generar los mayores ingresos por cobertura cruzada. Para esto, es importante que existen múltiples funciones objetivo o de verosimilitud como son la gaussiana, gaussiana asimétrica, *t*-Student, *t*-Student asimétrica, generalizada por errores (GED) y GED asimétrica. De manera adicional, existen múltiples modelos GARCH simétricos y asimétricos. En consecuencia, la estimación de volatilidades o niveles de riesgo (principal insumo para el cálculo de las primas de las opciones en el CME) es amplia y heterogénea, lo que implica probar todas las combinaciones de modelos MS-GARCH y pronósticos de volatilidad para encontrar la combinación de funciones de verosimilitud y volatilidades MS-GARCH idónea para lograr los objetivos particulares previos y el general.

Esto llevará, como parte de los entregables, a un ejercicio amplio, actualizado y automatizado de ciencia de datos e inferencia bayesiana cuyos resultados actualizados en tiempo real se publicarán en bases de datos y *dashboards* en Google Cloud Platform. Esto para su disposición a la comunidad científica nacional y extranjera, como para financieras y financieros (o autoridades agrarias y fiscales) interesados en implementar el mecanismo de estabilización de precios.

4. Justificación del proyecto de investigación

Como es de amplio conocimiento, una prioridad estratégica de los Gobiernos Federal y Estatal es alcanzar la soberanía y seguridad alimentaria en México (área prioritaria de investigación de SECIHTI/CONAHCYT) para reducir la dependencia de importaciones agrícolas. Históricamente, las políticas de estabilización de precios evolucionaron desde apoyos directos e intervención estatal (como CONASUPO y ASERCA) hacia esquemas de administración de riesgos financieros basados en la adquisición de **opciones sobre futuros agrícolas en el Chicago Mercantile**

Exchange (CME), trasladando el riesgo de mercado para respaldar los precios de garantía sin comprometer desproporcionadamente los recursos fiscales ([Diario Oficial de la Federación \(DOF\), 2019](#); [Martínez-Cuero, 2021](#)). En esta línea se constituyó el organismo público descentralizado Seguridad Alimentaria Mexicana (SEGALMEX) mediante Decreto del 18 de enero de 2019 ([Diario Oficial de la Federación \(DOF\), 2019](#)).

En algunos casos, el problema de seguridad alimentaria no necesariamente se reduce a una reducción de importaciones del producto de consumo de interés. Tal es el caso del maíz blanco, del que México sí es autosuficiente, siendo lo contrario en el maíz amarillo. En estos casos específicos, el objetivo del proyecto es estudiar la factibilidad material y financiera (fiscal) de mecanismos de cobertura de precios para apoyar la oferta y la estabilización de precios. Como evidencia empírica de la autosuficiencia en maíz blanco para el consumo humano en México, la Tabla 4 presenta la Balanza de Oferta, Demanda, Inventarios Estimados y Grado de Autosuficiencia Alimentaria (*Self-Sufficiency Ratio, SSR*) elaborada a partir de los registros oficiales del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera ([Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera \(SIAP\), 2024](#)), la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural ([Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural \(SADER\), 2024](#)), el Banco de México ([Banco de México \(BANXICO\), 2024](#)) y el USDA Foreign Agricultural Service ([United States Department of Agriculture - Foreign Agricultural Service \(USDA-FAS\), 2024](#)). Como se observa, México mantiene un indicador $SSR > 100\%$ en maíz blanco, lo que confirma que la producción nacional cubre con creces el Consumo Nacional Aparente ($CNA = Producción + Importaciones - Exportaciones$), sosteniendo un inventario promedio de respaldo superior a los 3 millones de toneladas.

Tabla 4: Balanza de Oferta, Demanda y Grado de Autosuficiencia Alimentaria de Maíz Blanco en México (2021-2024). Fuentes: Elaboración propia con datos de SIAP ([Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera \(SIAP\), 2024](#)), SADER ([Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural \(SADER\), 2024](#)), BANXICO ([Banco de México \(BANXICO\), 2024](#)) y USDA-FAS ([United States Department of Agriculture - Foreign Agricultural Service \(USDA-FAS\), 2024](#)).

Año	Producción Nacional (t)	Importaciones (t)	Exportaciones (t)	Consumo Nacional Aparente (CNA, t)	Inventario Promedio (I_{prom} , t)	Autosuficiencia (SSR , %)
2021	27,503,478	851,145	1,119,079	27,235,544	3,404,443	100.98 %
2022	26,553,239	875,463	1,151,053	26,277,650	3,284,706	101.05 %
2023	27,549,918	899,782	1,183,026	27,266,673	3,408,334	101.04 %
2024	24,326,508	924,100	1,215,000	24,035,608	3,004,451	101.21 %

Es importante resaltar que esta autosuficiencia del maíz es solo en el maíz blanco, y México ha sido deficitario en maíz amarillo. En el año 2025, se erosionó este superávit debido a sequías y efectos climáticos sobre la producción, situación que podría distorsionar la formación de su precio. Es por esta razón que el proyecto busca probar mecanismos de cobertura cruzada y balanceo de riesgos de mercado para autofinanciar las coberturas de precios que se ofrecerán no a productores, sino a almacenes de depósito, quienes acopian estos 3 granos y corren con el riesgo de costo y precio de inventario mes a mes. De manera complementaria, el enfocar el esfuerzo a la cobertura del precio de los almacenes de depósito permite trasladar, de manera indirecta, el precio de venta de productoras y productores de estos 3 granos de todas las escalas e incrementar así el porcentaje de cobertura de estos granos.

Para el caso del maíz blanco, el Gobierno Federal mexicano ha cubierto, en promedio anual en la serie histórica 1991–2026, solo el 35.9 % de las toneladas producidas ([Auditoría Superior de la Federación, 2001, 2015](#); [Diario Oficial de la Federación, 1996](#); [Gómez Oliver, 1994](#); [Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024](#); [Seguridad Alimentaria Mexicana, 2021](#)). Esto ha implicado un ejercicio acumulado de recursos fiscales por \$171,330.0 millones de pesos nominales (\$237,478.2 millones de pesos reales constantes a precios de 2026) ([Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 1993, 2002, 2009, 2016, 2020, 2024, 2026](#)). Si el Gobierno mexicano deseara cubrir el 100 % de

la producción nacional bajo los esquemas convencionales de subsidio a primas o absorción directa de diferenciales de precios, el costo acumulado proyectado hubiera ascendido a \$729,910.2 millones de pesos reales, lo que hubiera requerido una brecha fiscal adicional de aproximadamente \$492,432.0 millones de pesos reales ([Auditoría Superior de la Federación, 2017, 2019](#); [Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2025, 2026](#)).

Para el caso del arroz y del trigo, el esquema ha sido diferente, ya que, a diferencia de los productores de maíz, los productores de estos granos tienen mayor representatividad en gremios que permiten mejores condiciones de negociación. Como consecuencia, el porcentaje promedio de cobertura de la totalidad de toneladas producidas en estos productos osciló entre el 61.2 % y el 74 % ([Auditoría Superior de la Federación, 2001, 2015, 2017, 2019](#); [Diario Oficial de la Federación, 1996](#); [Gómez Oliver, 1994](#); [Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024](#); [Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2025, 2026](#); [Seguridad Alimentaria Mexicana, 2021](#)).

Como resultado de estas cifras, el presente proyecto busca desarrollar y estudiar modelos cuantitativos (algoritmos) de toma de decisiones de cobertura que permitan cubrir el 100 % de la producción de estos 3 granos y reducir el costo fiscal de estos programas en más del 60 % del costo actual. Dicho esto, el presente proyecto tiene 4 objetivos de investigación:

1. Que el nivel de ingresos de los productores de estos productos sea más constante o, al menos, estable, generando menor volatilidad en el nivel de generación de riqueza en sus zonas geográficas, así como una mejora en el índice de ingreso, dentro del índice de desarrollo humano. Esto tendría un impacto en el objetivo o actividad 4 de SEGALMEX, descrito previamente, en cuestiones de seguridad y violencia.
2. Que el Gobierno Federal pueda tener un mecanismo de cobertura del precio de estos 3 granos, lo cual abonaría a establecer mecanismos para regular el mercado de alimentos básicos.
3. Que se logre cubrir el 100 % de la producción nacional de estos 3 granos.
4. Que, con el mecanismo de cobertura cruzada que emplearía este mecanismo estabilizador de precios, se logre reducir en más del 60 % del costo fiscal actual de estos programas de cobertura.

SEGALMEX puede ofrecer coberturas de precio y cosecha a pequeños y medianos productores de arroz, maíz y trigo. Para lograr esto, el organismo se valía de coberturas o el subsidio de las mismas a través de opciones para cubrir el precio de estos productos. De manera adicional, el subsidio de las coberturas del precio es directamente con los productores, quienes adquirirían las mismas. Con las reformas del año 2019, esto cambió: es el propio SEGALMEX quien ofrece el precio de cobertura a productores, siendo la diferencia pagada con recursos fiscales.

El objetivo es diseñar algoritmos de aprendizaje de máquina supervisado, como pueden ser modelos Markov-Switching y Markov-Switching GARCH ([Ardia et al., 2019](#); [Haas et al., 2004](#); [Hamilton, 1990](#)) o modelos MS-GARCH con redes neuronales (NN-MS-GARCH) ([Mari y Mari, 2023](#); [Nakatsuma, 2000](#)), para que estos puedan recomendar decisiones de cobertura que permitan balancear la cobertura ofrecida.

En específico, el mecanismo estabilizador de precios propuesto busca realizar un proceso de 4 pasos para poder ofrecer y liquidar la cobertura a almacenes de depósito:

1. El almacén busca una cobertura a $t + 1$, $t + 2$ o $t + 3$ meses del precio del grano de maíz, arroz o trigo almacenado.
2. El mecanismo de estabilización de precios ofrece al almacén un precio de cobertura K a liquidar en el periodo deseado. Es importante señalar que, contrario a lo que sucede actualmente, el almacén tendrá la opción de ejercer la cobertura ofrecida si el cambio en el precio $\Delta P_t = P_t - P_{t-n}$ no le es favorable. Es decir, en caso de que el precio del grano suba, el almacén no tendrá ningún beneficio por la cobertura ofrecida, ya que su ganancia se da por el diferencial positivo entre el precio de cobertura y el precio de mercado.

3. El mecanismo de estabilización de precios contrata una opción de venta (*put*) o alguna estrategia de opciones como es un *straddle* o un *butterfly* en el CME. Esto para balancear y financiar el costo (diferencial de precios) de la cobertura ofrecida.
4. Cuando llega la fecha de vencimiento de la cobertura, el mecanismo de cobertura liquida la posición en el CME para, con los recursos procedentes de la misma, financiar el diferencial de precios resultante de la cobertura ofrecida al almacén, entre el precio de cobertura K y el precio de mercado (P_t) del grano cubierto ($K - P_t$).

En este punto, es importante señalar que, para el paso 3, el mecanismo de estabilización de precios incurrirá en el costo de la cobertura (opción, *straddle* o *butterfly*) y debe decidir si es necesaria la posición de balanceo contraria a la cobertura ofrecida al almacén o no. Para esto, se probarán múltiples estrategias de opciones como el *put* largo, el *straddle* o el *butterfly* y se decidirá la inversión de estas con modelos MS-GARCH o NN-MS-GARCH.

5. Impacto y trascendencia del proyecto: Beneficiarios del proyecto de investigación

Para justificar el impacto y trascendencia del proyecto de investigación, se detallan los beneficiarios de este proyecto de investigación, que son de 3 tipos: los beneficiarios directos y los indirectos.

1. Los directos son los almacenes de depósito que reciben el beneficio de la cobertura de precios de manera directa y tienen control del costo y beneficios en el valor de sus inventarios. El que los almacenes de depósito en cada estado puedan cubrir sus costos de compra e inventarios con un precio de garantía G les permitirá trasladar estos precios de ejercicio a los productores, permitiendo hacer más eficientes las cadenas de compra, almacenamiento y traslado de granos.
2. De manera indirecta, los productores de estos 3 productos se benefician de este mecanismo al recibir mejores precios de compra que incluso pueden estar garantizados. A diferencia del esquema actual, la negociación es directa con el almacén de depósito a precios de mercado y sin estar restringidos por la disponibilidad presupuestaria para hacer frente a los diferenciales de precio que se den en el mercado.
3. También de manera indirecta, las consumidoras y consumidores de maíz, arroz y trigo se pueden ver beneficiados con este mecanismo, ya que, al reducirse la volatilidad de los precios, se pueden evitar picos inflacionarios que afecten a la canasta básica, siendo estos 3 productos básicos de consumo masivo para la población mexicana.

De una manera adicional, **la población vulnerable en condiciones de pobreza y aquella población vulnerable por incidencias del crimen organizado pueden beneficiarse, ya que una mayor producción de maíz, trigo y arroz, así como una mayor estabilidad en el ingreso, permitirá impactar positivamente en el pilar de ingresos del índice de desarrollo humano o IDH (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 1991) y, conforme lo ha demostrado Yoo (2022), a mayor producción (y mayor estabilidad en los ingresos), menor incidencia de homicidios y violencia.**

Una vez descritos la justificación del proyecto, los beneficiarios del mismo y los problemas general y particulares de investigación, en un afán de garantizar la congruencia metodológica de la presente propuesta de proyecto de investigación, se detallan las hipótesis general y particulares de la investigación.

6. Hipótesis general y específicas de la investigación

En consistencia con los problemas de investigación planteados, ahora se presentan las hipótesis general y particulares de la investigación.

6.1. Hipótesis general

En congruencia con el problema general de investigación planteado, se establece la siguiente hipótesis general de investigación a demostrar:

H_0 : Es factible, en términos de costo fiscal, implementar un mecanismo de estabilización de precios del maíz blanco, trigo y arroz que sea autofinanciable con algoritmos de cobertura en opciones del CME y que logre hasta un 100 % de cobertura en la producción de estos cultivos.

Partiendo de este planteamiento y de los problemas particulares, se formulan las siguientes hipótesis específicas.

6.2. Hipótesis específicas de investigación

En congruencia con los 4 problemas particulares de investigación planteados en [la sección correspondiente](#), se tienen las siguientes hipótesis particulares a demostrar:

1. H_1 : Existe una concordancia significativa y relación de largo plazo entre el comportamiento del precio del maíz blanco, trigo y arroz mexicano, y sus correspondientes futuros de maíz amarillo, trigo y arroz en el CME, así como en sus probabilidades del segundo régimen $\xi_{s=2,t+n}$ pronosticadas por el modelo de Markov-Switching GARCH.
2. H_2 : Es factible que los almacenes generales de depósito reduzcan o incluso eliminen las pérdidas que tendrían por la compra de maíz blanco, trigo y arroz a un precio de compra P_{t-n} mayor al precio de salida o venta P_t en t .
3. H_3 : El costo fiscal de ofrecer un precio de garantía para el maíz blanco, trigo y arroz se reduce en por lo menos 60 % en comparación con el mecanismo actual (SEGALMEX).
4. H_4 : Al menos una de las combinaciones de modelos MS-GARCH estudiadas en las simulaciones es la que permite generar los menores costos fiscales en la cobertura cruzada del precio de garantía ofrecido. Esto en comparación con una estrategia “ingenua” o *naïve* de comprar siempre una cobertura con una cantidad de contratos de opciones equivalente a las toneladas métricas cubiertas mes a mes.

Las 3 primeras hipótesis conservan la congruencia metodológica en su redacción. La cuarta no la conserva por una simple razón: las combinaciones de modelos MS-GARCH dadas las combinaciones de las 6 funciones de verosimilitud, los 4 modelos GARCH, más los 2 escenarios “ingenuos” o *naïve*, llevan a probar 437 combinaciones o escenarios de modelos MS-GARCH para encontrar la combinación, modelo MS-GARCH o estrategia de cobertura que permita generar los menores costos fiscales en la cobertura cruzada del precio de garantía ofrecido. En consecuencia, la mejor combinación, modelo MS-GARCH o estrategia de cobertura será aquella que permita generar los mayores ingresos por cobertura cruzada. Al no conocerse esto, se tendrían que plantear 437 hipótesis particulares (relativas a cada escenario simulado), lo que es redundante. En virtud de esto, es que se plantea la hipótesis particular 4 en los términos redactados.

Una vez planteadas las hipótesis particulares del proyecto de investigación y siguiendo el planteamiento de congruencia metodológica, es que se procede a plantear los objetivos de investigación.

7. Objetivo general y específicos de la investigación

7.1. Objetivo general del proyecto de investigación

Dada la hipótesis general de investigación, se plantea el objetivo general del proyecto:

Demostrar que es factible, en términos de costo fiscal, implementar un mecanismo de estabilización de precios del maíz blanco, trigo y arroz que sea autofinanciable con algoritmos de cobertura en opciones del CME y que logre hasta un 100 % de cobertura en la producción de estos cultivos.

7.2. Objetivos específicos del proyecto de investigación

De manera consecuente, los objetivos particulares son los siguientes:

1. **Demostrar que existe una concordancia significativa y relación de largo plazo entre el comportamiento del precio del maíz blanco, trigo y arroz mexicano, y sus correspondientes futuros de maíz amarillo, trigo y arroz en el CME, así como en sus probabilidades del segundo régimen $\xi_{s=2,t+n}$ pronosticadas por el modelo de Markov-Switching GARCH.**
2. **Demostrar que es factible que los almacenes generales de depósito reduzcan o incluso eliminen las pérdidas que tendrían por la compra de maíz blanco, trigo y arroz a un precio de compra P_{t-n} mayor al precio de salida o venta P_t en t .**
3. **Demostrar que el costo fiscal de ofrecer un precio de garantía para el maíz blanco, trigo y arroz se reduce en por lo menos 60 % en comparación con el mecanismo actual (SEGALMEX).**
4. **Demostrar que al menos una de las combinaciones de modelos MS-GARCH estudiadas en las simulaciones es la que permite generar los menores costos fiscales en la cobertura cruzada del precio de garantía ofrecido. Esto en comparación con una estrategia “ingenua” o *naïve* de comprar siempre una cobertura con una cantidad de contratos de opciones equivalente a las toneladas métricas cubiertas mes a mes.**

Estos objetivos a cumplirse se podrán medir por medio de las metas a detallar a continuación.

8. Metas del proyecto de investigación

Por cuestiones de espacio en el formulario del SIIA web de la UMSNH, se resumieron las metas del proyecto en 2 de estas. Lo anterior se hizo con la finalidad de aprovechar el limitado espacio en las metas.

8.1. Metas presentadas en formulario del SIIA web de la UMSNH

1. Simular los 437 escenarios de modelos MS-GARCH y de coberturas cruzadas ingenuas para el maíz blanco, trigo y arroz en horizontes de $t + 4$ (un mes), $t + 8$ (dos meses) y $t + 12$ (tres meses) para demostrar que se pueden ofrecer precios de garantía K mes a mes de manera autofinanciable o, al menos, con una reducción mayor a 60 % del costo fiscal actual.
2. Con base en la demostración de los beneficios fiscales, elaborar propuestas de política económica agraria para la implementación del mecanismo de estabilización de precios del maíz blanco, trigo y arroz basado en opciones de futuros agrícolas del CME como medio de financiamiento del precio de garantía, dado el bajo costo fiscal que representa este mecanismo.

3. Desarrollar la arquitectura informática con la que se cuenta gracias a proyectos CIC e ICTI previos, para correr las simulaciones y programarla para que se actualice mes a mes de manera automática. Esto para que los resultados estén disponibles para productores, comercializadores y SEGALMEX, así como para la comunidad científica.
4. Publicar los resultados en revistas científicas de alto impacto, congresos académicos y medios de divulgación como YouTube y medios de comunicación locales.
5. Iniciar labores de dirección de tesis doctoral en el Doctorado en Administración de la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas de nuestra Máxima Casa de Estudios.

8.2. Metas expuestas a detalle para la mesa revisora de la CIC-UMSNH (metas oficiales)

Para materializar los objetivos plasmados en el apartado anterior, se tienen las siguientes metas. La forma de exponerlas será detallando las mismas y relacionándolas con los objetivos (general o particulares) que buscan cumplir y, por ende, materializar en resultados cuantificables y verificables.

- **Meta 1:** Simular los 437 escenarios de modelos MS-GARCH y de coberturas cruzadas ingenuas para el maíz blanco, trigo y arroz en horizontes de $t + 4$ (un mes), $t + 8$ (dos meses) y $t + 12$ (tres meses) para demostrar que se pueden ofrecer precios de garantía K mes a mes de manera autofinanciable o, al menos, con una reducción mayor a 60 % del costo fiscal actual. Es de esencial importancia lograr esta meta, ya que representa el corazón cuantitativo y econométrico del proyecto de investigación. Esta meta servirá para la cobertura cruzada del precio de garantía del maíz blanco, trigo y arroz mexicanos frente a los futuros del maíz amarillo, trigo y arroz del CME. El tema de la cobertura cruzada, así como su factibilidad, se ha discutido mucho a nivel de teoría y didáctica en la docencia, pero nunca se han publicado, para el caso de estos granos mexicanos, resultados numéricos que demuestren su viabilidad en un contexto de precios volátiles. En este sentido, será de gran relevancia obtener resultados que demuestren la factibilidad de la cobertura cruzada del precio de garantía del maíz blanco, trigo y arroz mexicanos frente a los futuros del maíz amarillo, trigo y arroz del CME. De lograrse, se estaría proveyendo evidencia empírica para la toma de decisiones en materia de política agraria y comercialización de granos por parte de productores, comercializadores y el gobierno. Esta meta se relaciona con los objetivos particulares 1, 3 y 4, en donde se deben estimar y pronosticar las probabilidades del régimen de alta volatilidad con cada modelo MS-GARCH y ver que las probabilidades de dicho régimen son concordantes entre los precios del maíz blanco, trigo y arroz mexicanos y los precios de los futuros del maíz amarillo, trigo y arroz del CME. De manera adicional, se utilizarán esas probabilidades para simular los escenarios de cobertura cruzada para determinar la decisión de cobertura que financiará el precio de garantía ofrecido en cada escenario simulado.
- **Meta 2:** Con base en la demostración de los beneficios fiscales, elaborar propuestas de política económica agraria para la implementación del mecanismo de estabilización de precios del maíz blanco, trigo y arroz basado en opciones de futuros agrícolas del CME como medio de financiamiento del precio de garantía, dado el bajo costo fiscal que representa este mecanismo. El cumplimiento de esta meta permitirá tener la infraestructura informática necesaria para poder simular y actualizar el valor de un productor y comercializador teóricos que puedan cubrir, mensualmente, el precio unitario de su producción de maíz, trigo o arroz. De manera adicional, se tendrán definidas las pautas a proponer para que el mecanismo de estabilización de precios de los granos mexicanos pueda ser autofinanciable o reducir a un 60 % o más el costo actual que tienen los programas de cobertura de precios vigentes. Esta meta se relaciona con los objetivos particulares 2 y 3, ya que es la culminación de los resultados de factibilidad fiscal y social logrados con las simulaciones realizadas. Esta meta llevará a las recomendaciones entregables que evidencian la factibilidad de que el mecanismo estabilizador de precios es fiscalmente factible y que, eventualmente, podría generar una mayor estabilidad en los precios agrícolas y en los ingresos de los productores.

- **Meta 3:** Desarrollar la arquitectura informática con la que se cuenta gracias a proyectos CIC e ICTI previos, para correr las simulaciones y programarla para que se actualice mes a mes de manera automática. Esto para que los resultados estén disponibles para productores, comercializadores y SEGALMEX, así como para la comunidad científica. Esta meta está intrínsecamente ligada a las metas 1, 2 y 4 (en ese orden de importancia o incidencia), ya que sin la infraestructura informática no es posible generar las simulaciones y, por ende, tener los resultados necesarios para determinar la viabilidad del mecanismo de estabilización de precios. En el contexto de proyectos previos, como el desarrollo de un sistema de alerta temprana para la detección de crisis financieras globales, se ha adquirido experiencia en el manejo de grandes volúmenes de datos y en la implementación de modelos econométricos complejos. Esta experiencia se puede transferir al presente proyecto para el desarrollo de la arquitectura informática necesaria para el análisis y simulación de los mercados de granos.
- **Meta 4:** Publicar los resultados en revistas científicas de alto impacto, congresos académicos y medios de divulgación como YouTube y medios de comunicación locales.

Esta meta se relaciona con todos los objetivos particulares al ser la socialización de los resultados y recomendaciones logrados ante la comunidad científica y profesional, así como de la política agraria y comercial a implementar.

- **Meta 5:** Iniciar labores de dirección de tesis doctoral en el Doctorado en Administración de la Facultad de Contaduría y Ciencias Administrativas de nuestra Máxima Casa de Estudios.

Esta meta no se relaciona explícitamente con algún objetivo, pero sí es de necesidad contemplarla, ya que, dentro de los impactos de este proyecto de investigación, está la formación de capital humano científico y tecnológico que aprenda de estos desarrollos y pueda cultivar líneas de investigación afines a los temas de cobertura agrícola tratados.

9. Entregables comprometidos

Como resultado de los objetivos planteados en el presente proyecto de investigación, así como de las metas que de los mismos surgen, se presentan los siguientes entregables:

1. Publicación de al menos cuatro artículos en revistas científicas indizadas en SECIHTI, Scopus o la Web of Science. Para lograr esto, se planteará publicar los artículos en alguna revista académica indexada en Scopus o en la Web of Science que opere en el esquema de “open access”. Esto permitirá que los tiempos de revisión y editoriales sean más cortos y, lo más importante, que los resultados publicados se encuentren abiertos y disponibles para la comunidad científica.
2. La publicación y actualización periódica de los resultados de las simulaciones a través de la arquitectura informática que se actualice y se recoloque en los servidores de Google Cloud Platform para su mayor eficiencia de procesamiento (de las corridas de modelos MS-GARCH) y disponibilidad pública.
3. Publicación de apps en línea que diseñen y publiquen la cobertura sintética y sugieran si es sugerente o no realizar dicha cobertura. Esto servirá a productores, comercializadores y a SEGALMEX, así como a la comunidad científica para conocer los resultados de las simulaciones y sus actualizaciones. Ponencias en al menos 4 congresos de investigación con pares académicos.
4. Publicar los resultados actualizados a través de dichas apps, así como en bases de datos públicas de Big Query que puedan consultarse con scripts de python programados y publicados a la comunidad científica para este fin.

5. El apoyo al desarrollo de al menos 2 tesis de doctorado. De las tesis doctorales que se apoyaron en proyectos previos (como el CIC 2024-2025), una ha concluido satisfactoriamente y la segunda está en proceso de titulación en el año 2026. Por tanto, se espera iniciar la dirección de 1 tesis doctoral que, por los años del proyecto, no se titulará, pero sí estará en proceso de formación avanzada.

10. Marco teórico y revisión de la literatura científica relacionada

La formulación de un mecanismo óptimo de estabilización y cobertura sintética de precios para granos básicos en México —específicamente maíz blanco, trigo y arroz— requiere una fundamentación teórica y empírica rigurosa. A continuación, se articula el estado del arte a través de cinco ejes o hilos temáticos relacionados que fundamentan la necesidad del presente proyecto y delimitan con claridad las necesidades de investigación que fundamentan la necesidad práctica, para el caso de los 3 granos mexicanos de interés, del mecanismo de estabilización de precios, así como sus correspondientes algoritmos de toma de decisiones y factibilidad fiscal (financiera).

10.1. 1. Teorías del cross-hedging y optimización de cartera de cobertura

La teoría de la cobertura óptima con contratos de futuros se fundamenta originalmente en el análisis de media-varianza de carteras de inversión. Johnson (1960) y Stein (1961) reformularon la posición de cobertura no como una simple eliminación simétrica de inventario, sino como una decisión de cartera donde se determina la ponderación óptima de futuros que minimiza la varianza del valor conjunto de la posición combinada contado-derivados. Ederington (1979) convirtió este principio en el estándar econométrico canónico de la disciplina: la razón de cobertura de mínima varianza (*Minimum Variance Hedge Ratio*, MVHR) se obtiene mediante la pendiente de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) al regresar los cambios del precio de contado sobre las variaciones del contrato de futuros, cuantificándose la efectividad de la cobertura mediante el coeficiente de determinación (R^2) de dicha regresión.

No obstante, cuando un bien físico carece de un contrato de futuros que le corresponda exactamente (situación prototípica del maíz blanco mexicano frente al maíz amarillo de Chicago, así como del arroz y variedades locales de trigo), la cobertura simple degenera en un elevado riesgo de base. Frente a esta restricción, Anderson (1981) formalizó la teoría de coberturas cruzadas, estableciendo que la posición óptima de la cobertura β está constituida por un portafolio de contratos de futuros correlacionados, cuyas ponderaciones resuelven conjuntamente el problema de mínima varianza multivariado.

La estabilidad temporal de dichas razones de cobertura motivó el desarrollo de la modelación condicional y dinámica. Myers (1989) demostró que la razón óptima de cobertura β (o *hedge ratio*) es dependiente del conjunto de información (precios del futuro y el precio del subyacente cubierto) y debe estimarse de forma condicional. Para capturar la heterocedasticidad condicional y la transmisión de volatilidad, Cecchetti (1988) y Baillie (1991) incorporaron modelos GARCH bivariados, mientras que Kroner (1993) y Ghosh (1993) integraron dinámicas cointegradas mediante modelos de vector de corrección de errores con varianza GARCH (VECM-GARCH). Posteriormente, Engle (2002) introdujo el modelo de correlaciones condicionales dinámicas (DCC-GARCH) para flexibilizar la dimensionalidad de las covarianzas. Sin embargo, la literatura empírica mantiene un debate abierto: R. J. Myers (1991) evidenció que la ganancia práctica de los ratios dinámicos frente a los modelos estáticos puede llegar a ser marginal una vez considerados los costos de transacción y el riesgo de sobreajuste, una tensión metodológica analizada por Lien (2002) y L. Chen S.-S. (2003) que exige evaluar las estrategias fuera de muestra bajo estrictos controles de *data-snooping* (Hansen, 2005; White, 2000).

El puente conceptual definitivo entre la teoría clásica del *cross-hedging* y la ingeniería financiera moderna fue establecido por Alexander (1999): cuando los activos subyacentes se encuentran cointegrados o estrechamente

correlacionados, el problema de cobertura de mínima varianza es matemáticamente equivalente a la minimización del error de seguimiento (*tracking error*) respecto al activo objetivo. Este resultado vincula la selección de derivados agrícolas con la teoría de carteras y fundamenta la formulación de una cartera sintética de futuros para estabilizar el valor de los inventarios agrícolas.

Como resultado de estos trabajos, **el presente proyecto busca abordar una perspectiva diferente al utilizar, con algoritmos de toma de decisiones dinámicas de cobertura, opciones de futuros agrícolas (maíz, trigo y arroz en el CME y CBOT) para abaratar el impacto fiscal, reducir el riesgo base y, en última instancia, reducir el riesgo de ingreso en la gestión de los inventarios agrícolas.**

10.2. 2. Estudios previos sobre cobertura cruzada con futuros y reducción del riesgo de precios agrícolas

La evidencia empírica en el ámbito agropecuario corrobora que las posiciones de cobertura y *cross-hedging* proveen herramientas eficaces de mitigación de volatilidad cuando los activos subyacentes presentan divergencias operativas o geográficas. Investigaciones pioneras y contemporáneas documentan el uso de coberturas cruzadas en mercados de heno y alfalfa empleando futuros de maíz (Blake, 1984), en el margen de molienda y procesamiento de semilla de algodón (Dahlgran, 2000), en harina de pescado mediante futuros de soya (Franken, 2011), en el precio del salmón a través de cópulas multivariadas (Haarstad, 2022), en metales y materias primas industriales (& T. Chen X., 2021), y en mercados de soya en economías emergentes (Erasmus, 2024).

Desde el punto de vista econométrico, autores como Baillie (1991), Kroner (1993) y Lee (2007) destacan que las razones de cobertura dinámicas que integran no linealidad y heterocedasticidad mitigan de manera superior las perturbaciones en periodos de turbulencia en comparación con estrategias pasivas. Asimismo, Fortenbery (1993) y Pennings (1997) demuestran que las propiedades de cointegración y la amplitud del mercado determinan la estabilidad a largo plazo del ratio de cobertura, evitando sesgos provocados por desfases estacionales en mercados agrícolas delgados.

A pesar de estos avances, existe un desfase estructural de gran relevancia entre la literatura econométrica y la gestión real de los agronegocios: la mayoría de los estudios académicos evalúan la efectividad de la cobertura en ventanas temporales muy cortas (semanales o mensuales inmediatas), horizonte en el que la correlación estadística suele ser máxima. No obstante, en la logística y almacenamiento de granos básicos en México, los intermediarios, comercializadores y almacenes generales de depósito operan al ritmo de los ciclos agrícolas de Otoño-Invierno (O-I) y Primavera-Verano (P-V), requiriendo horizontes de cobertura física que oscilan entre 4 y 8 semanas ($t + 4$ a $t + 8$). Dicha degradación temporal de la efectividad representa una brecha crítica que este proyecto examina directamente al modelar horizontes dinámicos de $t + 1$ a $t + 12$ semanas.

Por otro lado, **la literatura previa no ha estudiado el empleo de opciones financieras de futuros agrícolas y no agrícolas como subyacente para realizar la cobertura dinámica de inventarios agrícolas, lo que representa una brecha crítica que este proyecto examina directamente al modelar horizontes dinámicos de $t + 1$ a $t + 12$ semanas.**

10.3. 3. Políticas públicas de cobertura de riesgo y estabilización de ingresos

La justificación teórica de la intervención estatal en la administración de riesgos agropecuarios tiene su piedra angular en la obra de Newbery (1981), quienes demostraron que el bienestar económico de los productores y agentes del campo no depende de la variabilidad del precio en sí misma, sino de la volatilidad del **ingreso real**. Por consiguiente, una política de estabilización de precios únicamente genera mejoras en el bienestar social si logra reducir simultáneamente la varianza del ingreso de los participantes en la cadena agroalimentaria.

Durante décadas, múltiples gobiernos recurrieron al almacenamiento físico masivo o reservas reguladoras (*buffer stocks*) para contener la inestabilidad de precios. No obstante, investigaciones seminales como las de Wright (2012), Jha (1999) y Gouel (2013) han demostrado de forma concluyente que los esquemas de reservas físicas resultan fiscalmente exorbitantes, operacionalmente ineficientes y propensos a distorsiones de mercado, mermas físicas y costos ruinosos de almacenamiento, viéndose ampliamente superados por mecanismos contractuales basados en derivados financieros (Villoria, 2002). En este sentido, la literatura contemporánea analiza programas públicos híbridos que sustituyen la compra física por coberturas de mercado: destacan el esquema de “Seguro + Futuros” implementado en China (Kenderdine, 2018), los análisis de estabilización de granos en África (F. Abokyi E., 2018; S. Abokyi E., 2020), así como las guías del Banco Mundial y la FAO para la transferencia de riesgos de precios en países en desarrollo (Claessens, 1994; Mahul, 2010; Torero, 2016).

En el contexto mexicano, la política pública ha transitado desde la fijación unilateral de precios de garantía (CONASUPO) hacia esquemas de subsidio a coberturas con ASERCA y, más recientemente, la coexistencia con programas de precios de garantía administrados por SEGALMEX (López-Martín, 2019). No obstante, la literatura especializada revela dos omisiones fundamentales: 1. **El eslabón de almacenamiento**: Las políticas de subsidio a coberturas se han diseñado preponderantemente para el productor primario individual, ignorando que son los acopiadores, intermediarios y almacenes generales de depósito (AGD) quienes retienen el inventario físico durante meses y absorben íntegramente el riesgo de depreciación del grano acumulado en silos. 2. **Carencia de medición del costo fiscal contingente**: No se ha cuantificado de manera estocástica ni actuarial el costo fiscal asumido por el Estado al respaldar garantías o pisos de precio apoyados en derivados. El presente proyecto llena este vacío al modelar la potencial reducción del costo fiscal resultante de utilizar una estrategia de cobertura cruzada con opciones de futuros agrícolas (maíz, trigo y arroz del CME y CBOT), realizadas con algoritmos de toma de decisiones (MS-GARCH) para adquirir de manera dinámica las coberturas.

10.4. 4. El caso mexicano y antecedentes empíricos relacionados

El antecedente directo e inmediato de esta propuesta proviene de la propia línea de investigación del autor, en la que se ha desarrollado y validado la aplicación de la frontera eficiente de excedentes (SEF) para el diseño de coberturas de productos agrícolas mexicanos con carteras de futuros de la Bolsa de Chicago (CME/CBOT): - del R.-R. De la Torre-Torres O. V. (2024) demostraron la factibilidad de cubrir los precios del aguacate Hass mexicano con una efectividad de cobertura cercana al 94.0 %, estableciendo la formulación base del portafolio sintético de mínimo error de seguimiento. - O. V. De la Torre-Torres et al. (2025) aplicaron esta metodología al maíz blanco mexicano, alcanzando una efectividad promedio del 61.8 % mediante una combinación óptima de futuros de maíz y trigo. Un hallazgo fundamental de este estudio fue la **ausencia de cointegración** entre el precio del maíz blanco nacional y el contrato individual de futuros de maíz amarillo del CME, lo cual constituye una demostración empírica rigurosa de que la cobertura univariada tradicional genera un severo riesgo de base. - Á.-G. De la Torre-Torres O. V. (2025) confirmaron la robustez del marco SEF en el caso del limón mexicano, logrando una efectividad de cobertura del 70.33 % mediante una cesta de futuros agropecuarios estadounidenses.

Estos hallazgos dialogan directamente con una extensa literatura mexicana que ha documentado los fallos estructurales de base y las limitaciones distributivas del extinto esquema ASERCA/CBOT (Benavides, 2006; Echánove Huacuja, 2015, 2017, 2022; García Hernández, 2023; Muñoz Martínez, 2015; Ortiz Arango, 2016, 2017; Paredes-García, 2019). Asimismo, la pertinencia de las coberturas cruzadas encuentra respaldo en experiencias comparables internacionales, tales como la cobertura de heno con maíz (Blake, 1984), las opciones *quanto* de materias primas (Xi, 2019) y la cobertura cruzada de mercados energéticos en economías emergentes (Barrera Rendón, 2020).

La contribución del presente proyecto radica en el desarrollo de algoritmos de toma de decisiones de cobertura con modelos MS-GARCH para decidir el realizar la cobertura cruzada del precio de garantía G ofrecido

por el mecanismo de estabilización de precios mediante una cobertura sintética de opciones de futuros agrícolas (maíz, trigo y arroz del CME y CBOT), con el objetivo de minimizar el costo fiscal contingente de dicha política.

10.5. 5. Opciones financieras, asimetría, straddles y regímenes de volatilidad

La incorporación de opciones financieras (contratos *put* y combinaciones tipo *straddle*) atiende a la naturaleza intrínsecamente no lineal y asimétrica del riesgo de precios agrícolas. El uso de estrategias con opciones se enmarca en la literatura de la prima de riesgo de varianza (*Variance Risk Premium*, VRP). Coval (2001) y Bakshi (2003) demostraron que en los mercados de derivados existe un premio negativo sistemático por comprar volatilidad (es decir, vender opciones genera rendimientos positivos en el promedio de largo plazo), fenómeno formalizado en la literatura de primas de volatilidad estocástica por Carr (2008) y Bollerslev (2009). Prokopczuk (2017), Triantafyllou (2015) y Xi (2019) extendieron esta evidencia a los mercados de *commodities*, confirmando que si bien la VRP es típicamente negativa, se invierte de manera notable en ventanas de alta incertidumbre, condicionada además por la presión de oferta y demanda en la volatilidad implícita (Bollen, 2004).

El elemento que este proyecto explota metodológicamente es la dinámica de la volatilidad condicional en torno a anuncios oficiales y cambios de régimen de mercado. Isengildina-Massa (2008), McKenzie (2007), Egelkraut (2007), B. He X. (2023) y & B. He X. (2025) han documentado con precisión cómo la volatilidad implícita de los granos agrícolas se incrementa abruptamente en los días previos a la publicación de los informes fundamentales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA/WASDE) y colapsa drásticamente una vez liberada la información, creando una prima de anuncio explotable. En dichas ventanas, una posición compradora de volatilidad (*long straddle*) compensa con creces el costo del acarreo de la prima.

A pesar de esta sólida evidencia en microestructura de mercados, la literatura previa no había articulado dicha dinámica en un mecanismo de **política pública** para la estabilización de inventarios agropecuarios. **El presente proyecto atiende este vacío de investigación mediante una regla de decisión econométrica basada en modelos Markov-Switching GARCH, (MS-GARCH).**

10.6. Síntesis integradora: justificación de la necesidad del trabajo y brechas de investigación

Los cinco ejes temáticos convergen en el fundamento del proyecto de investigación: 1. La teoría del *cross-hedging* (Eje 1) y su evidencia empírica en granos (Eje 2) establecen la viabilidad de cubrir el riesgo de precios mediante carteras de derivados, pero dejan sin resolver la cobertura de precios nacionales a horizontes que coincidan con el ciclo de almacenamiento agrícola ($t + 4$ a $t + 8$ meses). 2. El análisis de políticas públicas (Eje 3) demuestra que los subsidios a coberturas deben orientarse a la estabilización del ingreso real y no a reservas físicas ruinosas, evidenciando la urgente necesidad de cubrir el eslabón de almacenamiento en silos. Dadas las cifras ejercidas por el Gobierno Mexicano en sus programas de precios de garantía, se percibe la oportunidad y necesidad de probar que, con la estrategia propuesta, se puede reducir significativamente el costo fiscal realizado en la política de precios de garantía. 3. La experiencia empírica en México (Eje 4) y las estrategias de ingeniería financiera con opciones (eje 5) permiten fundamentar la necesidad de las pruebas cuantitativas para reducir el efecto de riesgo base que se tendría al cubrir con futuros, así como de no utilizar la cobertura con opciones y estrategias de ingeniería financiera de cobertura con estas.

De este modo, la presente investigación no solo articula estos cinco cuerpos de conocimiento en un modelo unificado de simulación de eventos discretos, sino que responde a una necesidad estratégica para la soberanía y seguridad alimentaria de México: transitar de programas asistenciales de compras físicas hacia un mecanismo institucional de

estabilización sustentado en tecnología cuantitativa de vanguardia, el cual tenga un costo fiscal significativamente menor al que actualmente tiene el programa de precios de garantía.

11. Metodología

Para demostrar la hipótesis general y las particulares, se realizará una simulación de eventos discretos en la que, de manera mensual, se simulará la existencia del mecanismo de estabilización de precios y de una cobertura del inventario inicial de cada mes en todos los almacenes generales de depósito del país. Para esto se utilizarán datos históricos de toneladas producidas de estos granos, precios históricos de estos granos por kilogramo, el tipo de cambio FIX del Banxico (2026), extraídos con APIs y *scripts* de *web scraping* con Python del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2026) o SIAP, el Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (2026a) o SIAVI, el Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (2026b) o SNIIM, así como de la Bolsa de Mercancías de Chicago (2026b) (CME), que permitan realizar la recopilación de los datos de inventario inicial disponible para consumo del maíz blanco, el trigo y el arroz, así como sus precios por origen (estado) por kilogramo y sus contrapartes de futuros de estos granos en el CME. De manera adicional, las APIs y *scripts* descargan toda la información histórica de las opciones de compra y venta de los futuros de los granos de interés del CME, procesan las denominadas letras griegas o sensibilidades de las opciones (Delta, Gamma, Vega, Theta y Rho) con base en el modelo de Black (1976) con el objetivo de definir, con base en las condiciones del mercado, la mejor cobertura posible para el inventario inicial de cada mes.

El modelo de Black (1976) modela el precio teórico de una opción financiera con base en el precio del activo subyacente, su volatilidad, el tiempo restante hasta el vencimiento de la opción, la tasa de interés libre de riesgo y el precio de ejercicio de la opción. La diferencia de este modelo de valuación de opciones europeas (cuyo ejercicio se da al final del periodo pactado) respecto al original de Black y Scholes (1973), es que asume que el futuro del subyacente sigue un proceso de martingala en un proceso de valuación neutral al riesgo, razón por la cual la tasa de interés libre de riesgo r no aparece en el proceso estocástico al momento de ponderar el valor presente del futuro agrícola F (maíz, trigo o arroz). La ecuación de valuación de una opción de venta (*put*) o V es la siguiente para el proyecto:

$$V = e^{-rT} [K N(-d_2) - F N(-d_1)] \quad (1)$$

En donde V es el valor de la opción europea de venta, F el precio del futuro agrícola del grano de interés (maíz, trigo o arroz), K es el precio de ejercicio de la opción, T el tiempo restante hasta el vencimiento de la opción (en fracción de año), r la tasa de interés libre de riesgo y $N(\cdot)$ la función de distribución acumulada de la distribución normal estándar.

En el contexto de Ecuación 1, $N(-d_2)$ es la probabilidad de que el valor de la opción termine en el dinero. Es decir, que el precio del futuro sea $F < K$. $N(-d_1)$ es un factor probabilístico ponderador de la ΔV o cambio del valor del *put* V ante un cambio en el futuro subyacente F . En el contexto de las opciones sobre futuros agrícolas, la volatilidad σ se define como la desviación estándar anualizada de los retornos del futuro agrícola. Esta es la variable más sensible en el modelo de valuación dado en Ecuación 1.

Es importante señalar que el modelo de valuación dado en Ecuación 1 es para valorar la opción, pero las opciones negociadas en el CME y su mercado filial, la Mesa de Negociaciones de Chicago (CBOT), se valúan a mercado. Es decir, V lo determina la oferta y demanda del *put*. Como resultado, el precio de mercado puede tener variaciones ΔV que se pueden aproximar con base en despejes o aproximaciones numéricas de dichos despejes de Ecuación 1 que se denominan “las griegas”. Las siguientes expresiones, dado Ecuación 1, son la sensibilidad (primera derivada) del *put* V respecto al cambio de precio del futuro subyacente F (conocida como “delta”):

$$\Delta_V = e^{-rT} [N(d_1) - 1] \quad (2)$$

La sensibilidad o segunda derivada del *put* V ante el cambio del precio del futuro subyacente es:

$$\Gamma_V = \frac{e^{-rT} N'(d_1)}{F \sigma \sqrt{T}} \quad (3)$$

La sensibilidad o cambio de la opción *put* V ante un cambio en la tasa de interés libre de riesgo r es:

$$\rho_V = -T e^{-rT} [K N(-d_2) - F N(-d_1)] \quad (4)$$

La sensibilidad o cambio de la opción conforme se aproxima el tiempo al vencimiento ($T \rightarrow 0$) es:

$$\Theta_{\text{put}} = -\frac{F e^{-rT} N'(d_1) \sigma}{2\sqrt{T}} + rK e^{-rT} N(-d_2) - rF e^{-rT} N(-d_1) \quad (5)$$

Finalmente, la sensibilidad de la opción de venta V ante cambios en el nivel de volatilidad del precio del futuro σ es:

$$\mathcal{V} = F e^{-rT} N'(d_1) \sqrt{T} \quad (6)$$

Es importante señalar que, dada la valuación de mercado de las opciones de venta con precios de ejercicio más cercanos al precio del futuro F en t , se calcularon las griegas en (Ecuación 2) a (Ecuación 6) con métodos numéricos programados en Python para todas las semanas desde junio de 2010 a la fecha.

De manera adicional, para las estrategias dinámicas de cobertura cruzada con opciones *put* o *straddles*, se ha estimado la volatilidad implícita IV de la opción *put* o del *straddle*. Esta volatilidad implícita significa la volatilidad que corresponde a la prima de la opción valuada a mercado en t que llevaría al precio de mercado V , dada la valuación en Ecuación 1 y las otras variables en t . Su estimación se realiza por medio de métodos numéricos que llevan a minimizar (o aproximar a cero) la siguiente función objetivo:

$$f(\sigma^*) = e^{-rT} [K N(-d_2(\sigma^*)) - F N(-d_1(\sigma^*))] - P_{\text{mercado}} = 0 \quad (7)$$

Con esta información histórica recolectada en materia de producción mensual, *puts* (opciones de venta V), precios de los granos en México y las sensibilidades griegas, se procederá a simular cada mes, desde junio de 2010 a junio de 2029, la ejecución de los 437 escenarios (2 ingenuos y 435 con modelos MS-GARCH), para pronosticar la probabilidad $\xi_{s=2, t+n}$ de estar en un régimen de alta volatilidad en $t+n$ (para $n = 4, 8, 12$), así como la volatilidad pronosticada con estos modelos $\hat{\sigma}_{t+n}$.

Con estos datos, se simularán los siguientes pasos de análisis y toma de decisiones de cobertura al inicio de cada mes, desde junio de 2010 a junio de 2029:

0. Para cada mes desde junio de 2016 a junio de 2029:
 1. Definir con los almacenes de depósito de cada grano simulado el precio de ejercicio $K_{\text{almacén}}$ con el que el mecanismo de estabilización de precios se compromete a adquirir, en modalidad de opción de compra sin prima de cobertura (la prima la subsidia el mecanismo con recursos del Gobierno Federal mexicano). Esto en el periodo de $t+n$ semanas que equivaldrían a 3 escenarios de simulación: 1, 2 y 3 meses.

2. Dada una cantidad a cubrir Q (en toneladas) del grano de interés a los almacenes de depósito, determinar la cantidad de contratos de opción N de venta a cubrir. Dadas las características del contrato de opción en el CME (2026c, 2026a, 2026d), determinar el número de opciones de venta que el mecanismo de estabilización de precios requiere para financiar la diferencia entre el precio de cobertura $K_{\text{almacén}}$ y el precio de mercado S_t del grano cubierto.
3. Con la mejor estrategia de cobertura con *puts* largos, *straddles*, mariposas (*butterflies*) o combinaciones de estas estrategias, así como la decisión con la estrategia de compra ingenua (*naïve*) o con modelos MS-GARCH, determinar la cantidad de *puts*, *straddles* o *butterflies* a adquirir en el CME. Este paso lleva, como parte importante del proyecto, el analizar las siguientes estrategias de cobertura, cuyas decisiones se tomarán ya sea con la adquisición ingenua o con modelos MS-GARCH (definición del mejor modelo y estrategia de 437 estrategias y modelos MS-GARCH para $t + 4$, $t + 8$ y $t + 12$ semanas de pronóstico de la probabilidad $\xi_{s=2,t+n}$ en el régimen de alta volatilidad o su volatilidad $\hat{\sigma}_{t+n}$). Las estrategias a simular para determinar la mejor de todas son las siguientes:
 - a. Compra ingenua o *naïve* de opciones de venta (*put*) en cada mes de cobertura (esta estrategia no requiere mayor análisis cuantitativo de toma de decisiones). Esto con la expectativa de que el mecanismo de estabilización de precios tenga ingresos si el precio del futuro del maíz amarillo F_t baja de t a $t + n$.
 - b. Compra ingenua o *naïve* de un *straddle* (*Put + Call*). Para comprender lo que es un *straddle*, favor de referirse al apartado de [Glosario de términos y definiciones empleadas en el proyecto](#). Esta compra se hará a inicios de cada mes con la expectativa de que el mecanismo de estabilización de precios tenga ingresos si la fluctuación del precio del futuro del maíz amarillo σ_t se incrementa en el periodo de cobertura, quitando direccionalidad y asegurando que el mecanismo gane dinero, independientemente de si el precio del futuro del maíz amarillo F_t sube o baja.
 - c. La compra de la opción *put* (de venta) solo si la probabilidad pronosticada de estar en el régimen de alta volatilidad $s = 2$ es mayor a 0.5 o 50 % ($\xi_{s=2,t+n} > 0.5$). Esto se simulará para 435 modelos MS-GARCH en los que se combinarán, para cada régimen o estado de la naturaleza ($s = \{1, 2\}$), las 4 funciones de probabilidad o verosimilitud y los 3 modelos ARCH o GARCH de interés.
 - d. La compra de un *straddle* (la estrategia no direccional de opciones que consiste en comprar simultáneamente una opción de compra y otra de venta con el mismo precio de ejercicio K) solo si la probabilidad pronosticada de estar en el régimen de alta volatilidad $s = 2$ es mayor a 0.5 o 50 % ($\xi_{s=2,t+n} > 0.5$). Al igual que la estrategia anterior, se simulará para las 435 combinaciones de modelos MS-GARCH y funciones de probabilidad o verosimilitud.
 - e. La compra de un *straddle* (la estrategia no direccional de opciones que consiste en comprar simultáneamente una opción de compra y otra de venta con el mismo precio de ejercicio K) solo si la probabilidad pronosticada de estar en el régimen de alta volatilidad $s = 2$ es mayor a 0.5 o 50 % ($\xi_{s=2,t+n} > 0.5$). En caso contrario ($\xi_{s=2,t+n} \leq 0.5$), se mantiene la compra ingenua del *put*. Al igual que las estrategias anteriores, se simulará para las 435 combinaciones de modelos MS-GARCH y funciones de probabilidad o verosimilitud.
 - f. La compra de un *straddle* (la estrategia no direccional de opciones que consiste en comprar simultáneamente una opción de compra y otra de venta con el mismo precio de ejercicio K) solo si la volatilidad pronosticada $\hat{\sigma}_{t+n}$ para $t + n$ es mayor a la volatilidad implícita IV , estimada con (Ecuación 7).
4. Simular la compra de los N contratos de *put* o estrategia de opciones, pagando la prima V_t más una comisión de corretaje de 0.1 % sobre el monto de opciones operado: $f_{V,t} = 0.001 \cdot (N \cdot V_t)$.
5. En el periodo $t + n$ de cobertura (vencimiento de la estrategia de cobertura cruzada), determinar si se ejerce la opción y, en ese caso, simular el cobro del ingreso I_{t+n} que el mecanismo de estabilización de precios tendrá con el ejercicio de la estrategia adquirida. Para esto se determina el ingreso neto de la estrategia dado por $I_{t+n} = F_{t+n} - V_t - f_{V,t}$.
6. Si el precio del grano de los almacenes de depósito, cubierto por el mecanismo de estabilización de precios, fuera menor en $t + n$ al pactado en la fecha de cobertura t , el mecanismo deberá pagar la diferencia entre el

precio de ejercicio ofrecido K y el precio de mercado S_{t+n} del grano, lo que representa un egreso: $E_{t+n} = K - S_{t+n}$.

7. Determinar la ganancia o desembolso neto del mecanismo de estabilización de precios para cada estrategia de cobertura adquirida, comparando el ingreso I_{t+n} logrado con la estrategia de cobertura de opciones en el CME, menos el pago (opcional) que podría hacerse a los almacenes de depósito si el precio de mercado del grano cubierto no les favorece E_{t+n} : $P/L_{t+n} = I_{t+n} - E_{t+n}$.

El siguiente diagrama de flujo resume visualmente los pasos que se ejecutan en cada mes de simulación desde junio de 2010 a junio de 2029:

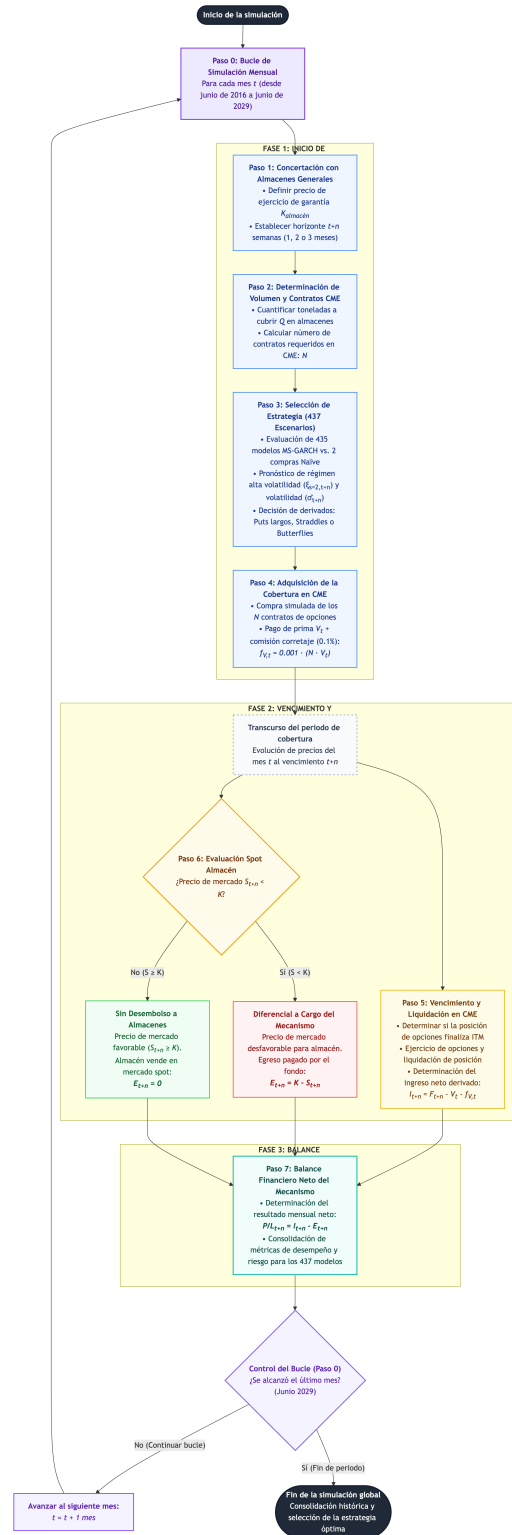


Figura 2: Diagrama de flujo del proceso de simulación y toma de decisiones de cobertura, incorporando el bucle iterativo mensual (Paso 0).

Es importante señalar que este proceso previamente descrito se realizará para los 3 granos de interés en el proyecto de investigación: maíz, trigo y arroz. Por lo que el diagrama de flujo representa el proceso general que se realizará para cada grano.

De manera complementaria, los resultados de los datos de entrada obtenidos (precios, toneladas de producción, griegas de opciones, históricos de mercado de futuros y opciones, resultados de estimaciones MS-GARCH y de los P/L_{t+n} estimados en el proceso anterior para los 437 escenarios de cobertura y modelos MS-GARCH) se guardarán en bases de datos de BigQuery (Google Cloud Platform) y se pondrán a disposición de la comunidad académica nacional e internacional con el objetivo de dar transparencia y generar conocimiento derivado de estas simulaciones. Es preciso mencionar que la base de datos se actualizará de manera periódica (mensual o cuando sea necesario) para mantenerla vigente. Por último, los resultados finales del proyecto se presentarán en eventos académicos de talla internacional y se publicarán en *journals* de reconocido prestigio en el área de finanzas y economía aplicada.

Para poder procesar todas estas simulaciones y obtener los resultados propuestos en el presente proyecto de investigación, se tiene infraestructura informática de otros proyectos de investigación CIC previos y se hacen extensiones y mejoras que podrán financiarse con el presente. El detalle de la infraestructura informática que se tiene y la arquitectura de datos final se describe a continuación.

12. Viabilidad del proyecto (recursos materiales para su ejecución, cronograma de actividades de investigación y desglose financiero)

12.1. Arquitectura informática que sustenta el proyecto de investigación

Para dar detalle de la arquitectura informática que permitirá la ejecución de las simulaciones de este proyecto, se revisará el equipo de cómputo con el que se cuenta, se describirá la arquitectura que se desarrollará y tendrá, así como la arquitectura de base de datos resultante de proyectos de investigación previos.

Es importante resaltar que, por cuestiones de espacio, esta revisión de la arquitectura es breve para fines de explicar la misma de manera general y para dar una introducción de las capacidades que se tienen y las que se desarrollarán con el proyecto. Para consultar la arquitectura a detalle, se le pide acudir a presionar **esta liga: **** https://proyectocic2027.oscardelatorretorres.com**.

Para lograr las metas planteadas en los apartados de objetivos, metas y entregables en el proyecto de investigación, se cuenta con infraestructura tecnológica suficiente, la cual se ha adquirido con proyectos de investigación previos como son los de Apoyo a nuevo PTC de PRODEP-SEP o los propios proyectos de investigación financiados por parte de la Coordinación de la Investigación Científica (CIC) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), desde el año 2016, al sustentante de este proyecto. La infraestructura de equipo de cómputo con que actualmente se cuenta es la siguiente:

1. Computadora Mac Pro con procesador Intel Xeon de 3.5 GHz y 6 núcleos, 16 GB de memoria RAM, tarjeta gráfica AMD FirePro de 3 GB y 120 GB de disco duro en estado sólido. Esta computadora es la que se utiliza para hacer la parte más larga y amplia de las simulaciones de este proyecto de investigación y otros que le han antecedido. Los resultados de las simulaciones realizadas con esta computadora se actualizan, de manera diaria, en la siguiente computadora.
2. Computadora iMac con procesador Intel Core de 1.5 GHz y 2 núcleos, 18 GB de memoria RAM, tarjeta gráfica Intel Graphics de 1.5 GB y 120 GB de disco duro en estado sólido. Esta computadora es la que actualizará, de manera diaria o mensual (según sea el caso), los datos de las simulaciones del presente proyecto.
3. Lenguajes de programación R y Python ejecutados tanto en RStudio como en Jupyter Notebooks.

4. Bases de datos y tareas *cron* ejecutables en la cuenta de Google Cloud Platform, en donde se han estado guardando los resultados de proyectos previos. Resultados que se tomarán como base de partida para el presente, así como parte de los datos recolectados con minería de datos a través de APIs y *scripts* de Python para recopilar los datos de precios de granos, futuros, opciones e información de mercado.
5. Se contratarán, con los recursos de este proyecto, servicios a la empresa Google Cloud Platform para que ejecute en sus servidores de cómputo paralelo las simulaciones que sean requeridas para el presente proyecto de investigación. En específico, las 437 combinaciones de modelos MS-GARCH, en cada una de las 3 simulaciones (maíz, trigo y arroz) con los tres horizontes de cobertura ($t + 4$, $t + 8$ y $t + 12$ meses) y con cada uno de los diferentes escenarios de opciones de precios. Esto para cada semana de junio de 2010 a diciembre de 2029 (un total de 1,021 semanas para cada modelo MS-GARCH de cada grano en cada escenario de cobertura). Esto se contratará con el COG 31902100 (contratación de otros servicios) con el concepto de Análisis y estudios de muestras experimentales. Esto porque la empresa realizará todas las simulaciones Monte Carlo con cadenas markovianas ergódicas de 2 estados con los datos de entrada (precios de granos y opciones del CME / CBOT) compilados en las bases de datos de la arquitectura actual.

Esta arquitectura se estructura en tres componentes fundamentales:

1. **Fuentes de Datos Externas:** Ingesta continua y estandarizada de cotizaciones spot físicas (SNIIM), paridad cambiaria oficial FIX (BANXICO), derivados de futuros y opciones de CME (a través de IBKR Gateway Proxy y Databento GLBX.MDP3), balanzas comerciales de oferta y demanda agropecuarias (SIAP/SIAVI) y estadísticas agroindustriales (CRT/INEGI).
2. **Motores Serverless de Cómputo (GCP), incluidos en la contratación del servicio de análisis de datos del COG 31902100 (contratación de otros servicios):** Carga analítica y computacional desacoplada en *Cloud Run Jobs* de ejecución efímera (`updateSNIIMDB`, `actualizaibkr`, `actualizaibkroptions`, `actualizasiap`, `actualizaagave`), integrando el motor de estimación econométrica bayesiana MCMC en R (`actualizamsgarch`) y la auditoría automática de infraestructura y costos (`actualizabillingmonitor`).
3. **Almacén Estructurado de datos (Base de datos en Google BigQuery):** *Datasets* analíticos especializados (`datosSNIIM`, `datosDerivados`, `datosSIAP`, `datosCoberturas`, `datosAgave` y el respaldo espejo `datosDerivadosBackup`), optimizados para consultas de alta velocidad y retención histórica con costo fijo operativo en reposo cercano a \$0 USD.

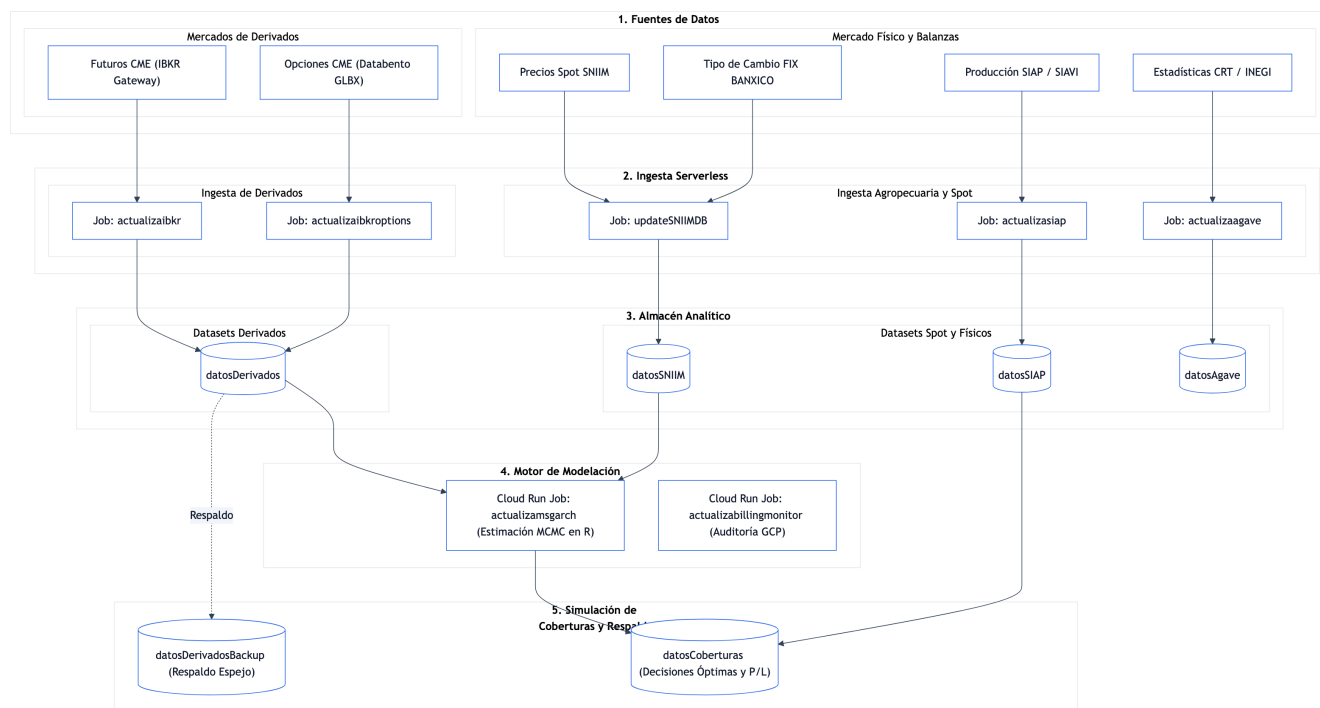


Figura 3: Arquitectura general serverless del sistema de gestión de riesgos, ingesta de datos y estimación de modelos en Google Cloud Platform.

En la misma se puede apreciar la finalidad que tienen las bases de datos que se contratarán y se especifica cómo se publicarán, se actualizarán y se pondrán a libre consulta los resultados de las pruebas y simulaciones realizadas.

Se puede notar que, a través de aplicaciones interactivas incrustadas en Google Cloud Platform, así como *dashboards* en el sitio web del Dr. de la Torre Torres, se puede acceder a los resultados de interés.

Ya que se presentó la metodología para realizar el presente proyecto de investigación propuesto, así como la infraestructura material con la que se cuenta y la que se requiere con el financiamiento de este proyecto, se hará un detalle del cronograma de actividades.

12.2. Cronograma tentativo de actividades

En la Figura 3 se presenta el diagrama de Gantt con el cronograma (tentativo) de actividades a realizar durante el proyecto.

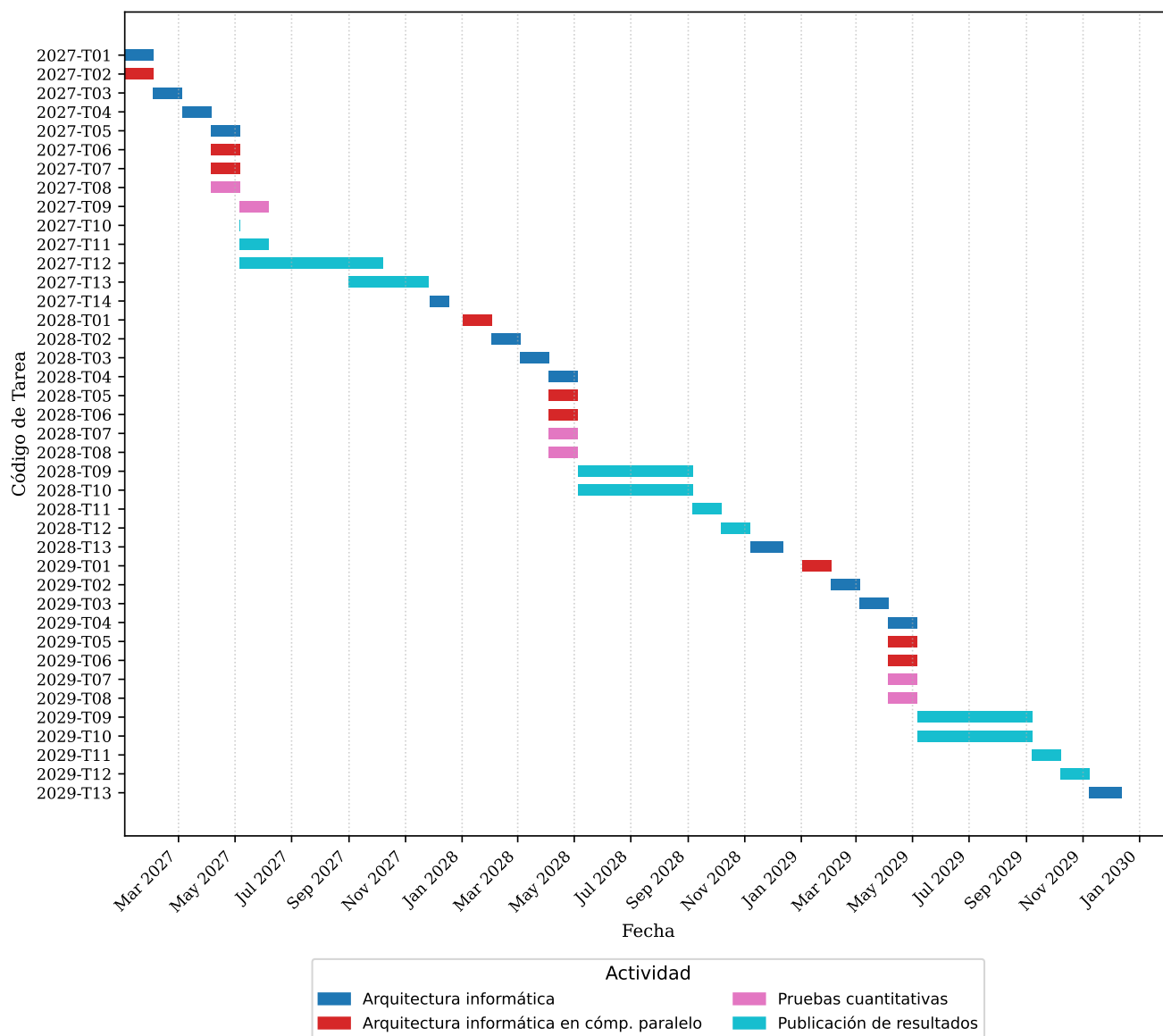


Figura 4: Planeación tentativa del proyecto de investigación.

A continuación, se detallan las tareas con su año correspondiente, número consecutivo y código de identificación, conforme al diagrama de Gantt de la Figura 3.

Tabla 5: Detalle de tareas a realizar en el proyecto de investigación conforme el diagrama de Gantt de la Figura 3.

Año	No.	Código	Actividad	Tarea	Descripción de la tarea
2027	1	2027-T01	Arquitectura informática	Revisión scripts python descarga datos agrícolas	Se revisan los scripts de Python para ver que funcionen de acuerdo a los pasos de los backtest en la metodología del proyecto y la arquitectura especificada. En este punto se programan los scripts para obtener los datos de producción de los granos de interés, tal como se especifica en la arquitectura en https://gen-lang-client-0088523809.web.app/
2027	2	2027-T02	Arquitectura informática en cómputo paralelo	Se revisa el estado del proyecto en servidores de nube para ejecución de scripts de cobertura	Se configuran las instancias de cómputo paralelo contratadas para el análisis de muestras de datos agrícolas y financieros del CME.
2027	3	2027-T03	Arquitectura informática	Ejecución de descarga masiva de datos agrícolas mexicanos y extranjeros	Se ejecutan los scripts de web scrapping para descargar los datos de precios agrícolas, producción que servirán de muestra de datos en los análisis y guardarlos en el motor de base de datos de big query en la arquitectura en informática. De manera complementaria, se programan CRONES de actualización diaria para la actualización y alimentación permanente de las bases de datos.
2027	4	2027-T04	Arquitectura informática	Revisión scripts python descarga datos opciones del maíz en CME	Se revisarán que los scripts de descarga masiva de opciones y futuros del CME funcionen de manera adecuada.
2027	5	2027-T05	Arquitectura informática	Ejecución de descarga masiva de opciones y futuros agrícolas CME	Se ejecutan los scripts de web scrapping para descargar los datos de precios de futuros y opciones relativos al maíz del CME que servirán de muestra de datos en los análisis y guardarlos en el motor de base de datos de big query en la arquitectura en informática.
2027	6	2027-T06	Arquitectura informática en cómputo paralelo	Programación de script de las 435 combinaciones de modelos MS-GARCH para maíz	Se programan los scripts ayudarán a google cloud platform ejecutar, en el servicio contratado de análisis de datos de muestras (precios del maíz blanco y opciones del CME en las bases de datos) en sus servidores, el análisis de las más de 35,287,200 estimaciones y cálculos de los modelos 437 MS-GARCH a estimar en todas las semanas desde junio de 2010 a diciembre de 2027. Esto para los precios de diferentes orígenes mexicanos y países del maíz blanco.
2027	7	2027-T07	Arquitectura informática en cómputo paralelo	Ejecución de script de las 435 combinaciones de modelos MS-GARCH para el precio del maíz blanco	Se solicita a google cloud platform realice el análisis de los 437 modelos MS-GARCH en los precios del maíz blanco tanto mexicano como extranjero.
2027	8	2027-T08	Pruebas cuantitativas	Ejecución de scripts de cobertura cruzada del maíz blanco	Con los datos disponibles del análisis de muestra de datos realizado por google cloud platform se ejecutan los scripts de python que procesarán los resultados logrados con el análisis de muestras para correr las simulaciones de las 6 estrategias de cobertura en el maíz blanco.
2027	9	2027-T09	Pruebas cuantitativas	Análisis de resultados de pruebas de coberturas	Se analizarán los datos de las coberturas estimados en el paso anterior para ver que las hipótesis general y particular se cumplan para el caso del maíz blanco mexicano

Tabla 5: Detalle de tareas a realizar en el proyecto de investigación conforme el diagrama de Gantt de la Figura 3.

Año	No.	Código	Actividad	Tarea	Descripción de la tarea
2027	10	2027-T10	Publicación de resultados	Elaboración de ponencia para congreso (s) con resultados de pruebas del maíz blanco	Con los resultados revisados y confirmando la comprobación de las hipótesis de trabajo, se elaborará una o varias ponencias para presentar estos en congresos de investigación.
2027	11	2027-T11	Publicación de resultados	Elaboración de artículo para congreso con resultados de pruebas del maíz blanco	Se elaborará un artículo de investigación con los resultados logrados y las sugerencias de política para el caso de la factibilidad de la cobertura cruzada con opciones del CME que permita reducir el costo de la cobertura ofrecida en el maíz blanco, por más de 60 % del costo actual.
2027	12	2027-T12	Publicación de resultados	Presentación y publicación de artículo en revista científica de alto impacto	Se presenta el artículo elaborado para ser publicado en una revista científica de alto impacto.
2027	13	2027-T13	Publicación de resultados	Presentación de ponencias con resultados logrados para el maíz blanco	Se presentan las ponencias con los resultados logrados para su evaluación y retroalimentación por parte de la comunidad científica.
2027	14	2027-T14	Arquitectura informática	Revisión de dashboards de resultados del maíz blanco y actualización	Se crean y publican dashboards con los resultados de la investigación (datos históricos recopilados, resultados de simulaciones y corridas).
2028	15	2028-T01	Arquitectura informática en cómp. paralelo	Revisión scripts python descarga datos agrícolas	Se revisa que los scripts de Python y los CRONES de actualización de datos de precios agrícolas, producción, futuro y opciones del CME estén funcionando adecuadamente y se actualizan sus parámetros para descargar toda la información relativa al arroz blanco mexicano.
2028	16	2028-T02	Arquitectura informática	Ejecución de descarga masiva de datos agrícolas mexicanos y extranjeros del arroz blanco	Se ejecutan los scripts de web scrapping para descargar los datos de precios agrícolas, producción que servirán de muestra de datos en los análisis y guardarlos en el motor de base de datos de big query en la arquitectura en informática. De manera complementaria, se programan CRONES de actualización diaria para la actualización y alimentación permanente de las bases de datos.
2028	17	2028-T03	Arquitectura informática	Revisión scripts python descarga datos opciones del arroz en CME	Se revisarán que los scripts de descarga masiva de opciones y futuros del CME funcionen de manera adecuada.
2028	18	2028-T04	Arquitectura informática	Ejecución de descarga masiva de opciones y futuros agrícolas CME	Se ejecutan los scripts de web scrapping para descargar los datos de precios de futuros y opciones del precio del arroz del CME que servirán de muestra de datos en los análisis y guardarlos en el motor de base de datos de big query en la arquitectura en informática.

Tabla 5: Detalle de tareas a realizar en el proyecto de investigación conforme el diagrama de Gantt de la Figura 3.

Año	No.	Código	Actividad	Tarea	Descripción de la tarea
2028	19	2028-T05	Arquitectura informática en cómputo paralelo	Programación de script de las 435 combinaciones de modelos MS-GARCH para el arroz	Se programan los scripts ayudarán a google cloud platform ejecutar, en el servicio contratado de análisis de datos de muestras (precios del arroz y opciones del CME en las bases de datos) en sus servidores, el análisis de las más de 35,287,200 estimaciones y cálculos de los modelos 437 MS-GARCH a estimar en todas las semanas desde junio de 2010 a diciembre de 2027. Esto para los precios de diferentes orígenes mexicanos y países del maíz blanco.
2028	20	2028-T06	Arquitectura informática en cómputo paralelo	Ejecución de script de las 435 combinaciones de modelos MS-GARCH para el arroz	Se solicita a google cloud platform realice el análisis de los 437 modelos MS-GARCH en los precios del arroz blanco tanto mexicano como extranjero.
2028	21	2028-T07	Pruebas cuantitativas	Ejecución de scripts de cobertura cruzada del arroz	Con los datos disponibles del análisis de muestra de datos realizado por google cloud platform se ejecutan los scripts de python que procesarán los resultados logrados con el análisis de muestras para correr las simulaciones de las 6 estrategias de cobertura en el arroz.
2028	22	2028-T08	Pruebas cuantitativas	Análisis de resultados de pruebas de coberturas	Se analizarán los datos de las coberturas estimados en el paso anterior para ver que las hipótesis general y particular se cumplan para el caso del arroz blanco mexicano
2028	23	2028-T09	Publicación de resultados	Elaboración de ponencia para congreso (s) con resultados de pruebas del arroz	Con los resultados revisados y confirmando la comprobación de las hipótesis de trabajo, se elaborará una o varias ponencias para presentar estos en congresos de investigación.
2028	24	2028-T10	Publicación de resultados	Elaboración de artículo para congreso con resultados de pruebas del arroz	Se elaborará un artículo de investigación con los resultados logrados y las sugerencias de política para el caso de la factibilidad de la cobertura cruzada con opciones del CME que permita reducir el costo de la cobertura ofrecida en el arroz blanco, por más de 60 % del costo actual.
2028	25	2028-T11	Publicación de resultados	Presentación y publicación de artículo en revista científica de alto impacto	Se presenta el artículo elaborado para ser publicado en una revista científica de alto impacto.
2028	26	2028-T12	Publicación de resultados	Presentación de ponencias con resultados logrados para el arroz blanco mexicano	Se presentan las ponencias con los resultados logrados para su evaluación y retroalimentación por parte de la comunidad científica.
2028	27	2028-T13	Arquitectura informática	Revisión de dashboards de resultados del arroz blanco y actualización	Se crean y publican dashboards con los resultados de la investigación (datos históricos recopilados, resultados de simulaciones y corridas).
2029	28	2029-T01	Arquitectura informática en cómputo paralelo	Revisión scripts python descarga datos agrícolas	Se revisa que los scripts de Python y los CRONES de actualización de datos de precios agrícolas, producción, futuro y opciones del CME estén funcionando adecuadamente y se actualizan sus parámetros para descargar toda la información relativa al arroz blanco mexicano.

Tabla 5: Detalle de tareas a realizar en el proyecto de investigación conforme el diagrama de Gantt de la Figura 3.

Año	No.	Código	Actividad	Tarea	Descripción de la tarea
2029	29	2029-T02	Arquitectura informática	Ejecución de descarga masiva de datos agrícolas mexicanos y extranjeros del trigo	Se ejecutan los scripts de web scrapping para descargar los datos de precios agrícolas, producción que servirán de muestra de datos en los análisis y guardarlos en el motor de base de datos de big query en la arquitectura en informática. De manera complementaria, se programan CRONES de actualización diaria para la actualización y alimentación permanente de las bases de datos.
2029	30	2029-T03	Arquitectura informática	Revisión scripts python descarga datos opciones del trigo en CME	Se revisarán que los scripts de descarga masiva de opciones y futuros del CME funcionen de manera adecuada.
2029	31	2029-T04	Arquitectura informática	Ejecución de descarga masiva de opciones y futuros agrícolas CME	Se ejecutan los scripts de web scrapping para descargar los datos de precios de futuros y opciones del precio del arroz del CME que servirán de muestra de datos en los análisis y guardarlos en el motor de base de datos de big query en la arquitectura en informática.
2029	32	2029-T05	Arquitectura informática en cómp. paralelo	Programación de script de las 435 combinaciones de modelos MS-GARCH para el trigo	Se programan los scripts ayudarán a google cloud platform ejecutar, en el servicio contratado de análisis de datos de muestras (precios del trigo y opciones del CME en las bases de datos) en sus servidores, el análisis de las más de 35,287,200 estimaciones y cálculos de los modelos 437 MS-GARCH a estimar en todas las semanas desde junio de 2010 a diciembre de 2027. Esto para los precios de diferentes orígenes mexicanos y países del maíz blanco.
2029	33	2029-T06	Arquitectura informática en cómp. paralelo	Ejecución de script de las 435 combinaciones de modelos MS-GARCH para el trigo	Se solicita a google cloud platform ralice el análisis de los 437 modelos MS-GARCH en los precios del trigo tanto mexicano como extranjero.
2029	34	2029-T07	Pruebas cuantitativas	Ejecución de scripts de cobertura cruzada del trigo	Con los datos disponibles del análisis de muestra de datos realizado por google cloud platform se ejecutan los scripts de python que procesarán los resultados logrados con el análisis de muestras para correr las simulaciones de las 6 estrategias de cobertura en el trigo.
2029	35	2029-T08	Pruebas cuantitativas	Análisis de resultados de pruebas de coberturas	Se analizarán los datos de las coberturas estimados en el paso anterior para ver que las hipótesis general y particular se cumplan para el caso del trigo mexicano
2029	36	2029-T09	Publicación de resultados	Elaboración de ponencia para congreso (s) con resultados de pruebas del trigo	Con los resultados revisados y confirmando la comprobación de las hipótesis de trabajo, se elaborará una o varias ponencias para presentar estos en congresos de investigación.
2029	37	2029-T10	Publicación de resultados	Elaboración de artículo para congreso con resultados de pruebas del trigo	Se elaborará un artículo de investigación con los resultados logrados y las sugerencias de política para el caso de la factibilidad de la cobertura cruzada con opciones del CME que permita reducir el costo de la cobertura ofrecida en el trigo, por más de 60 % del costo actual.

Tabla 5: Detalle de tareas a realizar en el proyecto de investigación conforme el diagrama de Gantt de la Figura 3.

Año	No.	Código	Actividad	Tarea	Descripción de la tarea
2029	38	2029-T11	Publicación de resultados	Presentación y publicación de artículo en revista científica de alto impacto	Se presenta el artículo elaborado para ser publicado en una revista científica de alto impacto.
2029	39	2029-T12	Publicación de resultados	Presentación de ponencias con resultados logrados para el trigo mexicano	Se presentan las ponencias con los resultados logrados para su evaluación y retroalimentación por parte de la comunidad científica.
2029	40	2029-T13	Arquitectura informática	Revisión de dashboards de resultados del trigo y actualización	Se crean y publican dashboards con los resultados de la investigación (datos históricos recopilados, resultados de simulaciones y corridas).

Finalmente, se detallan los rubros a financiar para la ejecución del presente proyecto de investigación, como parte de la viabilidad financiera del mismo.

12.3. Presupuesto o planeación financiera del proyecto

En el Cuadro 1 siguiente se detallan los rubros a financiar para la ejecución del proyecto de investigación. Como se puede apreciar, se solicita un monto total de MXN 106,200.00 por los 3 años (MXN 35,400.00 para el año 2027, MXN 35,400.00 para el año 2028 y MXN 35,400.00 para el año 2029).

Tabla 6: Presupuesto general solicitado para el proyecto de investigación.

COG y concepto de gasto que se considera	Monto 2027	Monto 2028	Monto 2029	Total rubro en proyecto	Porcentaje del total de presupuesto
COG 21502100 (Material para información en actividades de investigación científica y tecnológica) con el concepto de compra de datos de opciones financieras y no financieras	\$8,000.00	\$8,000.00	\$8,000.00	\$24,000.00	22.60 %
COG 31902100 (contratación de otros servicios) con el concepto de Análisis y estudios de muestras experimentales:omunicaciones	\$20,400.00	\$20,400.00	\$20,400.00	\$61,200.00	57.63 %
COG 38301200 (Eventos académicos) con el concepto de pago de cuotas de congresos de investigación.	\$7,000.00	\$7,000.00	\$7,000.00	\$21,000.00	19.77 %
Total	\$35,400.00	\$35,400.00	\$35,400.00	\$106,200.00	100.00 %

12.4. Justificación del presupuesto

En el Cuadro 1 se aprecia el presupuesto por rubro a financiar, partiendo del concepto por objeto de gasto. La justificación de cada rubro, en virtud de las actividades a realizar, se detalla a continuación.

12.4.1. COG 21502100 (Material para información en actividades de investigación científica y tecnológica) con el concepto de compra de datos de opciones financieras y no financieras

Este rubro representa un 22.60 % del total del presupuesto a ejercer (MXN 24,000.00 en total, MXN 8,000.00 anuales). El mismo se propone para adquirir los datos duros históricos de todas las opciones financieras vinculadas a los futuros del grano de interés para la cobertura cruzada (maíz, trigo y arroz). Es importante señalar que los datos que se adquirirán serán todos los hechos registrados de todas las opciones de estos 3 granos en todos sus precios de ejercicio desde junio de 2010. Para esto, el proveedor (Databento) pide una cuota de descarga equivalente al presupuesto estipulado. Esto porque debe descargarse en *bulk* y alimentarse en las bases de datos hospedadas en el servicio BigQuery. De ahí se harán las extracciones de los datos, junto con los de los precios de maíz blanco, arroz y trigo del SNIIM para que, como se menciona en el siguiente concepto de gasto, la empresa Google Cloud Platform, a través de su servicio Cloud Run, haga el análisis paralelizado de todos los modelos MS-GARCH para cada grano de interés. Posteriormente, los datos históricos de opciones se actualizarán desde APIs de datos financieros con los que tiene la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo convenio firmado, tal es el caso de la empresa TradingView y la casa de bolsa Interactive Brokers.

12.4.2. COG 31902100 (contratación de otros servicios) con el concepto de Análisis y estudios de muestras experimentales

Este rubro representa un 57.63 % del total del presupuesto a ejercer (MXN 61,200.00 en total, MXN 20,400.00 anuales) y contempla la contratación de servicios de cómputo paralelo en la nube a la empresa Google Cloud Platform (mediante Cloud Run Jobs). Con ello se realizarán las simulaciones de las 437 combinaciones de modelos MS-GARCH para los tres granos de interés (maíz, trigo y arroz), en los tres horizontes de cobertura ($t + 4$, $t + 8$ y $t + 12$ meses) y para cada uno de los diferentes escenarios de opciones de precios a lo largo de las 1,021 semanas de simulación.

12.4.3. COG 38301200 (Eventos académicos) con el concepto de pago de cuotas de congresos de investigación

Este rubro tiene una participación del 19.77 % en el total (MXN 21,000.00 en total, MXN 7,000.00 anuales). Contempla el pago de cuotas de inscripción y registro a congresos de investigación de reconocido prestigio académico a nivel nacional e internacional, en los cuales se presentarán y someterán a discusión con la comunidad científica los avances, simulaciones y resultados derivados del proyecto.

13. Consideraciones finales

Se espera cumplir con las expectativas de impacto en la generación del conocimiento y desarrollo tecnológico con impacto regional y nacional que la CIC busca alcanzar con esta convocatoria institucional de investigación.

A su vez, se agradece la atención y el tiempo dedicado a revisar la presente propuesta.

Para cualquier necesidad o consideración, me reitero a sus órdenes en el sitio web <https://oscardelatorretorres.com> o en el correo institucional oscar.delatorre.torres@umich.mx.

14. Declaración de originalidad, coherencia y congruencia global

El suscrito proponente declara que la presente propuesta de investigación es original, inédita y manifiesta que los objetivos, metodología, cronograma y presupuesto propuestos guardan plena coherencia técnica y congruencia global con los propósitos de generación y aplicación del conocimiento de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

De manera similar, se ha revisado la coherencia de la propuesta con las líneas de investigación cultivadas por el proponente, así como con las áreas prioritarias (temáticas) de investigación de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti), así como con las necesidades de seguridad alimentaria en México y el Estado de Michoacán.

La presente propuesta ha sido sometida a herramientas de revisión de originalidad (detección de plagio) y verificación de redacción humana, obteniendo resultados plenamente satisfactorios. Estas dos pruebas se realizaron con la herramienta Grammarly y se presentan los resultados en las siguientes dos figuras (detector de plagio e IA, respectivamente):

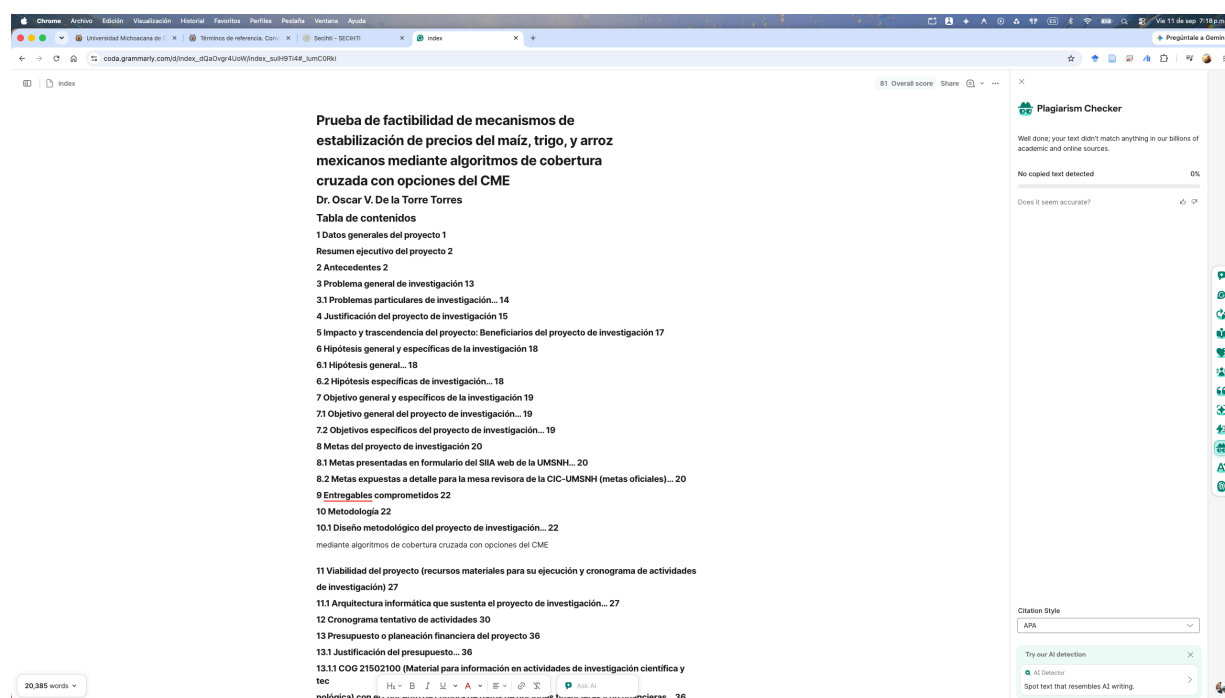


Figura 5: Resultado de herramienta de plagio Grammarly

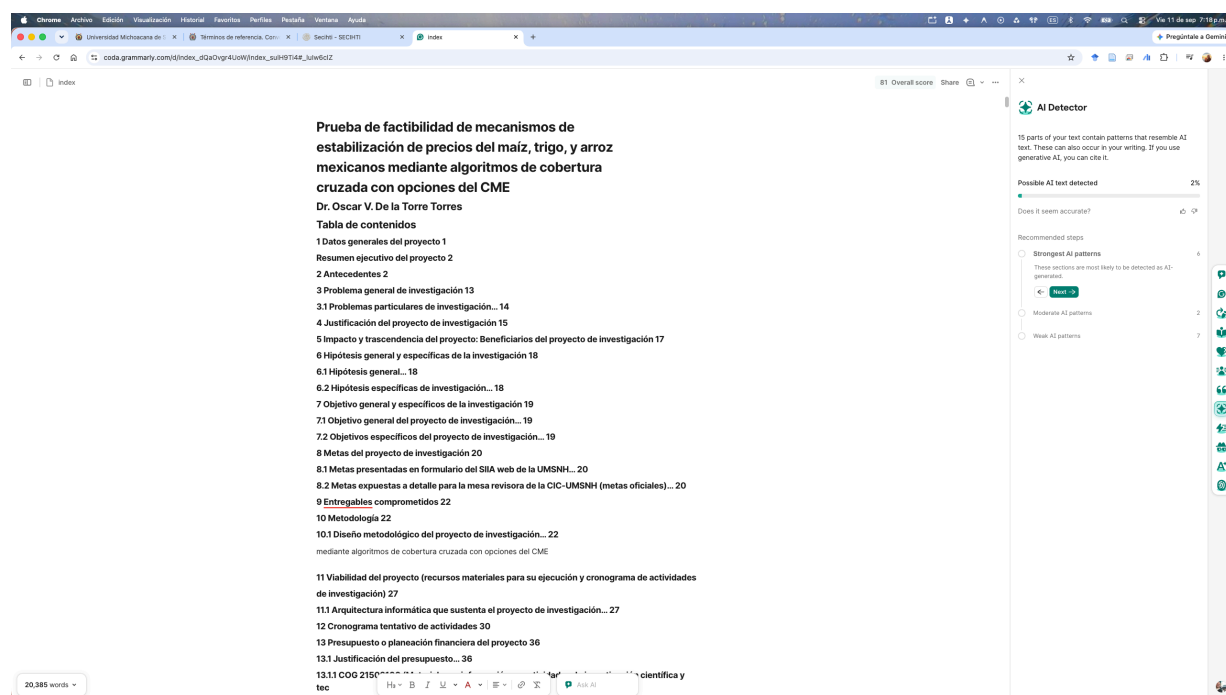


Figura 6: Resultado de herramienta de IA Grammarly

En relación con las cuestiones de originalidad de datos y ética, se menciona que el presente proyecto es original en su diseño y en los resultados que se obtengan, y que los datos duros de entrada provienen de fuentes públicas oficiales y privadas, cumpliendo cabalmente con lo estipulado en la normatividad vigente en materia de propiedad intelectual de los datos, datos abiertos, datos gubernamentales y datos personales.

El proyecto no realiza pruebas en seres humanos ni en animales, por lo que no existen consideraciones de orden bioético en este sentido.

15. Glosario de términos y definiciones empleadas en el proyecto

- **Base:** Diferencia entre el precio local (de contado o físico) de un producto agrícola en una región determinada y el precio del contrato de futuros de referencia en el mercado internacional.
- **Call (opción de compra):** Contrato financiero que otorga al comprador el derecho, mas no la obligación, de comprar un activo subyacente a un precio fijado con anterioridad (*strike*), protegiéndolo de incrementos futuros en los precios.
- **CBOT (Chicago Board of Trade):** Una de las bolsas de futuros y opciones de materias primas más representativas del mundo (actualmente parte de CME Group), donde se negocian contratos de referencia global para granos como el maíz y el trigo.
- **CME (Chicago Mercantile Exchange):** El principal mercado de derivados financieros y materias primas a nivel global (CME Group), donde cotizan contratos estandarizados de futuros y opciones agrícolas, divisas e índices.
- **Cobertura cruzada (cross-hedging):** Estrategia de gestión de riesgos en la que se protege el precio de un bien utilizando contratos de derivados sobre otro activo distinto pero estrechamente correlacionado (por ejemplo, cubrir el precio del maíz blanco mexicano mediante opciones de maíz amarillo del CME).

- **Razón de cobertura (*hedge ratio*):** Proporción de la posición que debe cubrirse con contratos de derivados para minimizar el riesgo de precio.
- **MS-GARCH (*Markov-Switching GARCH*):** Modelo estadístico y econométrico avanzado que permite modelar la volatilidad de los precios reconociendo que los mercados alternan entre diferentes regímenes o estados (por ejemplo, períodos de calma versus fases de alta volatilidad o crisis).
- **Opción:** Contrato derivado que confiere a su tenedor el derecho (no la obligación) de comprar o vender un bien a un precio preestablecido en o antes de una fecha futura determinada, a cambio del pago de una cuota inicial (*prima*).
- **Precio de garantía:** Mecanismo de política pública mediante el cual el Gobierno establece un precio mínimo asegurado de compra para las cosechas de pequeños y medianos productores, protegiendo su ingreso ante caídas severas en el mercado.
- **Prima:** Cuota o precio que paga el comprador de una opción para adquirir el derecho de protección que confiere el contrato, independientemente de si al vencimiento decide ejercerlo o no.
- **Put (opción de venta):** Contrato financiero que otorga al comprador el derecho, mas no la obligación, de vender un activo subyacente a un precio pactado (*strike*), funcionando como un “seguro” ante la caída de los precios de mercado.
- **Riesgo base:** Incertidumbre de que la relación entre el precio local de un grano físico y el precio del contrato de futuros utilizado como cobertura (la base) varíe de forma desfavorable a lo largo del tiempo.
- **Riesgo de ingreso:** Incertidumbre que enfrentan los productores agrícolas respecto a los ingresos totales que percibirán por su cosecha, originada por la combinación de fluctuaciones en los precios de venta y variaciones en el rendimiento físico del cultivo.
- **SNIIM (*Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados*):** Sistema oficial operado por la Secretaría de Economía de México que recaba y difunde diariamente los precios de mayoreo de productos agrícolas, pecuarios y pesqueros en las centrales de abasto del país.
- **Straddle:** Estrategia con opciones consistente en comprar simultáneamente una opción de compra (*call*) y una de venta (*put*) con el mismo precio de ejercicio y fecha de vencimiento, orientada a obtener beneficios cuando se anticipan movimientos extremos en el precio, sin importar la dirección que tomen.
- **Strike (precio de ejercicio):** Precio fijo convenido en el contrato de una opción al cual el comprador tiene derecho a adquirir (en un *call*) o vender (en un *put*) el activo subyacente.
- **Volatilidad histórica:** Medida estadística que cuantifica la magnitud real de las fluctuaciones o variaciones que experimentaron los precios de un activo en el pasado durante un período determinado.
- **Volatilidad implícita:** Expectativa o estimación que el mercado financiero tiene sobre la variabilidad futura del precio de un activo, deducida a partir de los precios actuales a los que cotizan sus opciones.

Bibliografía citada en esta propuesta de investigación

- Abokyi, F., E. (2018). Public buffer stocks as agricultural output price stabilization policy in Ghana. *Agriculture & Food Security*. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0221-1>
- Abokyi, S., E. (2020). The impact of output price support on smallholder farmers' income: evidence from maize farmers in Ghana. *Heliyon*. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05013>
- Alexander, C. (1999). Optimal Hedging Using Cointegration. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. <https://doi.org/10.1098/rsta.1999.0416>
- Anderson, & D., R. W. (1981). Cross Hedging. *Journal of Political Economy*. <https://doi.org/10.1086/261028>
- Appendini, K. (2014). La transformación de la agricultura tradicional y el rol de los pequeños productores en México. *Revista de la CEPAL*, 113, 71-85.
- Ardia, D. (2008). *Financial Risk Management with Bayesian Estimation of GARCH Models* (Vol. 612). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-78657-3>

- Ardia, D., Bluteau, K., Boudt, K., Catania, L., y Trottier, D. (2019). Markov–Switching GARCH Models in R: The MSGARCH Package. *Journal of statistical software*, 91(4), 1-39. <https://doi.org/10.18637/jss.v091.i04>
- Ardia, D., Bluteau, K., y Rüede, M. (2018). Regime changes in Bitcoin GARCH volatility dynamics. *Finance Research Letters*, 34, 733-747. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.08.009>
- Auditoría Superior de la Federación. (2001). *Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2000: Evaluación de Desempeño a ASERCA*. Cámara de Diputados. https://www.asf.gob.mx/Transparencia/informes_de_auditoria/2000
- Auditoría Superior de la Federación. (2004). *Informe de Auditoría al Programa de Apoyos a la Comercialización (S052 ASERCA) [Cuenta Pública 2003]*. Cámara de Diputados. https://www.asf.gob.mx/Transparencia/informes_de_auditoria/2003
- Auditoría Superior de la Federación. (2006). *Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2005: Auditoría al Programa S052 (ASERCA)*. Cámara de Diputados. https://www.asf.gob.mx/Transparencia/informes_de_auditoria/2005
- Auditoría Superior de la Federación. (2011). *Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2010: Evaluación 301-DE a ASERCA*. Cámara de Diputados. https://www.asf.gob.mx/Transparencia/informes_de_auditoria/2010
- Auditoría Superior de la Federación. (2012). *Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2011: Auditoría 0342 a ASERCA*. Cámara de Diputados. https://www.asf.gob.mx/Transparencia/informes_de_auditoria/2011
- Auditoría Superior de la Federación. (2014). *Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2013: Auditoría 2013-0-08100-07-0361 a ASERCA*. Cámara de Diputados. https://www.asf.gob.mx/Transparencia/informes_de_auditoria/2013
- Auditoría Superior de la Federación. (2015). *Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2014: Incentivos a la Comercialización (ASERCA) [Auditoría 2014-0-08100-07-0352]*. Cámara de Diputados. https://www.asf.gob.mx/Transparencia/informes_de_auditoria/2014
- Auditoría Superior de la Federación. (2017). *Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2016: Auditoría 2016-0-08100-07-0348 a ASERCA*. Cámara de Diputados. https://www.asf.gob.mx/Transparencia/informes_de_auditoria/2016
- Auditoría Superior de la Federación. (2019). *Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2018: Auditoría 2018-0-08100-07-0320 a ASERCA*. Cámara de Diputados. https://www.asf.gob.mx/Transparencia/informes_de_auditoria/2018
- Baillie, & M., R. T. (1991). Bivariate GARCH Estimation of the Optimal Commodity Futures Hedge. *Journal of Applied Econometrics*. <https://doi.org/10.1002/jae.3950060202>
- Bakshi, & K., G. (2003). Delta-Hedged Gains and the Negative Market Volatility Risk Premium. *Review of Financial Studies*. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhg002>
- Banco de México. (2026). *Sistema de Información Económica (SIE): Tipo de Cambio FIX (USD/MXN, Serie SF43718 / SF60653)*. Banco de México. <https://www.banxico.org.mx/SieInternet/>
- Banco de México (BANXICO). (2024). *Balanza Comercial Agropecuaria y Datos de Comercio Exterior*. Banco de México. <https://www.banxico.org.mx>
- Barrera Rendón, C., D. (2020). Managing Colombian farmers price risk exposure with electrical derivatives. *Helicon*. <https://doi.org/10.1016/j.helicon.2020.e05713>
- Benavides, & S., G. (2006). Futures for farmers: Hedging participation and the Mexican corn scheme. *The Journal of Development Studies*. <https://doi.org/10.1080/00220380600682330>
- Black, F. (1976). The pricing of commodity contracts. *Journal of Financial Economics*, 3(1-2), 167-179. [https://doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90024-6](https://doi.org/10.1016/0304-405X(76)90024-6)
- Black, F., y Scholes, M. (1973). The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654. <https://doi.org/10.1086/260062>
- Blake, & C., M. L. (1984). *Cross Hedging Hay Using Corn Futures: An Empirical Test*. <https://doi.org/10.22004/>

ag.econ.32366

- Bollen, & W., N. P. B. (2004). Does Net Buying Pressure Affect the Shape of Implied Volatility Functions? *The Journal of Finance*. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.2004.00647.x>
- Bollerslev, T., T. (2009). Expected Stock Returns and Variance Risk Premia. *Review of Financial Studies*. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhp008>
- Calva, J. L. (2007). La agricultura mexicana frente al TLCAN. *El Cotidiano*, 22(142), 33-42.
- Carr, & W., P. (2008). Variance Risk Premiums. *Review of Financial Studies*. <https://doi.org/10.1093/rfs/hhn038>
- Cecchetti, C., S. G. (1988). Estimation of the Optimal Futures Hedge. *The Review of Economics and Statistics*. <https://doi.org/10.2307/1935825>
- Chen, & T., X. (2021). Cross-Commodity Hedging for Illiquid Futures: Evidence from China's Base Metal Futures Market. *Global Finance Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.gfj.2021.100652>
- Chen, L., S.-S. (2003). Futures Hedge Ratios: A Review. *The Quarterly Review of Economics and Finance*. [https://doi.org/10.1016/s1062-9769\(02\)00191-6](https://doi.org/10.1016/s1062-9769(02)00191-6)
- Claessens, & D., S. (1994). *Managing Commodity Price Risk in Developing Countries*. <https://doi.org/10.1596/0-8018-4662-5>
- CME Group, y Chicago Board of Trade (CBOT). (2026a). *Chicago Soft Red Winter (SRW) Wheat Futures and Options Contract Specifications (ZW / OZW)*. CME Group. <https://www.cmegroup.com/markets/agriculture/grains/wheat.contractSpecs.html>
- CME Group, y Chicago Board of Trade (CBOT). (2026b). *Corn Futures and Options Contract Specifications and Daily Settlements (ZC / OZC)*. CME Group. <https://www.cmegroup.com/markets/agriculture/grains/corn.html>
- CME Group, y Chicago Board of Trade (CBOT). (2026c). *Corn Futures and Options Contract Specifications and Daily Settlements (ZC / OZC)*. CME Group. <https://www.cmegroup.com/markets/agriculture/grains/corn.contractSpecs.html>
- CME Group, y Chicago Board of Trade (CBOT). (2026d). *Rough Rice Futures and Options Contract Specifications (ZR / OZR)*. CME Group. <https://www.cmegroup.com/markets/agriculture/grains/rough-rice.contractSpecs.html>
- Coval, & S., J. D. (2001). Expected Option Returns. *The Journal of Finance*. <https://doi.org/10.1111/0022-1082.00352>
- Dahlgran, R. A. (2000). Cross-Hedging the Cottonseed Crush: A Case Study. *Agribusiness*. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1520-6297\(200021\)16:2%3C141::aid-agr2%3E3.3.co;2-6](https://doi.org/10.1002/(sici)1520-6297(200021)16:2%3C141::aid-agr2%3E3.3.co;2-6)
- De la Torre-Torres, Á.-G., O. V. (2025). Cross-Hedging Mexican Lemon Prices with US Agricultural Futures: Evidence from the Surplus Efficient Frontier. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture15242601>
- De la Torre-Torres, del R.-R., O. V. (2024). Non-Commodity Agricultural Price Hedging with Minimum Tracking Error Portfolios: The Case of Mexican Hass Avocado. *Agriculture*. <https://doi.org/10.3390/agriculture14101692>
- De la Torre-Torres, O. V., López-Torres, R. A., Río-Rama, M. de la C. del, y Álvarez-García, J. (2025). Mexican White Corn Spot Price Hedging with US Agricultural Futures Portfolios Using the Surplus Efficient Frontier. *Agriculture*, 15(17), 1862. <https://doi.org/10.3390/agriculture15171862>
- Diario Oficial de la Federación. (1996). *Acuerdo por el que se establecen los lineamientos del Programa de Coberturas de Precios Agrícolas de ASERCA*. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4892401&fecha=23/07/1996
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2019). *Decreto por el que se crea el organismo público descentralizado denominado Seguridad Alimentaria Mexicana (SEGALMEX)*. Secretaría de Gobernación. <https://www.dof.gob.mx>
- Echánove Huacuja, F. (2015). Subsidios gubernamentales para riesgos de precios: el caso de los productores de maíz amarillo en México. *Papeles de Geografía*. <https://doi.org/10.6018/geografia/2015/213861>
- Echánove Huacuja, F. (2017). Subsidies for Price Risk in Grains: The Case of Maize in Mexico. *Journal of Iberian and Latin American Research*. <https://doi.org/10.1080/13260219.2017.1309676>
- Echánove Huacuja, F. (2022). La nueva política agrícola en México y los pequeños productores de maíz de la

- Península de Yucatán (2019-2021). *Papeles de Geografía*. <https://doi.org/10.6018/geografia.476931>
- Ederington, L. H. (1979). The Hedging Performance of the New Futures Markets. *The Journal of Finance*. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1979.tb02077.x>
- Egelkraut, G., T. M. (2007). The Term Structure of Implied Forward Volatility: Recovery and Informational Content in the Corn Options Market. *American Journal of Agricultural Economics*. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8276.2007.00958.x>
- Engle, R. (2002). Dynamic Conditional Correlation: A Simple Class of Multivariate Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity Models. *Journal of Business & Economic Statistics*. <https://doi.org/10.1198/073500102288618487>
- Erasmus, & G., M. (2024). Comparative analysis of futures contract cross-hedging effectiveness for soybean: models and insights. *Agrekon*. <https://doi.org/10.1080/03031853.2024.2401787>
- European Parliamentary Research Service (EPRS). (2016). *New income stabilisation tools and price volatility in agricultural markets*. European Parliament. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/593484/EPRS_BRI\(2016\)593484_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2016/593484/EPRS_BRI(2016)593484_EN.pdf)
- FIRA. (2026). *Portal FIRA: Cosechando soberanía*. <https://www.fira.gob.mx:443/Nd/fondoCosechandoSoberania.jsp>
- Fortenbery, & Z., T. R. (1993). An Examination of Cointegration Relations Between Futures and Local Grain Markets. *Journal of Futures Markets*. <https://doi.org/10.1002/fut.3990130809>
- Franken, & P., J. (2011). Cross-Hedging Fishmeal: Exploring Corn and Soybean Meal Futures Contracts. *Aquaculture Economics & Management*. <https://doi.org/10.1080/13657305.2011.549166>
- García Hernández, V.-A., M. I. (2023). Corn price volatility and producer income protection. *Agro Productividad*. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i3.2392>
- Ghosh, A. (1993). Hedging with Stock Index Futures: Estimation and Forecasting with Error Correction Model. *Journal of Futures Markets*. <https://doi.org/10.1002/fut.3990130703>
- Gobierno de México. (2019). *Decreto de Creación de SEGALMEX*. <http://www.gob.mx/segalmex/documentos/decreto-de-creacion-de-segalmex>
- Gómez Oliver, L. (1994). *La política agrícola en el nuevo estilo de desarrollo latinoamericano*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/31336>
- Gouel, & J., C. (2013). Optimal Food Price Stabilization in a Small Open Developing Country. *The World Bank Economic Review*. <https://doi.org/10.1093/wber/lht018>
- Haarstad, L., A. H. (2022). Multi-Commodity Price Risk Hedging in the Atlantic Salmon Farming Industry. *Journal of Commodity Markets*. <https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2021.100182>
- Haas, M., Mittnik, S., y Paoletta, M. S. (2004). A new approach to Markov-Switching GARCH models. *Journal of financial Econometrics*, 2(4), 493-530.
- Hamilton, J. D. (1990). Analysis of time series subject to changes in regime. *Journal of Econometrics*, 45(1-2), 39-70. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(90\)90093-9](https://doi.org/10.1016/0304-4076(90)90093-9)
- Hamilton, J. D. (1994). *Time series analysis*. Princeton university press.
- Hansen, P. R. (2005). Granger's representation theorem: a closed-form expression for I(1) processes. *The Econometrics Journal*, 8(1), 23-38. <https://doi.org/10.1111/j.1368-423x.2005.00149.x>
- He, & B., X. (2025). The Announcement Volatility Risk Premium in Agricultural Markets: Evidence From USDA Report Releases. *Journal of Agricultural Economics*. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12647>
- He, B., X. (2023). The pricing of variance risks in agricultural futures markets: do jumps matter? *European Review of Agricultural Economics*. <https://doi.org/10.1093/erae/jbad026>
- Hewitt de Alcántara, C. (1978). *La modernización de la agricultura mexicana: 1940-1970*. Siglo XXI Editores.
- Isengildina-Massa, I., O. (2008). Impact of WASDE reports on implied volatility in corn and soybean markets. *Agribusiness*. <https://doi.org/10.1002/agr.20174>
- Jha, & S., S. (1999). Grain price stabilization in India: Evaluation of policy alternatives. *Agricultural Economics*. [https://doi.org/10.1016/s0169-5150\(99\)00017-1](https://doi.org/10.1016/s0169-5150(99)00017-1)

- Johnson, L. L. (1960). The Theory of Hedging and Speculation in Commodity Futures. *The Review of Economic Studies*. <https://doi.org/10.2307/2296076>
- Kenderdine, T. (2018). Insurance Plus Futures: Agricultural Commodity Price Reform in China. *Asia & the Pacific Policy Studies*. <https://doi.org/10.1002/app5.226>
- Kroner, & S., K. F. (1993). Time-Varying Distributions and Dynamic Hedging with Foreign Currency Futures. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*. <https://doi.org/10.2307/2331164>
- Lee, & Y., H.-T. (2007). A Bivariate Markov Regime Switching GARCH Approach to Estimate Time-Varying Minimum Variance Hedge Ratios. *Applied Economics*. <https://doi.org/10.1080/00036840500438970>
- Lien, & T., D. (2002). Some Recent Developments in Futures Hedging. *Journal of Economic Surveys*. <https://doi.org/10.1111/1467-6419.00172>
- López-Martín, L., B. (2019). Commodity price risk management and fiscal policy in a sovereign default model. *Journal of International Money and Finance*. <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2017.07.006>
- Mahul, & S., O. (2010). *Government Support to Agricultural Insurance: Challenges and Options for Developing Countries*. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8217-2>
- Mari, C., y Mari, E. (2023). Deep learning based regime-switching models of energy commodity prices. *Energy Systems*, 14(4), 913-934. <https://doi.org/10.1007/s12667-022-00515-6>
- Martínez-Cuero, J. (2021). El Programa de Precios de Garantía a Alimentos Básicos en México: Análisis, retos y perspectivas. *El Cotidiano*, 36(225), 45-58.
- McKenzie, T., A. M. (2007). How do you straddle hogs and pigs? Ask the Greeks! *Applied Financial Economics*. <https://doi.org/10.1080/09603100500428230>
- Muñoz Martínez, H. (2015). Hedging neoliberalism: derivatives as state policy in Mexico. *New Political Economy*. <https://doi.org/10.1080/13563467.2016.1113947>
- Myers, & T., R. J. (1989). Generalized Optimal Hedge Ratio Estimation. *American Journal of Agricultural Economics*. <https://doi.org/10.2307/1242663>
- Myers, R. J. (1991). Estimating Time-Varying Optimal Hedge Ratios on Futures Markets. *Journal of Futures Markets*. <https://doi.org/10.1002/fut.3990110105>
- Nakatsuma, T. (2000). Bayesian analysis of ARMA-GARCH models: A Markov chain sampling approach. *Journal of Econometrics*, 95(1), 57-69. [https://doi.org/10.1016/S0304-4076\(99\)00030-9](https://doi.org/10.1016/S0304-4076(99)00030-9)
- Newbery, & S., D. M. G. (1981). *The Theory of Commodity Price Stabilization: A Study in the Economics of Risk*.
- Ortiz Arango, & M. G., F. (2016). Transmisión de precios futuros de maíz del Chicago Board of Trade al mercado spot mexicano. *Contaduría y Administración*. <https://doi.org/10.1016/j.cya.2016.01.004>
- Ortiz Arango, & M. G., F. (2017). Transmission of future prices of corn of the Chicago Board of Trade to the Mexican spot market. *Contaduría y Administración*. <https://doi.org/10.1016/j.cya.2017.05.003>
- Paredes-García, O.-V., W. J. (2019). Price Forecasting and Span Commercialization Opportunities for Mexican Agricultural Products. *Agronomy*. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120826>
- Pennings, & M., J. M. E. (1997). The Hedging Performance in New Agricultural Futures Markets: A Note. *Agribusiness*. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1520-6297\(199705/06\)13:3%3C295::aid-agr4%3E3.0.co;2-w](https://doi.org/10.1002/(sici)1520-6297(199705/06)13:3%3C295::aid-agr4%3E3.0.co;2-w)
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). (1991). *Informe sobre Desarrollo Humano 1991: Financiación del desarrollo humano*. Tercer Mundo Editores / Oxford University Press. <https://hdr.undp.org/content/human-development-report-1991>
- Prokopczuk, S., M. (2017). Variance risk in commodity markets. *Journal of Banking & Finance*. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2017.05.003>
- Puyana, A., y Romero, J. (2008). *El sector agropecuario mexicano bajo el Tratado de Libre Comercio de América del Norte: La pobreza y la desigualdad se intensifican, crece la migración*. El Colegio de México.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2024). *Cierre Presupuestal e Informe de Gestión 2024: Apoyos a la Comercialización e Incentivos al Maíz*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sader/prensa/informe-de-gestion-y-cierre-presupuestal-2024>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2024). *Balanza de Oferta y Demanda Agroalimentaria de*

- Maíz Blanco*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/sader>
- Secretaría de Economía. (2026a). *Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAMI): Estadísticas de Comercio Exterior Agrícola a 8 Dígitos*. Gobierno de México. <http://www.economia-snci.gob.mx/>
- Secretaría de Economía. (2026b). *Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM): Precios al Mayoreo de Productos Agrícolas en Centrales de Abasto*. Gobierno de México. <http://www.economia-sniim.gob.mx/>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (1993). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 1992: Ramo 08 Agricultura y Desarrollo Rural*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP1992>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (1994). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 1993: Ramo 08 Agricultura y Desarrollo Rural*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP1993>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (1995). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 1994: Ramo 08 Agricultura y Desarrollo Rural*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP1994>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (1996). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 1995: Ramo 08 Agricultura y Desarrollo Rural*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP1995>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (1998). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 1997: Ramo 08 Agricultura*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP1997>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (1999). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 1998: Ramo 08 Agricultura*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP1998>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2000). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 1999: Ramo 08 SAGARPA*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP1999>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2002). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2001: Ramo 08 SAGARPA*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2001>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2003). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2002: Ramo 08 SAGARPA*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2002>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2005). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2004: Ramo 08 SAGARPA*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2004>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2007). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2006: Ramo 08 SAGARPA*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2006>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2008). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2007: Ramo 08 SAGARPA*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2007>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2009). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2008: Ramo 08 SAGARPA S052*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2008>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2010). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2009: Ramo 08 SAGARPA S052*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2009>

- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2013). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2012: Ramo 08 SAGARPA S052*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2012>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2016). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2015: Ramo 08 SAGARPA S052*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2015>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2018). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2017: Ramo 08 SAGARPA S052*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2017>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2020). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2019: Ramo 20 SEGALMEX*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2019>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2022). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2021: Ramo 08 SADER*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2021>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2023). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2022: Ramo 08 SADER*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2022>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2024). *Informe del Resultado de la Cuenta de la Hacienda Pública Federal 2023: Ramo 08 SADER*. Gobierno de México. <https://www.cuentapublica.hacienda.gob.mx/es/CPR/CP2023>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2025). *Presupuesto de Egresos de la Federación 2025: Ramo 08 Agricultura y Desarrollo Rural*. Transparencia Presupuestaria. <https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/PEF2025>
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2026). *Presupuesto de Egresos de la Federación 2026: Ramo 08 Agricultura y Desarrollo Rural*. Transparencia Presupuestaria. <https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/PEF2026>
- Seguridad Alimentaria Mexicana. (2021). *Informe Anual de Ejecución del Programa de Precios de Garantía a Productos Alimentarios Básicos 2020*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). <https://www.gob.mx/segalmex/acciones-y-programas/precios-de-garantia-a-productos-alimentarios-basicos>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). *Cierre de la producción agrícola: Maíz Blanco y Granos Básicos en México*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). <https://www.gob.mx/siap>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2026). *Cierre de la Producción Agrícola y Avances Mensuales de Siembras y Cosechas*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Stein, J. L. (1961). The Simultaneous Determination of Spot and Futures Prices. *The Economics of Futures Trading*. https://doi.org/10.1007/978-1-349-02693-7_7
- Torero, M. (2016). Alternative Mechanisms to Reduce Food Price Volatility and Price Spikes: Policy Responses at the Global Level. *Food Price Volatility and Its Implications for Food Security and Policy*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28201-5_6
- Triantafyllou, D., A. (2015). Volatility Forecasting and Time-varying Variance Risk Premiums in Grains Commodity Markets. *Journal of Agricultural Economics*. <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12101>
- United States Department of Agriculture - Foreign Agricultural Service (USDA-FAS). (2024). *Production, Supply and Distribution (PSD) Database: Grain and Feed Annual Mexico*. USDA. <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/>
- Villoria, &. L., N. B. (2002). *The Andean Price Band System: Effects on Prices, Protection and Producer Welfare*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.19751>
- White, H. (2000). A Reality Check for Data Snooping. *Econometrica*, 68(5), 1097-1126. <https://doi.org/10.1111/1468-0262.00152>

- World Trade Organization. (1993). *Agreement on agriculture*. https://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/14-ag_01_e.htm#articleVI
- World Trade Organization. (1994). *WTO | legal texts - Marrakesh agreement*. https://www.wto.org/english/docs_e/legal_e/14-ag_01_e.htm#articleVI
- Wright, B. D. (2012). International Grain Reserves and Other Instruments to Address Volatility in Grain Markets. *The World Bank Research Observer*. <https://doi.org/10.1093/wbro/lkr016>
- Xi, H., W. (2019). Variance risk premia for agricultural commodities. *Agricultural Finance Review*. <https://doi.org/10.1108/afr-07-2018-0056>
- Yoo, H. (2022). Does «green gold» breed bloody violence? The effect of export shocks on criminal violence in Mexico. *Social Science Quarterly*, 103(5), 1048-1060. <https://doi.org/10.1111/ssqu.13198>
- Yúnez-Naude, A. (2003). The Dismantling of CONASUPO, a Mexican State Trader in Agriculture. *The World Economy*, 26(1), 97-122. <https://doi.org/10.1111/1467-9701.00512>