

UNIVERSIDAD PANAMERICANA

Escuela de Gobierno y Economía
Posgrado

Fondos de Inversión contra Derivados *Over-The-Counter*:
Evidencia de México

Pablo Gerardo Velázquez Villa

Doctor en Economía y Regulación Energéticas

Director de la Tesis: Dr. Salvador Cruz Aké
Ciudad de México, México a 31 de julio de 2024

DEDICATORIA

A Dios, por ser siempre bueno.

A Paola, mi inspiración y compañera
en este viaje de vida.

A mi mamá, por estar siempre presente
y no rendirse.

A Fernanda y Emilia, quienes son el sol y la luna
de los Velázquez Villa.

A mis hermanas, con quienes compartiré
la mayor parte de años de mi vida.

A mis amigos, amigas y amigos,
que me han hecho crecer con sus consejos.

ÍNDICE

<u>INTRODUCCIÓN</u>	5
Capitulado.....	9
Definición del problema.....	5
Hipótesis	8
Impacto de la investigación.....	9
Objetivo general del estudio.....	8
Objetivos específicos del estudio.....	8
Pregunta de investigación.....	8
<u>CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE</u>	9
1.1. Tipos de instrumentos financieros.....	10
1.2. Casos de países con contratación de contratos de opciones	14
1.3 Fondos Soberanos de Inversión	16
1.4. Situación en México.....	20
1.5. Revisión de literatura	24
<u>CAPÍTULO 2. TEORÍA DE LAS DISTRIBUCIONES ALFA-ESTABLES, MOVIMIENTO GEOMÉTRICO BROWNIANO Y OPCIONES ASIÁTICAS</u>	
2.1. Estimación del costo de opciones	28
2.2. Distribución de Alfa-Estable	34
2.3. Parámetros de las definiciones de la distribución Alfa-Estable	38
2.4. La distribución Normal como distribución estable	40
2.5. Función característica de la distribución Alfa-Estable	41
2.6. Modelación de rendimientos logarítmicos bajo distribución Alfa-Estable	41
2.7. Movimiento Browniano.....	42
2.8. Opciones asiáticas	50
<u>CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS DATOS</u>	53
3.1. Parametrización de los rendimientos financieros de los precios Brent	53
3.2. Estimación del costo de opciones europeas y asiáticas, con supuestos de distribución Normal y distribución de Alfa-Estable en rendimientos bajo una tasa libre de riesgo	62
3.3. Resultados del costo de las opciones de compra bajo distribución Normal	68
3.4. Resultados del costo de las opciones de compra bajo distribución Alfa- Estable.....	74
3.5. Correlación entre los índices bursátiles del NASDAQ y SP-500 con los precios del crudo marcador	75
<u>CAPÍTULO 4. TRANSICIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN A UN FONDO SOBERANO DE INVERSIÓN</u>	78
4.1. Transición del recurso para inversión en índices bursátiles	78, 93
4.2. Síntesis de las distintas alternativas de transición	91

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES 100

ANEXOS 106

ANEXO A. CÓDIGO EN R PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE
LA DISTRIBUCIÓN ALFA-ESTABLE..... 106

BIBLIOGRAFÍA 107

INTRODUCCIÓN

Definición del problema

En las últimas dos décadas, el gobierno federal mexicano ha contratado instrumentos de transferencia de riesgos para asegurar la estabilidad de los ingresos petroleros del Gobierno Federal. Esta estrategia ha consistido en la compra de opciones de venta (*put options*) del tipo asiático, las cuales son ejecutadas por el Banco de México (Banxico) a través de una solicitud realizada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la Cámara de Diputados, 2017).

Asimismo, a partir de 2016, se ha recurrido al ahorro de un monto del Fondo de Estabilización de los Ingresos Presupuestarios (FEIP), cuyo recurso proviene del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo (FMPED), con el objetivo de cubrir las caídas en el precio de la Mezcla Mexicana de Exportación (MME), privilegiando el uso de las opciones de venta para desviaciones bruscas del precio estimado para el ejercicio fiscal.

La contratación de estos instrumentos financieros¹ se realiza con cargo a los recursos del fideicomiso constituido del FEIP (Diario Oficial de la Federación, 2015). La creación de este Fondo tiene como propósito principal el aminorar el efecto sobre las finanzas públicas y la economía nacional cuando ocurran disminuciones de los ingresos del Gobierno Federal con respecto a la Ley de Ingresos. Anualmente, se destina 2.2% de los ingresos petroleros presupuestados en la Ley de Ingresos de la Federación (LIF) al FEIP.

La medida ha sido implementada por distintas administraciones federales, tanto del espectro político identificado de izquierda como de derecha, y ha resultado una política que se asume como una buena práctica de manera interna, pues permite garantizar el gasto gubernamental ante una eventual caída en el precio del petróleo.

La medida es conocida comúnmente como un “*seguro de ingresos petroleros*” o “*cobertura petrolera*”, la cual puede ser ejercida en caso de que el precio de la MME caiga por debajo del precio pactado en la Ley de Ingresos de la Federación (LIF). Este seguro, en teoría, permite recuperar la diferencia entre el precio promedio que

¹ En este documento se utilizan los conceptos de coberturas petroleras, coberturas de ingresos petroleros e instrumentos financieros para la administración de riesgos de manera intercambiable.

se observó para dicho crudo durante un año en particular contra lo que se planteó en el año anterior.

La adquisición de estos instrumentos financieros no está mandatada en ninguna Ley ni Reglamento, por lo que queda a discreción de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público la adquisición (o no) de este tipo de coberturas. De acuerdo con estimaciones del Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP), en el periodo 2000-2019, el costo estimado acumulado para la contratación de estos instrumentos totalizó \$14,335 millones de dólares, mientras que el monto recuperado a través del ejercicio de estos ha sumado \$14,425 millones de dólares.² Cabe recalcar que este monto es estimado con base en reportes financieros de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, sin embargo, se tratan de cálculos aproximados por el CEFP.

Los análisis que se presentarán en el Capítulo 3 indican que el monto destinado para la contratación de estos instrumentos podría ser alrededor de \$21 mil millones de pesos para el mismo periodo. El recurso exacto destinado para estas coberturas, así como el retorno de estas es desconocido, dado el hermetismo que envuelve este tipo de coberturas con el fin de asegurar que no existan especulaciones externas a las que ya existen en el mercado de petróleo crudo.

México es el único país cuyo Gobierno Federal contrata este tipo de instrumentos financieros en, por lo menos, los últimos diez años. Otros países exportadores de petróleo, tales como Noruega, Arabia Saudita y Catar, recurren a la administración de Fondos Soberanos de Inversión (FSI), los cuales son administrados a través de entidades autónomas cuyo propósito es invertir el recurso proveniente de recursos no renovables en activos de mediano o largo plazo. Otros países cuentan con empresas petroleras de índole público que contratan este tipo de instrumentos en algunas ocasiones como estrategia de negocio, es decir, echan mano de este tipo de instrumentos financieros como mecanismo de inversión. Incluso, la Empresa Productiva del Estado Mexicano, Petróleos Mexicanos (Pemex) es una de dichas empresas, aunque su participación es variante y obedece a una estrategia de negocio de acuerdo con la administración de la Empresa, a diferencia de la contratación que hace el propio Gobierno Federal, el cual se realiza de manera anual durante los últimos 20 años.

El uso de coberturas petroleras es un tema que ha sido aplaudido en tiempos que existe una caída en el precio del petróleo, sin embargo, no se ha llevado a la fecha

² Año 2000 es el año base. No se tiene reportado la contratación de este tipo de instrumentos en el año 2002 y 2003.

una evaluación que revise si dicha medida es el mejor uso que se le podría haber otorgado a dicho recurso.

Dado que el monto destinado para la contratación de estas opciones de venta es un monto significativo (un promedio anual de \$1,315 millones de dólares, de acuerdo con nuestros análisis) que rebasa el presupuesto anual de algunas Secretarías, tales como la Secretaría de Cultura, la Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano, e incluso, la propia Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Este recurso bien podría ser destinado a otras tareas propias del Estado, tales como educación, seguridad o salud, el propósito de este análisis consiste en evaluar si el gasto ejercido en este tipo de opciones hubiera podido tener un mejor rendimiento financiero a través de otros instrumentos, tal como operan los Fondos Soberanos de Inversión de otros países.

Esto representaría un cambio de paradigma en el uso de este tipo de instrumentos financieros: mientras que actualmente se utiliza la contratación de este seguro para contar un flujo de efectivo durante la época de *vacas flacas* respecto al precio del petróleo, el nuevo esquema de un FSI implica una disciplina financiera con orientación a largo plazo, en el que se establezcan reglas de cuándo y cuánto recurso se podrá disponer del Fondo en caso de una caída en los ingresos, siempre y cuando no se comprometa el gasto invertido para las generaciones futuras del país.

Este documento pretende analizar la idoneidad a largo plazo de la contratación de estos instrumentos y evaluar un escenario contrafactual en que se transforme el FEIP en un Fondo Soberano de Inversión que invierta en índices bursátiles. Este análisis no considera la tentación política de utilizar los recursos generados a través de las inversiones y supone que se mantienen en la canasta de inversión durante el tiempo de estudio. Aunque este puede ser el principal inconveniente para los resultados de este análisis, es posible crear mecanismos para minimizar este riesgo y asegurar que dicho Fondo de Inversión cumpla con su objetivo de generar recursos para el largo plazo. En el último capítulo de este documento, se presentan ejemplos de cómo evitar el riesgo más importante que observamos para la transición a un FSI: el uso de recursos de manera discrecional para gasto corriente.

Finalmente, la posibilidad de ocurrencia de eventos que supongan el retiro de recursos de este Fondo de Inversión antes del plazo que aquí se propone no está dibujada en este análisis, el cual podría afectar los resultados de este estudio y bien podría ser materia para otro análisis. Sin embargo, el objetivo de este estudio, como se mencionó anteriormente, es estimar la idoneidad a largo plazo de estas

decisiones, entendiendo como idóneo aquel portafolio que genere mayores recursos en el largo plazo.

Objetivo general del estudio

Comparar el rendimiento observado de las coberturas petroleras con un escenario contrafactual de inversión en índices bursátiles.

Objetivos específicos del estudio

1. Estimar el costo de la contratación de las coberturas petroleras para cada año desde 2004, bajo la distribución Alfa-Estable y el Movimiento Geométrico Browniano,
2. Evaluar el rendimiento de la estrategia actual de cobertura petrolera bajo los costos estimados en nuestro modelo,
3. Comparar los resultados de las coberturas petroleras con un Fondo Soberano de Inversión en donde se destine dicho recurso a la inversión en acciones de índices bursátiles.
4. Presentar mecanismos regulatorios para la mitigación del riesgo que supone el retiro discrecional del rendimiento de los recursos, con el objetivo de no comprometer la viabilidad financiera del Fondo a largo plazo.

Pregunta de investigación

¿Las coberturas de ingresos petroleros hubieran sido el mecanismo con mejor rendimiento financiero en el periodo 2004-2019 en México?

Hipótesis

El recurso destinado para la contratación de coberturas petroleras en el periodo 2004-2019 por el Gobierno Federal Mexicano podría haber tenido un mejor rendimiento financiero en inversiones bursátiles.

Impacto de la investigación

Esta investigación espera contribuir a la discusión sobre la idoneidad de coberturas petroleras mediante el uso de productos derivados para minimizar las posibles pérdidas en la recaudación generados por una caída en los precios del petróleo, así como comparar sus rendimientos ante un Fondo de Inversiones.

Capitulado

Esta investigación está organizada de la siguiente manera: en el capítulo 1 se presenta el Estado del Arte. En el capítulo 2 se sintetiza la teoría de las distribuciones Alfa-Estable y el Movimiento Geométrico Browniano, así como su uso para el ajuste de los rendimientos de los precios de la Mezcla Mexicana de Exportación utilizados en distintos periodos de volatilidad. El capítulo 3 contiene el análisis de los rendimientos del uso de productos derivados en contraste con un Fondo de Inversiones, utilizando el lenguaje de programación R, bajo los parámetros estimados en el capítulo 2. El capítulo 4 desarrolla y evalúa una alternativa para la transición del modelo actual en México hacia el funcionamiento de un Fondo Soberano de Inversión, así como una propuesta de mecanismos regulatorios que se han implementado en otros países para asegurar el uso de los recursos en el largo plazo. Finalmente, en el capítulo 5 se incluyen las conclusiones y reflexiones finales de este análisis.

CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE

El petróleo crudo³ es considerado un producto básico (“*commodity*”) por contar con un uso extendido a nivel mundial y ser insumo fundamental para el desarrollo productivo de las naciones. Su disponibilidad no es uniforme en el mundo, por lo que los países cuya oferta excede la demanda interna proveen de este insumo a aquellos países que lo requieren y cuya demanda no puede ser satisfecha con la oferta nacional (Sánchez-Albavera y Vargas, 2015).

Al tratarse de un producto estratégico para el desarrollo productivo, las empresas y países han recurrido a instrumentos de transferencia de riesgo y contratos que permitan garantizar el consumo futuro de este producto a precios pactados *a priori*. Asimismo, algunos de ellos han desarrollado infraestructura para almacenamiento que aseguren el abastecimiento futuro. Al tratarse de un bien que es comercializado en el futuro, es objeto de movimientos financieros para ganar o preservar valor económico, por lo que también es sujeto de especulación.

Comúnmente, son las empresas petroleras quienes aseguran los ingresos por ventas y comercialización del petróleo crudo. Los objetivos de una estrategia de cobertura⁴ son regularmente tres: (a) Asegurar una fuente confiable de ingresos para el pago de deuda, (2) Presupuesto para fondar las actividades de perforación, (3) Planear actividades de exploración y oportunidades de crecimiento (Nossa et al., 2016). Como se puede observar, estos tres objetivos procuran proporcionar un flujo constante de efectivo que proporcione seguridad para inversiones futuras.

Existen distintos mecanismos de cobertura e instrumentos de transferencia de riesgo que pueden ser utilizados por parte de los participantes. A continuación, se presenta una síntesis breve de estas alternativas.

1.1. Tipos de instrumentos financieros

Los instrumentos disponibles para los agentes financieros se basan principalmente en esquemas de contratos predeterminados. El tipo de contratos puede incluir: contratos de venta o compra adelantada (conocidos como contratos *forward*), contratos futuros, contratos de opciones, y *swaps*. Este tipo de contratos se cotizan con base en el precio de un activo subyacente. Un activo subyacente puede ser

³ De aquí en adelante, se referirá como crudo al petróleo crudo

⁴ A lo largo del análisis, se utiliza el concepto *hedging* o *hedge*, el cual se refiere en inglés a la contratación de instrumentos de administración de riesgo.

cualquier tipo de activo, siempre y cuando exista un valor económico en el que ambas partes del contrato estén de acuerdo. Por ejemplo, un activo subyacente puede ser el oro, la plata, una moneda extranjera, un *commodity*, etcétera. (Chriss, N., 1997)

Aunque la operación de estos contratos cuenta con esquemas predeterminados, es posible crear modelos híbridos (*vainilla*) que combinen aspectos de estos distintos tipos de contratos. No existe una limitación para este ejercicio y depende principalmente del nivel de creatividad de los agentes.

A continuación, se presenta una síntesis sobre este tipo de contratos y sus características.

a) Contrato de compra o venta futura (adelantada)

El nombre de estos contratos en el idioma inglés es “*forward contracts*”. Este tipo de contratos es un acuerdo entre dos partes que obliga a una de las partes a comprar y a la otra a vender un activo a un precio preestablecido en una fecha futura. El plazo, el precio y el volumen de los activos de la transacción están reforzados legalmente.

Los contratos *forward* están hechos a la medida en cuando a las necesidades específicas de las partes: tipo de subyacente, tamaño del contrato, fecha de vencimiento y lugar y condiciones de entrega.

b) Contratos futuros

Al igual que los contratos *forward*, estos contratos obligan a una parte a vender y a la otra parte a comprar un activo subyacente a un precio preestablecido. Sin embargo, la diferencia con los contratos *forward* es que este tipo de contratos se liquidan de manera diaria y tienen características estandarizadas, esto es, no son moldeables por los participantes, además de que se negocian en mercados regulados.

c) Contratos de opciones

Los contratos de opciones son acuerdos que otorgan a una parte el **derecho** a comprar o vender un activo a un precio determinado, ya sea antes o en una fecha

determinada (dependiendo del tipo de opción). Los poseedores de estas opciones tienen la posibilidad de ejercer o no la opción, mientras que su contraparte sí está obligada a cumplir con su responsabilidad, ya sea comprar o vender el activo subyacente al precio pactado en la fecha establecida, si la opción es ejercida.

Hay dos tipos básicos de opciones, conocidos como *call* y *put*. Los contratos de opciones de compra (*call*) otorgan al titular del contrato el derecho, más no la obligación, de comprar algún bien como activo subyacente a un precio determinado, antes o en una fecha específica.

Los contratos de opciones de venta (*put*) otorgan al titular del contrato el derecho, más no la obligación, de vender algún bien como activo subyacente a un precio determinado, antes o en una fecha específica. En ambos casos, se debe pagar una prima, que corresponde al precio de la opción (Merrill, 2021). El pago de la prima le otorga el derecho a la compra o venta del activo subyacente al titular del contrato, mientras que obliga a la contraparte a vender o comprar, respectivamente, dicho activo.

Al momento de estimar el costo de un contrato de opciones, se toman en consideración las siguientes variables:

- Tasa libre de riesgo: Parámetro de la tasa de interés anual libre de riesgo. Se puede considerar el crecimiento esperado de una inversión sin correr ningún riesgo. A mayor tasa de libre de riesgo, mayor es el costo de la opción, considerando que el costo del dinero se incrementa el día de hoy.
- Volatilidad: Parámetro que evalúa las desviaciones de los rendimientos diarios sobre la media observada durante un periodo específico. A mayor volatilidad, el costo de las opciones se incrementa, dado que existe mayor incertidumbre en la definición del precio del subyacente.
- Precio actual del subyacente: Precio base del activo subyacente al día de hoy.
- Precio de ejercicio (*strike price*) del subyacente: Precio objetivo del subyacente de la opción. Entre mayor sea la diferencia entre el precio de ejercicio y el precio actual del subyacente, mayor será el costo de la opción dado que existe una mayor probabilidad que el precio de ejercicio sea distinto que el precio actual del subyacente.

- Tiempo para la expiración: El tiempo de duración del contrato de la opción, medido en años. Entre mayor sea el tiempo para la expiración del contrato, mayor será el costo de la opción derivado del incremento en la incertidumbre hacia el futuro.

Existen distintos tipos de opciones, entre las cuales destacan (Merrill, 2021):

- Opciones americanas: Son ejecutables **durante todo el periodo de cobertura** hasta la fecha de vencimiento. En una opción americana, se compara el precio de ejercicio del subyacente contra el precio observado en el tiempo pactado para la expiración. Dependiendo del tipo de la opción, el titular de dicho contrato decidirá si es conveniente o no ejercer la opción.
- Opciones europeas: Son ejecutables **solamente** en la fecha de vencimiento. De manera equivalente a las opciones americanas, en este tipo de opciones se compara el precio de ejercicio del subyacente contra el precio observado en el tiempo pactado para la expiración.
- Opciones asiáticas: Son ejecutables **en función del precio promedio del activo subyacente en cierto periodo**. En una opción asiática de compra, con precio de ejercicio constante, el pago en la fecha de vencimiento es la diferencia entre el precio promedio del activo durante la vida del contrato y el precio de ejercicio del subyacente.

Cabe señalar que los participantes de la compra y venta de opciones tienen su propia denominación. Para el participante que vende la opción, se entiende que adopta una posición corta (*short*), mientras que el participante que compra la opción se le denomina la posición larga (*long*). Tomando en cuenta estos escenarios, se pueden tener las siguientes posibilidades en las transacciones de opciones, las cuales cuentan con una denominación propia:

Tabla 1. Estrategias básicas de operación con Opciones

Posición del titular del contrato	Tipo de opción	Denominación	Expectativa del titular del contrato
Compra (<i>long</i>)	Derecho a comprar (<i>call</i>)	<i>Long call</i>	Precio alcista
Compra (<i>long</i>)	Derecho a vender (<i>put</i>)	<i>Long put</i>	Precio a la baja
Venta (<i>short</i>)	Derecho a comprar (<i>call</i>)	<i>Short call</i>	Precio a la baja
Venta (<i>short</i>)	Derecho a vender (<i>put</i>)	<i>Short put</i>	Precio alcista

Fuente: Elaboración propia con información de Venegas-Martínez (2008)

d) Swaps

Los swaps es un derivado bilateral *over-the-counter* (OTC) en el que dos partes acceden a intercambiar flujos de efectivo en una cantidad determinada por un periodo de tiempo. El intercambio de flujos de efectivo es acordado por ambas partes e incluye: temporalidad del acuerdo, frecuencia, y fechas para ejercer el intercambio.

Los tipos de swaps son variados e incluyen: *swaps* de tasas de interés, de tipo cambiario, y de incumplimiento crediticio (Rechtschaffen, A., 2019).

1.2. Casos de países con contratación de contratos de opciones

En las últimas décadas, países y/o sus compañías estatales productoras de hidrocarburos se han sumado como participantes en la compra y venta de contratos de opciones, tanto para asegurar ingresos como vendedor de crudo o para mantener el precio como comprador de crudo. La participación de estos nuevos jugadores conlleva un riesgo adicional, al tratarse de gobiernos o compañías con respaldo de recursos públicos.

La contratación de este tipo de instrumentos requiere de un nivel de conocimiento sobre los comportamientos del mercado y estimación de riesgos y beneficios, los cuales pueden no ser del conocimiento de actores políticos o servidores públicos. De esta manera, el echar mano de estos instrumentos sin sustento técnico, puede conllevar a riesgos políticos y pérdidas económicas que pudieron ser previstas.

Un ejemplo de los riesgos políticos que conlleva es el caso del gobierno ecuatoriano en 1993. El gobierno ecuatoriano se embarcó en la venta de contratos de opciones de venta y *swaps* en el año de 1993 (en síntesis, el gobierno acogió una posición de *short put*). La operación financiera aseguraba la posibilidad de vender el crudo a \$14.88 dólares por barril, a cambio de una prima de \$12 millones de dólares. No se cuenta con información respecto al volumen cubierto en esta operación.

Sin embargo, la operación fue incorrectamente diseñada y obligaba al gobierno ecuatoriano a pagar costos adicionales en caso de que el precio del barril resultara más alto. Por tanto, cuando el precio del barril alcanzó \$15.85 dólares por barril, el gobierno ecuatoriano se vio obligado a desembolsar \$6 millones de dólares

adicionales, haciendo la cobertura no sólo inútil sino muy costosa. En este caso, se creó un comité especializado en investigar supuestos actos de corrupción de servidores públicos durante la negociación y adquisición del instrumento de administración de riesgo. Al final, no se encontró evidencia que comprobara la supuesta corrupción, sin embargo, el daño económico al erario ecuatoriano estaba hecho (Blas, J., 2017).

De manera similar, en 2007 la paraestatal Ceylon Petroleum Corporation (CPC) del gobierno de Sri Lanka vendió un contrato de opción de venta (es decir, también adoptó una posición *short put*, igual que el gobierno ecuatoriano años atrás) que lo obligaba a comprar crudo a \$100 dólares por barril. Al desplomarse los precios del petróleo en la crisis financiera de 2008, el gobierno de Sri Lanka se declaró en bancarota y los funcionarios responsables fueron cesados de sus puestos (Finance Training, 2014).

Tabla 2. Países con contratos de opciones para crudo

Con opciones de venta	Con opciones de compra
Catar	China
Ecuador	Ghana
México	Indonesia
Sri Lanka	Panamá

Fuente: Elaboración propia con información de Mercatus Energy Advisors

Como se puede observar, la participación de países soberanos en la participación de instrumentos de riesgos como vendedores o compradores de *commodities*, ya sea a través de sus Ministerios de Finanzas y/o empresas paraestatales de producción de hidrocarburos, conllevan un riesgo adicional de escrutinio, dado que dichas contrataciones son fondeadas a través de impuestos y participaciones públicas.

La poca o nula experiencia de servidores públicos en la definición de términos de contratación en este tipo de instrumentos representa una barrera para la entrada de más países en estos esquemas, así como un peligro adicional a la hora de operar el instrumento como se desea. Esta falta de experiencia podría ser más frecuente que lo que se observa en una compañía privada, dados los cambios inherentes a la rotación de administraciones derivada de elecciones. Por tanto, es indispensable que las compañías que ejercen recursos públicos cuenten con un programa de

desarrollo profesional en donde se minimice el riesgo de que funcionarios con poca o nula experiencia en el tema sean los responsables de ejecutar dichas operaciones.

1.3. Fondos Soberanos de Inversión

Con el objetivo de proteger y distribuir los ingresos provenientes de recursos no renovables a generaciones futuras, algunos países productores de hidrocarburos y/o recursos no renovables han decidido administrar dichos recursos a través de Fondos Soberanos de Inversión (FSI). El objetivo principal de estos fondos es generar liquidez, seguridad financiera y tener rendimientos por encima de la tasa libre de riesgo. La mayoría de estos Fondos son administrados a través de entidades autónomas, con el fin de privilegiar el crecimiento financiero a largo plazo y evitar los vaivenes políticos de cambios de administración.

A febrero de 2022, se tienen registrados 139 Fondos Soberanos de Riqueza en el mundo, los cuales se encuentran distribuidos de la siguiente manera en el mundo (SWFI, 2022):

- 27 FSI en Medio Oriente,
- 26 FSI en Asia,
- 25 FSI en África,
- 20 FSI en Europa,
- 18 FSI en Norteamérica,
- 14 FSI en Latinoamérica, y
- 9 FSI en Australia y el Pacífico.

Los Fondos Soberanos de Inversión se pueden clasificar en cinco categorías, de acuerdo con Fondo Monetario Internacional (2008):

- (1) Estabilización,
- (2) Ahorros,
- (3) Corporaciones de activos de reservas,
- (4) desarrollo, y
- (5) reservas para pensiones

Estas clasificaciones no son mutuamente excluyentes y frecuentemente se traslapan.

A continuación, se presenta el listado de los 8 Fondos Soberanos de Inversión con mayores recursos económicos en el mundo, a septiembre de 2021, ordenados por año de inicio de operaciones.

Tabla 3. Fondos Soberanos de Inversión con mayores recursos en el mundo

País	Nombre del Fondo	Año de inicio de operaciones	Categoría del Fondo	Riqueza estimada (miles millones de dólares)
Hong Kong	Hong Kong Monetary Authority Investment Portfolio	1935	Reservas, Desarrollo	580.5
Kuwait	Kuwait Investment Authority	1953	Ahorro	692.9
Arabia Saudia	Public Investment Fund	1971	Desarrollo	430
Singapur	Temasek Holdings	1974	Desarrollo	484.4
Emiratos Árabes Unidos	Abu Dhabi Investment Authority	1976	Estabilización, Ahorro	649.2
Singapur	GIC Private Limited	1981	Reservas	545
Noruega	Pension Fund Global	1990	Estabilización, Ahorro y Pensiones	1,364.10
China	National Council for Social Security Fund	2000	Pensiones	447.4
Emiratos Árabes Unidos	Investment Corporation of Dubai	2006	Desarrollo	302.3

China	China Investment Corporation	2007	Desarrollo	1,222.30
-------	------------------------------	------	------------	----------

Fuente: Elaboración propia con información de SWFI (2022)

Como se puede observar, el Fondo Global de Pensiones del Gobierno Noruego es el fondo con mayores recursos a la fecha. Dicho fondo es fondeado por el flujo de caja neto del Estado procedente de la industria petrolera y sus recursos sólo pueden transferirse al presupuesto público a través de una aprobación del Parlamento. El Fondo es administrado por el Banco Central de Noruega (Norges Bank). A la fecha, su portafolio incluye compañías enlistadas en las Bolsas de Valores, así como en el sector inmobiliario de las principales ciudades del mundo. Asimismo, el gobierno noruego tiene la prerrogativa de solicitar recursos al Fondo, sin embargo, estos recursos no deben ser mayores que la tasa esperada de retorno del propio Fondo, la cual se ubica en 3% anual, desde 2017 (Norges Bank Investment Management, 2020).

La Autoridad de Inversión de Abu Dhabi (ADIA, por sus siglas en inglés) es una institución pública establecida por el Gobierno de Abu Dhabi en 1976 como un instituto de inversión independiente. Bajo la Constitución de los Emiratos Árabes Unidos (EAU), los recursos naturales son propiedad pública del Gobierno de Abu Dhabi. De esta manera, el gobierno provee a la ADIA los fondos para realizar las inversiones, con el fin de incrementar el patrimonio del Gobierno. La ADIA invierte los recursos en acciones de compañías enlistadas, bonos, coberturas financieras, y sector inmobiliario (ADIA, 2020). Se señala que el Gobierno de Abu Dhabi puede solicitar un monto de recursos para la economía nacional, aunque no se especifica si existe un límite.

La Autoridad de Inversión de Kuwait (KIA, por sus siglas en inglés) es la autoridad encargada de manejar las reservas del Estado y los Fondos encargados de manejar los excedentes generados por la producción de petróleo. La Autoridad está encabezada por el Ministro de Finanzas del Gobierno de Kuwait, además del Ministro de Energía, el Gobernador del Banco Central, y cinco expertos en la materia, de los cuales 3 no deben ostentar un puesto público. Desde 1976, el Fondo de Reserva para las Futuras Generaciones (FGF, por sus siglas en inglés) establece que a dicho Fondo deberá destinarse, al menos, 10% de los ingresos anuales del Estado. No se permite reducir este porcentaje ni retirar recursos acumulados del Fondo (Kuwait Investment Authority, 2020).

La Autoridad de Inversión de Catar (QIA, por sus siglas en inglés) es el Fondo Soberano de Inversión de Catar, fundado en 2005 para manejar los superávits

generados por la industria del petróleo y gas natural. La Autoridad invierte en acciones de compañías enlistadas y no enlistadas en Bolsas de Valores, sector inmobiliario, monedas extranjeras, *commodities* y metales preciosos. El objetivo del Fondo es crear valor a largo plazo de las reservas del estado catari, apoyar el desarrollo de la economía nacional y fomentar el talento local. No se especifica si el gobierno tiene la prerrogativa de retirar recursos para la operación gubernamental y/o si existe un límite a dicha disposición de recursos (Qatar Investment Authority, 2020).

El Gobierno de Rusia tiene constituidos dos Fondos denominados Fondo de Reserva (RF) y Fondo de Riqueza Nacional (NWF, por sus siglas en inglés). En resumen, los derechos e impuestos cobrados por la exploración y extracción de hidrocarburos en el país deben constituir 3.7% del Producto Interno Bruto proyectado en el año. En caso de que los ingresos por petróleo y gas superen este porcentaje, el excedente se canaliza al Fondo de Reserva. A su vez, el Fondo de Reserva tiene como límite el 10% del PIB proyectado en el año. En caso de que el monto acumulado en el Fondo de Reserva exceda este porcentaje, el excedente será transferido al Fondo de Riqueza Nacional. Los activos del Fondo de Riqueza Nacional sólo pueden ser ejercidos para cofinanciar los ahorros previsionales voluntarios de ciudadanos rusos, así como equilibrar el presupuesto del Fondo de Pensiones de la Federación Rusa (Ministry of Finance of the Russian Federation, 2020).

Para el caso mexicano, a partir del año 2000, el gobierno incorporó esta figura a su administración pública federal bajo el nombre de Fondo de Estabilización de Ingresos Petroleros (FEIP). En ese entonces, el objetivo del Fondo era compensar los movimientos a la baja en el precio de la Mezcla Mexicana de Exportación. En el año 2013, este Fondo cambió su nombre, estructura y objetivos para dar paso al Fondo de Estabilización de los Ingresos Presupuestarios, cuyo propósito es aminorar el efecto sobre las finanzas públicas y la economía nacional cuando ocurran disminuciones de los ingresos del Gobierno Federal en general, no solamente derivados por la caída del precio del petróleo (Diario Oficial de la Federación, 2015).

El fondeo del FEIP se realiza con cargo al Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo (FMPED), el cual, cuenta con tres objetivos en su visión (FMPED, 2022):

1. Cobrar los recursos de asignatarios y contratistas que exploran y explotan hidrocarburos en el país, con el objetivo de transferir dicho recurso al Estado,

2. Calcular y recaudar los montos comprometidos en las asignaciones y en los contratos petroleros,
3. Administrar una reserva de largo plazo para las generaciones futuras

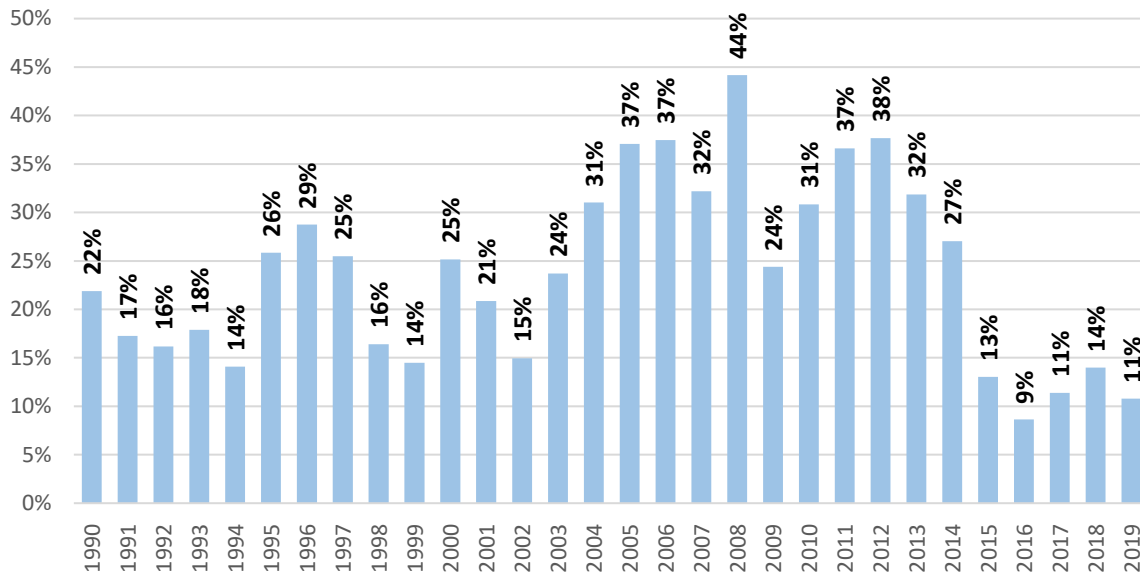
Desde su conformación, el FEIP se ha allegado de recursos a través del ahorro y la contratación de coberturas e instrumentos de transferencias de riesgo. A partir de 2016, se creó una subcuenta para la administración de recursos que permitieran compensar específicamente la caída de ingresos por ligeras disminuciones en el precio del petróleo.

De manera operativa, lo que se hace es establecer un precio de ejercicio (*strike price*) por debajo del precio señalado en la Ley de Ingresos de la Federación, lo cual redundaría en un menor costo de la cobertura de ingresos petroleros. No existe una regla o cálculo específico para la estimación de la brecha entre ambas cantidades, lo que redundaría en una decisión discrecional de los funcionarios de la administración en turno.

1.4. Situación en México

Actualmente, los ingresos petroleros en México representan alrededor de 18% de los ingresos presupuestarios del país. Este porcentaje se situó alrededor de 20 y 30 por ciento en la década de 1990, y llegó a representar 44.3% de los ingresos presupuestarios en 2008. A partir de ese año, esta proporción ha venido disminuyendo hasta llegar a 11% en el año 2019 (Secretaría de Hacienda y Crédito Público, 2020). Las variaciones de esta proporción están en función del precio de la MME, la producción anual de hidrocarburos y la recaudación de ingresos no petroleros.

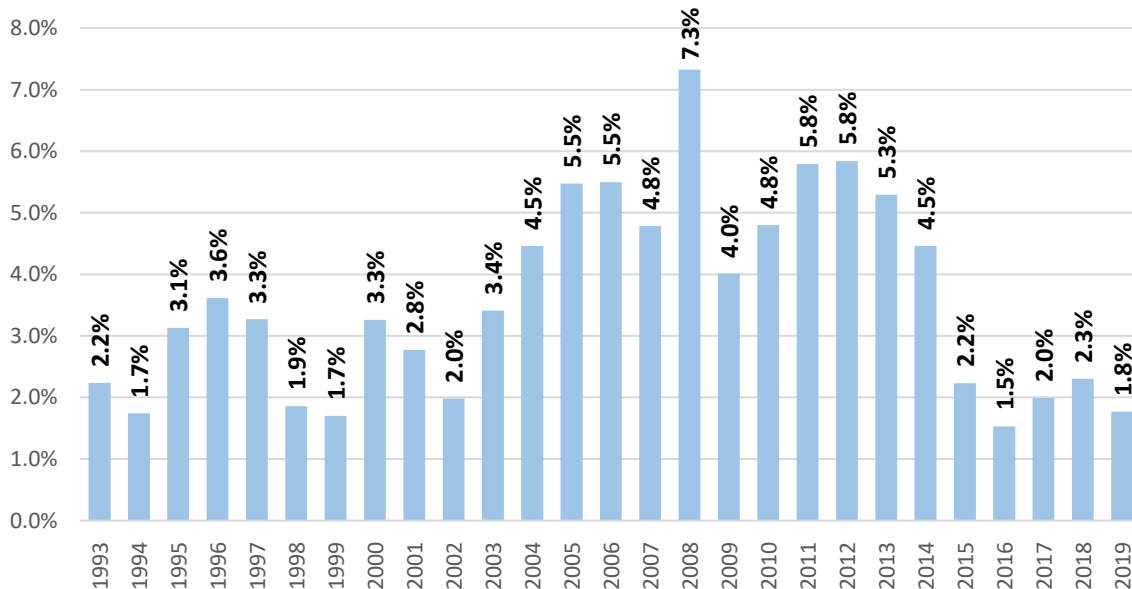
Gráfica 1. Proporción de ingresos petroleros sobre ingresos presupuestarios



Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2020)

Al comparar estos ingresos contra el Producto Interno Bruto (PIB), en la siguiente gráfica se puede observar que van en línea con la proporción de los ingresos presupuestarios. De esta manera, se tiene que los ingresos petroleros también han perdido relevancia sobre este indicador, al alcanzar sólo 1.8% en año 2019, después de representar 7.3% en el año 2008.

Gráfica 2. Proporción de ingresos petroleros sobre Producto Interno Bruto



Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2020) e INEGI (2020)

Los ingresos petroleros se componen del cobro de los derechos por la exploración y extracción de hidrocarburos en México que se cobran a asignatarios; mientras tanto, para el caso de los contratos generados en las Rondas Petroleras, los ingresos petroleros se componen de las contraprestaciones establecidas en los contratos para la exploración y extracción de hidrocarburos con empresas productivas del estado o con particulares; y el Impuesto Sobre la Renta (ISR) que se genere de ambos. La expectativa de estos ingresos se presenta en la Ley de Ingresos de la Federación (LIF) de cada año. La recaudación de estos ingresos, con excepción del ISR, la realiza el FMPED, quien, a su vez, está obligado a transferir dichos recursos conforme lo mandata su Ley.

Debido a que los derechos y contraprestaciones para el Gobierno están principalmente en función por el precio de la Mezcla Mexicana de Exportación (MME), las administraciones federales en México desde el año 1990 han implementado esquemas financieros para asegurar que se alcance la recaudación plasmada en la LIF para ingresos petroleros.⁵

Desde el año 2004, la estrategia de administración de riesgo del Gobierno Federal de México ha consistido en la adquisición de contratos de opciones de derecho a venta (*put option*) de tipo asiático. Como se detalló en la sección 1.1, dos de las variables clave para determinar el costo de dichas opciones corresponden al Precio actual y el Precio de ejercicio del subyacente. Esto ha supuesto un reto para la definición del precio de ejercicio del subyacente, dado que la Ley de Ingresos de la Federación se estima con base en el precio de la Mezcla Mexicana de Exportación (MME), por lo cual, en teoría, debería utilizarse dicho precio como activo subyacente. Sin embargo, la MME resulta un derivado menos líquido y transparente que otros crudos marcadores, tales como el *West Texas Intermediate (WTI)* o el *Brent* (Duclaud y García, 2012), por lo que no se tiene la volatilidad diaria de este activo.

A pesar de la correlación que existe entre la MME y los crudos marcadores antes mencionados, para la consideración del precio de ejercicio se ha utilizado el precio de la MME en los contratos de opciones por las siguientes razones relacionadas al crudo marcador WTI:

⁵ M. Messmacher, Subsecretario de Ingresos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público del Gobierno de México en la Administración 2013-2018. Comunicación personal, 25 de mayo de 2020

- a. El precio de dicho crudo marcador está sujeto al centro de distribución ubicado en Cushing, Oklahoma, Estados Unidos, el cual tiene una capacidad de almacenamiento limitada y, por tanto, vuelve más susceptible el precio del WTI a las variaciones de inventario. En este caso, el impacto de fenómenos ajenos a la industria petrolera, como lo son huracanes y/o heladas, terminan afectando la disponibilidad del inventario sin que exista realmente un problema de producción.
- b. La liquidez de los contratos futuros del WTI ha desencadenado una alta participación de inversionistas de corto plazo en el mercado, atrayendo a mayores participantes con el propósito de especulación. La entrada de este tipo de participantes incrementa la volatilidad del precio, sin estar sujetas dichas variaciones a los fundamentales del mercado.
- c. Estas fluctuaciones en cortos periodos de tiempo provocan que la cobertura sobre este activo no sea del todo confiable, a pesar de la alta correlación que tiene con el precio de la MME.

Desde el punto de vista normativo, con base en el Acuerdo Presidencial publicado el 18 de mayo de 2012 en el Diario Oficial de la Federación, la Secretaría de Hacienda y Crédito Público es la encargada de la fijación del mecanismo de precio de PMI Comercio Internacional para llevar a cabo la venta de petróleo crudo en el exterior, es decir, la determinación del precio de la MME.

Como se señaló anteriormente, las fórmulas para la determinación del precio de la MME dependen del destino de venta de dicho crudo. En general, las fórmulas están fuertemente influenciadas por los precios de los crudos marcadores WTI y el Brent, más una variable denominada factor-K, el cual representa un factor de ajuste expresado en dólares por barril que será determinado por el vendedor, con base en las condiciones internacionales de mercado de petróleo crudo (P.M.I. Comercio Internacional, 2018).

La contratación de este tipo de derivados conlleva tres riesgos para el Gobierno Federal en su búsqueda de minimizar los periodos bajistas en el precio de la MME:

- a. La definición del precio de la MME recae en una subsidiaria de Petróleos Mexicanos (Pemex), la cual es una Empresa Productiva del Estado que cuenta con estimaciones propias del precio, por lo que dicha subsidiaria puede no tener una correlación justa con lo que el mercado está previendo. Aunque la SHCP puede determinar en la LIF un precio por debajo o por

encima de lo que especifique Pemex, esta discusión puede ser ociosa al tratarse de dos dependencias del Gobierno de México.

- b. La estrategia de comercialización de Pemex, en específico, el volumen destinado a la exportación. Dado que las opciones de compra adquiridas por el Gobierno de México cubren una parcialidad o la totalidad del volumen de crudo a exportar, esta estrategia podría resultar innecesaria si Pemex decide dejar de vender al exterior el crudo que produce. En este sentido, el Gobierno de México o el propio Pemex puede determinar una disminución o la completa eliminación del volumen a exportar de la MME. Esta insinuación ha sido señalada en el año 2021 por el Director General de Pemex, con la aprobación explícita de la Presidencia de la República (Reforma, 2021). En caso de que esto suceda, supondría una pausa en la contratación de las opciones de venta.
- c. Las capacidades técnicas del Banco de México (Banxico) y la coordinación estrecha entre este Banco Central y la SHCP. Una vez definido el volumen de exportación y el precio de ejercicio de la opción por parte de la SHCP y Pemex, es primordial que se comunique en tiempo la decisión de contratar o no las opciones de compra al Banxico. El retraso o mala comunicación entre dichas dependencias conlleva el riesgo de una contratación con parámetros inadecuados de la opción de venta.

Como se puede observar, la coordinación interinstitucional a lo largo de la cadena de decisión es crítica para la contratación oportuna y eficaz de estas opciones de compra. El retraso o definiciones incorrectas en cualquier paso de este proceso pone en riesgo la operación del siguiente año o un aumento desproporcionado en el costo de las opciones, lo cual mina la rentabilidad de dichos contratos.

1.5. Revisión de literatura

El análisis de la literatura en México se ha centrado respecto al uso de la contratación de las opciones *put* en México, así como de la maximización de los recursos no renovables, específicamente los hidrocarburos. A continuación, se presentan una breve síntesis de análisis de distintos autores que buscan dar recomendaciones sobre ambos puntos.

Castañeda, A. y Villagómez, F.A. (2008) realizan un análisis que contempla un consumidor representativo de la sociedad que consume un bien del gobierno, y en

donde el objetivo del gobierno es el maximizar el bienestar de este individuo. El objetivo del análisis es encontrar los perfiles óptimos de consumo de bienes públicos dadas las perspectivas de ingresos fiscales petroleros. Los autores utilizan cuatro modelos (un modelo no estocástico, dos modelos estocásticos y uno de ajuste por riesgo) que tienen como objetivo incrementar el bienestar de la sociedad, cuya función de utilidad es del tipo cuadrático. Para modelar la estrategia de inversión de los ingresos petroleros, se emplean las ecuaciones recursivas de Bellman y la ecuación Hamilton-Jacobi-Bellman. Como conclusión, los autores indican que la sociedad mexicana estaría dispuesta a pagar hasta 0.8% del Producto Interno Bruto con el fin de minimizar las fluctuaciones en los ingresos petroleros del futuro.

Sierra-Juárez, G. y Méndez García, D. (2017) presentan la aplicación, solución y análisis comparativo de un modelo teórico utilizando la técnica Hamilton-Jacobi-Bellman para el caso de un fondo de México y donde considera las características propias del mismo Fondo Mexicano del Petróleo (FMPED). En este análisis, se propone un modelo de portafolio óptimo para la administración de las rentas petroleras de México, entendiéndolas como la dotación que recibe el FMPED. Se incluyen cinco activos en la cartera: el activo (que representa el crudo), las opciones *put* sobre el subyacente crudo, las acciones, opciones *call* sobre las acciones y bonos libres de riesgo. Se toman en cuenta las erogaciones realizadas por el FMPED para cubrir el Presupuesto de Egresos de la Federación y las transferencias a otros fondos. Este análisis contempla el uso de opciones y concluye que el portafolio se mantiene protegido mediante el uso de éstas, así como la posibilidad de generar ganancias. El resultado es una cobertura ante los riesgos en las variaciones en los precios con la posibilidad de generar beneficios significativos.

Sobre la eficiencia de las coberturas petroleras en México, López Sarabia y Venegas Martínez (2010) simulan la ganancia o pérdida que se tendría al garantizar un precio de \$70 USD por barril de crudo. Asimismo, se utiliza un modelo GARCH (1,1) para estimar la volatilidad del precio del crudo para simular *mark to market*. Los autores indican que al considerar la cotización del mes de diciembre de 2008 y la volatilidad registrada de un mes anterior, se observa que la compra de la opción *put* genera utilidades para Pemex. Este análisis se realizó en medio de la crisis financiera de 2008 y considera las condiciones de cobertura petrolera contratadas por el gobierno mexicano para ese año. Por tanto, este análisis no contempla la incorporación de la subcuenta del FEIP creada para mitigar la caída en los precios del crudo ni evalúa los rendimientos a través de los años.

Respecto a las ventajas sobre los fondos de deuda soberana y el ingreso esperado del país, Ma y Valencia (2018) indican que la economía mexicana se beneficia a través de dos mecanismos de la contratación de opciones de venta. El primer

mecanismo se refiere al cambio en los incentivos en caer en riesgo de no-pago, dado que la contratación de estas opciones de venta induce a una reducción en los riesgos a la baja respecto al ingreso. El segundo mecanismo sugiere que las fluctuaciones en los ingresos se suavizan al contar con la cobertura de ingresos petroleros, lo que incrementa el bienestar para los agentes adversos al riesgo. Para este ejercicio, los autores modelan los beneficios y costos de una economía con y sin las opciones de venta en dos periodos de tiempo, concluyendo que la presencia de una cobertura puede ser equivalente al incremento permanente del consumo en 0.44 por ciento.

Como se puede observar, los tres últimos análisis coinciden, aunque de manera distinta, en que la contratación de opciones *put* para minimizar el riesgo de volatilidad de los ingresos petroleros para el país es una decisión positiva, con beneficios tangibles para la Nación. Es importante destacar los beneficios que sugieren, en particular, Ma y Valencia al destacar dos potenciales beneficios de la contratación de este tipo de contratos: (i) disminución en la probabilidad de no pago de la deuda soberana, así como (ii) suavizar los movimientos bruscos del precio y, por consiguiente, de los propios ingresos. Aunque ambos beneficios son comprobables y positivos de acuerdo con los resultados de los autores, en dicho estudio no se discute si la contratación de este tipo de opciones representa la única alternativa para obtenerlos.

Como se verá en este análisis, la contratación de este tipo de instrumentos puede ser una de las alternativas de inversión de un Fondo Soberano, más no la única estrategia de cobertura que ejerza el Gobierno de México con el fin de lograr ambos objetivos. En ese sentido, y como se verá más adelante, las conclusiones de Sierra-Juárez y Mendez García (2017) son más cercanas al análisis que se propone en este texto.

CAPÍTULO 2. TEORÍA DE LAS DISTRIBUCIONES ALFA-ESTABLE, MOVIMIENTO GEOMÉTRICO BROWNIANO Y OPCIONES ASIÁTICAS

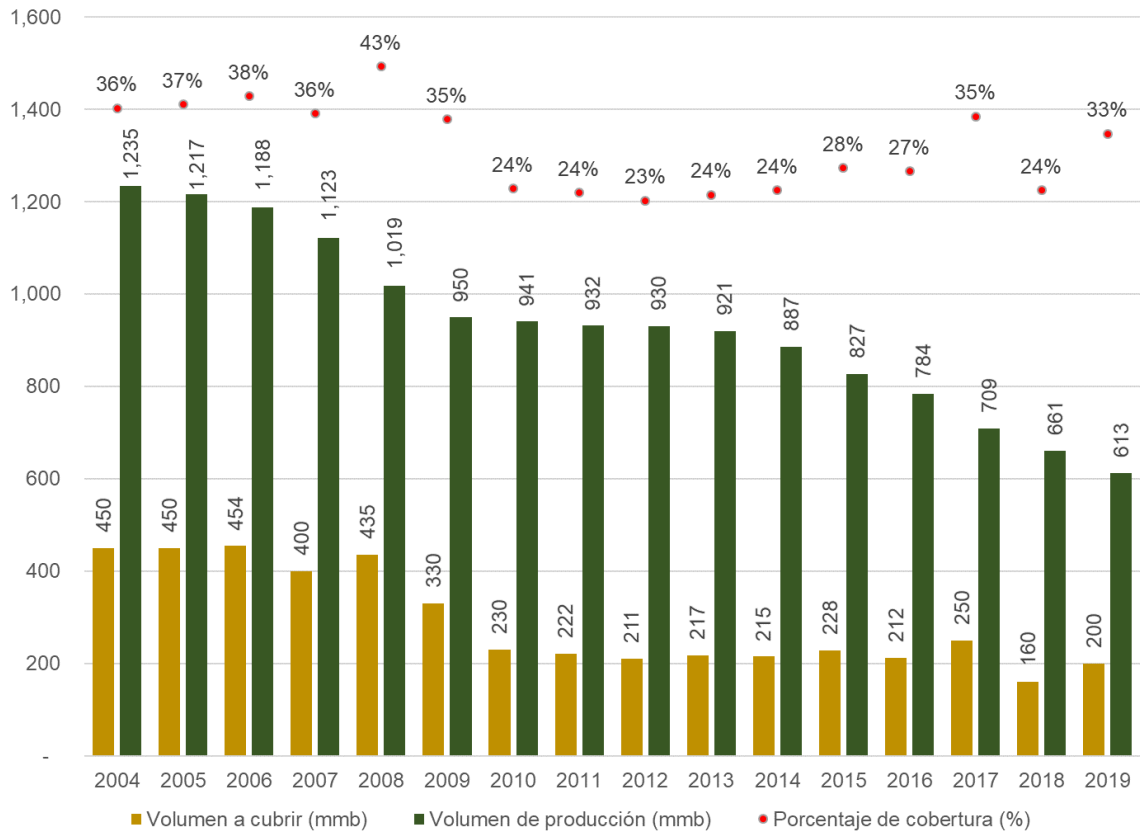
La falta de información pública respecto a las especificaciones técnicas de los contratos de adquisición de opciones de venta no permite deducir cuál fue el costo unitario por barril efectivamente ejercido en cada uno de los años en que se han contratado dichas opciones.

Sumado a ello, la decisión de cubrir o no cubrir el volumen de la Mezcla Mexicana de Exportación corresponde a una decisión más política que técnica, dado que el recurso que se destina a la adquisición de opciones bien podría usarse para satisfacer otras necesidades públicas, tales como educación, salud, o infraestructura pública.

Es por ello, que la disposición de contratar o no este tipo de opciones como estrategias de cobertura varía de año con año, como se puede observar en la gráfica 3. En esta gráfica, se puede observar el volumen de producción observado para cada año, así como el volumen que fue protegido por la cobertura petrolera; como se puede apreciar ni el volumen cubierto ni la proporción de este con respecto a la producción nacional es constante, pues ha variado entre el 24% y 43% de la producción nacional.

Considerando que el volumen de producción varía año con año y que el precio por la cobertura está en función en distintas variables, el primer punto de partida de este análisis consistió en estimar el precio unitario para cubrir el volumen de exportación deseado año con año.

Gráfica 3. Volumen de petróleo crudo cubierto por las opciones de venta con respecto al volumen producido en México en el periodo 2004-2019



Fuente: Elaboración propia con datos del Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (2020) y Comisión Nacional de Hidrocarburos (2022)

2.1. Estimación del costo de opciones

El costo de las opciones de compra adquiridas por el Gobierno de México resulta el dato más relevante pero menos conocido para la evaluación de este recurso. El Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (CEFP) del Senado de la República ha buscado estimar estos costos con base en los gastos reportados de manera anual por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, sin embargo, dichos montos no permiten capturar el alza o baja del costo de la cobertura, ni estimar el impacto que tuvo el volumen cubierto ni la volatilidad observada. Como tal, el primer propósito de este análisis consiste en proveer una estimación confiable del costo

por barril para las opciones de compra que se utilizaron en cada uno de los años en que se ha contratado. Como tal, esta sería la primera contribución del ejercicio a la literatura existente.

El Gobierno de México ha contratado las opciones de venta de tipo asiático, lo cual le ha permitido contrastar el monto promedio del precio de la MME durante un año contra el precio de ejercicio que se determinó al inicio de año, el cual, generalmente, resulta ser el precio por barril planteado por la SHCP en la Ley de Ingresos de la Federación (LIF). Para esta estimación, se utilizó el precio de ejercicio como el precio promedio establecido para la MME en la LIF derivado que se trata de un valor público y contra el cual se puede estimar el costo de la opción. Una de las limitaciones de este ejercicio es el hecho de que el precio de ejercicio puede variar de este valor, sin embargo, representa el monto más adecuado para estos cálculos.

La estimación del costo de este tipo de contratos depende, como se señaló en la sección 1.1 de este análisis, en cinco componentes, de los cuales, dos de ellos se pueden considerar inamovibles: el precio actual del activo subyacente (es observado y no manipulable por ninguna de las partes) y el tiempo para el vencimiento del contrato (aunque, en teoría se puede extender o acortar, el Gobierno ha decidido contratar por año calendario este tipo de contratos).

Las otras tres variables consideradas en el modelo son parámetros en los cuales la SHCP, el Banxico, y los bancos interesados en ofertar el contrato de opción pueden llegar a distintos acuerdos. A continuación, se presenta estas variables y su rango de modificación para el análisis.

- Tasa libre de riesgo: La tasa libre de riesgo puede variar de acuerdo con el contexto y lo que se espera de rendimiento en un ambiente de certidumbre. En este caso, se ha decidido la tasa con base en los *US Treasury Bonds*, conocidos también como *t-bills*, al tratarse de montos denominados en dólares americanos. Otro punto importante que es discutible es el periodo de observación de la tasa libre de riesgo: ¿se toma un promedio de los últimos meses o el de los últimos días?, ¿se considera la tasa libre vigente al momento del contrato?
- Volatilidad observada: El periodo considerado por las partes para determinar el nivel de volatilidad que se reflejara en el contrato es crucial. Entre mayor número de periodos considerados es probable que se cuente con un mayor nivel de volatilidad, al tener un número más alto de observaciones. De ser el caso, esto incrementaría el costo de la opción. Asimismo, es importante determinar qué tan cercano se tomarán las observaciones a la fecha de firma

de la opción. Entre más cercano sea, es probable que refleje mejor la volatilidad esperable durante la duración del contrato, sin embargo, de manera práctica es complicado considerar el periodo más cercano y se deberá establecer un periodo no tan lejano.

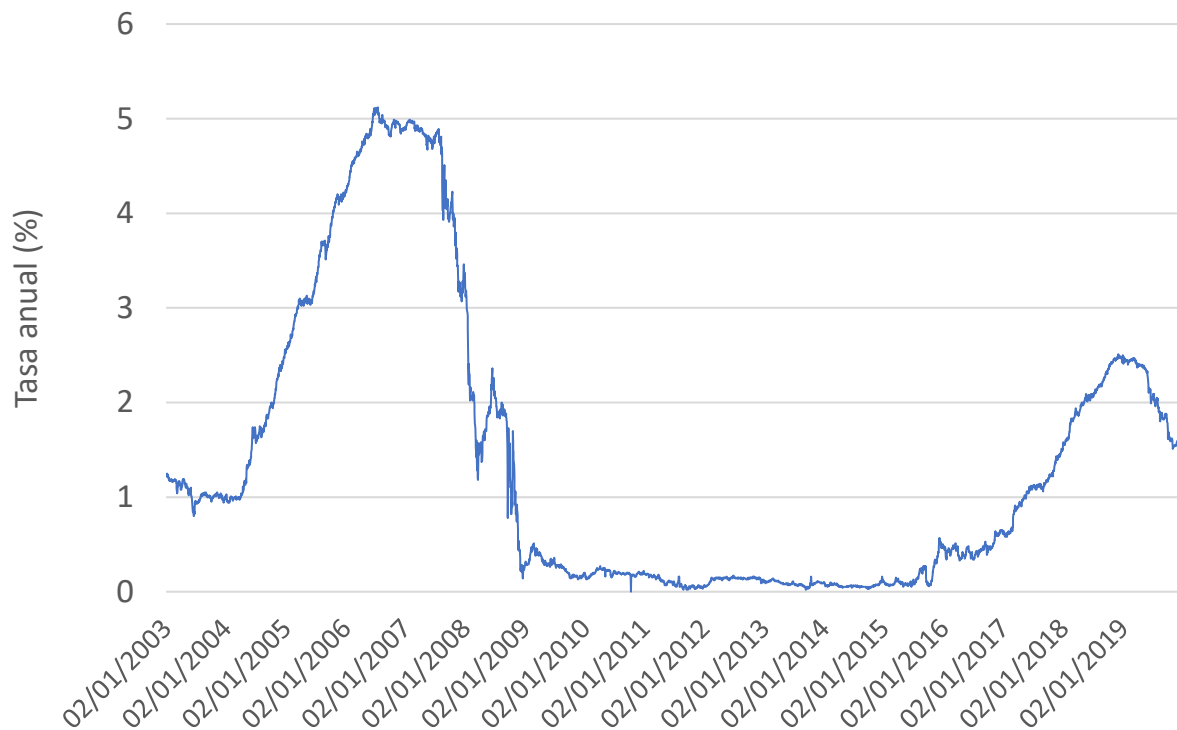
- Precio de ejercicio de la opción: Originalmente propuesto por la SHCP y, en teoría, alineado a lo que se tiene en la Ley de Ingresos de la Federación, este precio es modificable de acuerdo con estrategias de gasto por parte del Gobierno Federal o restricciones presupuestales. A partir del año 2016, se decidió lanzar un esquema híbrido en donde el precio de ejercicio de la opción está por debajo de lo establecido en la LIF, con el objetivo de reducir el costo de la opción.⁶ Evidentemente, este esquema deja descubierto la diferencia entre ambos montos, el cual, se decidió ser cubierto con fondos directamente del FEIP, en caso de ser necesario.

A partir de estas tres variables, se decidió plantear dos alternativas para estimar el gasto de los contratos en el periodo 2004-2019. En lo particular, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros para el modelo de estimación de costo:

- Tasa libre de riesgo: Aquella tasa aplicable al momento de suscribir el contrato. En este análisis, se asume que será la tasa vigente para el cupón bancario de 26 semanas el último día hábil del mes de julio de cada año (Nasdaq Data Link, 2022). El uso de esta tasa se basa en que la contratación de las opciones debe darse antes del mes de septiembre, siendo el mes de julio el que cuenta con el corte más cercano. El valor utilizado de esta tasa se muestra más adelante en la Tabla 4.

⁶ M. Messmacher, Subsecretario de Ingresos de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público del Gobierno de México en la Administración 2013-2018. Comunicación personal, 25 de mayo de 2020

Gráfica 4. Tasa bancaria a 26 semanas de los Bonos del Tesoro de los Estados Unidos para el periodo 2003-2019

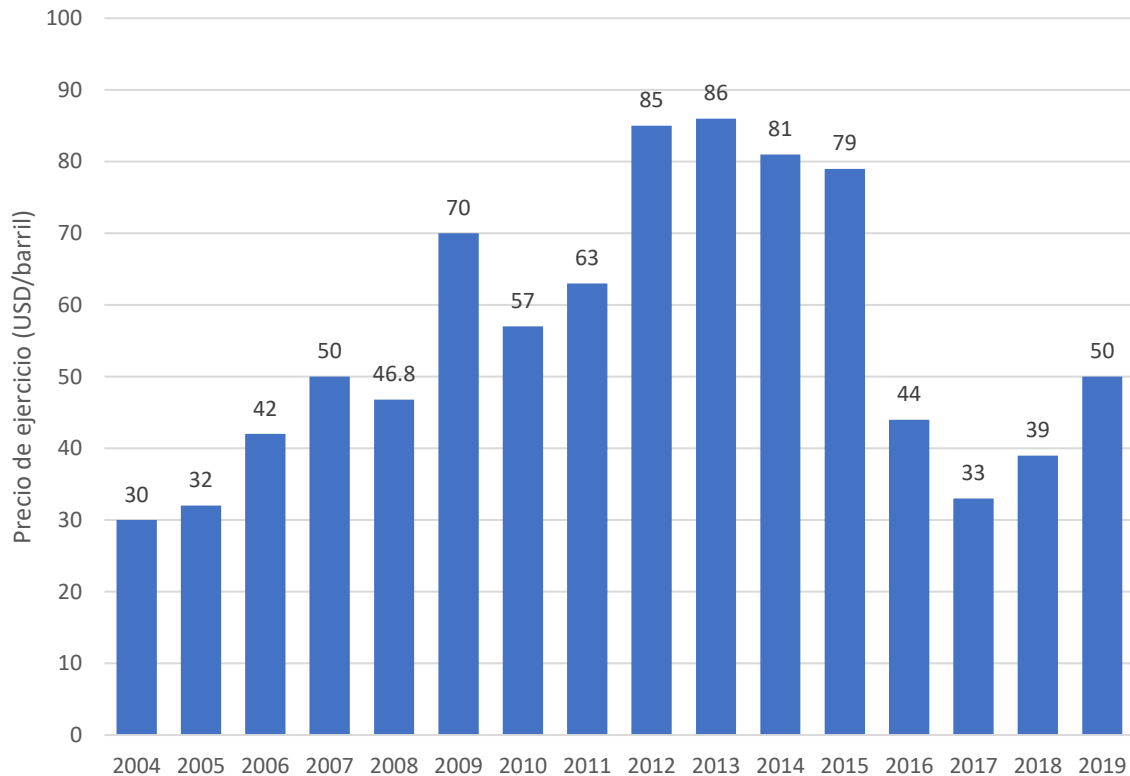


Fuente: Nasdaq Data Link, 2022

- Volatilidad observada: El rango de periodos que se utilice para determinar la volatilidad de los rendimientos diarios del crudo es un parámetro que seguramente debió conciliarse entre las dependencias y entidades financieras involucradas. Dada la falta de información pública para determinar qué periodo de observación se utilizó para cada año, se escogió usar un periodo específico para todos los años. En este análisis, se decidió escoger los tres años previos al año de referencia, con límite del 31 de julio del año anterior. Por ejemplo, para la estimación de la volatilidad considerada para el contrato de 2004, se usan los rendimientos diarios observados a partir del 1 de enero de 2001 hasta el 31 de julio de 2003. Se reitera que este periodo de tiempo es arbitrario. La modificación de este periodo de evaluación puede repercutir en el costo estimado de las opciones.
- Precio de ejercicio de la opción: Determinado por la SHCP, se estima que sea el valor presentado en la LIF para la MME. Como se señaló anteriormente, este precio de ejercicio representa el mejor *proxy* para estimar

el costo de la opción. El valor para cada año se puede revisar en la siguiente gráfica.

Gráfica 5. Precio de ejercicio para los contratos de opciones de venta



Fuente: Ley de Ingresos de la Federación de cada año

La primera de estas alternativas consiste en evaluar el costo por barril para las opciones de compra considerando una distribución *Alfa-Estable* con sus parámetros respectivos. La segunda busca evaluar la misma volatilidad bajo el Modelo Geométrico Browniano, el cual es una variante de la distribución *Alfa-Estable*. Ambos se describen más adelante en esta sección.

El análisis del costo por barril bajo estos dos modelos busca dar un punto de referencia sobre los costos que pudo haber estimado el Banxico y, a partir de ahí, calcular los rendimientos en inversiones futuras.

Se conoce que existen dos enfoques para la valuación libre de arbitraje de una opción europea de compra $C = C(S_t, t)$ sobre un subyacente S_t que no paga dividendos.

El primero de estos enfoques corresponde al método de Black-Scholes, donde se construye un portafolio libre de riesgo y, bajo el supuesto de no arbitraje y utilizando el Lema de Ito, se obtiene la siguiente ecuación diferencial que satisface el precio de la opción:

$$\frac{\partial C(S_t, t)}{\partial t} + rS_t \frac{\partial C(S_t, t)}{\partial S_t} + \frac{1}{2} \sigma^2 S_t^2 \frac{\partial^2 C(S_t, t)}{\partial S_t^2} = rC(S_t, t)$$

El segundo enfoque se trata de la versión probabilista, en donde se asume que existe una probabilidad, denominada Q , bajo la cual el subyacente S_t , se convierte en una martingala, es decir, que el valor que mejor explica el precio del día de hoy es el precio que se tuvo el día de ayer. De este enfoque, se puede deducir que

$$C(S_t, t) = E^Q [e^{-r(T-t)} \max(S_t - K, 0)]$$

Tomando en cuenta ambos enfoques, se obtiene la famosa fórmula de Black-Scholes:

$$C(S_t, t) = S_t N(d_1) - K e^{-r(T-t)} N(d_2) \quad [\text{Ecuación 1}]$$

En donde

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t} \quad [\text{Ecuación 3}]$$

$$N(x) = \int_{-\infty}^x f_s\left(x; 2, 0, \frac{1}{\sqrt{2}}, 0\right) dx$$

donde la función f_s es la función de densidad de una distribución normal estándar expresada en términos de una distribución estable, cuyo resultado está basado en el supuesto de que los rendimientos logarítmicos del subyacente S_t están determinados por la siguiente ecuación diferencial estocástica

$$d\ln(S_t) = \mu dt + dY_t$$

lo cual se puede traducir a

$$S_T = S_0 e^{\mu\tau + Y_t}, \tau \in [0, \infty) \quad [\text{Ecuación 4}]$$

en donde Y_t está distribuido de manera normal con media cero y varianza igual a $\sigma^2\tau$, con $\tau = T - t$, el cual denota el plazo de tiempo.

Para el caso en que Y_t se encuentre distribuido bajo Alfa-Estable, el enfoque empleado es el enfoque probabilista, en el cual la medida neutral al riesgo utilizada para la opción es la obtenida por Mulloch (2003).

2.2. Distribución de Alfa-Estable

Las distribuciones estables forman parte de un conjunto de distribuciones de probabilidad con probabilidades teóricas. La aplicación de este tipo de distribuciones para la modelación financiera se sustenta en el hecho de que la distribución de los rendimientos presenta colas pesadas y puede ser sesgada, lo cual es común en la distribución del precio de los productos financieros.

Una distribución se denomina Alfa-Estable si resulta de una combinación lineal de dos o más copias independientes de una muestra aleatoria que tiene la misma distribución de probabilidad. Se define como combinación lineal a las expresiones que cuentan con la siguiente forma:

$$\sum_{\substack{\alpha \in A \\ b \in B}} \alpha b$$

Se puede pensar que la distribución Normal forma parte de una generalización de las distribuciones Alfa-Estable, cuya generalización permite que existan mayores concentraciones cercanas a la media, valores extremos o una posible asimetría.

En 1963, Mandelbrot publica una serie de artículos donde utiliza las distribuciones estables para modelar la evolución de algunos productos financieros. Aunque su estudio inicial se enfocaba en el mercado de algodón, el autor se dio cuenta que el modelo era aplicable para los distintos mercados financieros, e incluso para fenómenos naturales como los flujos que recibe el Río Nilo en Egipto de manera anual (Mandelbrot y Hudson, 2006).

En este sentido, el autor equiparaba los años con un alto flujo de agua en el Río Nilo como los periodos con altas subidas de precios en el mercado bursátil, mientras los años con bajo flujo de agua o sequías en el río eran equivalentes a las caídas bursátiles en el precio de *commodities*.

La modelación de los rendimientos de productos financieros bajo esta distribución permite mejorar el análisis de dichos rendimientos dado que los valores exhiben las siguientes características:

- se ubican lejos de la media, incluso, a excepción de la distribución Normal, cuyo parámetro de estabilidad (α) es igual a cero, la media no es infinita,
- exhiben auto-similaridad, por lo que se observa que la estructura se repite a diferentes escalas. A este concepto, Mandelbrot le denomina fractalidad, la cual es una medida para evaluar la irregularidad que se tiene.
- la volatilidad de los precios se agrupa en periodos de tiempo, por lo que existen periodos, generalmente cortos, con alta volatilidad y periodos de relativa estabilidad financiera.

Definiciones de variables aleatoria estable

Las distribuciones Alfa-Estable, también conocidas como distribuciones de Levy, tienen una mejor aproximación para la modelación de la leptocurtosis (el cual mide la estrechez alrededor del centro), asimetría, fluctuaciones lejanas al parámetro de localización y la probabilidad de estabilidad observada en los activos subyacentes (Ortiz Pérez, 2018).

Estas distribuciones fueron planteadas por el matemático Paul Levy, un hombre adinerado, hijo de un comerciante judío y de una familia académica. Fue en 1925 cuando plantea el concepto de las distribuciones estables en su libro titulado "*Calcul des probabilités*". Este hombre fue profesor de Benoit Mandelbrot, quien posteriormente desarrollaría el concepto de fractalidad como mencionamos anteriormente.

El profesor Levy desarrolló su teoría de probabilidad hasta cumplidos los 40 años. A su teorema le denominó "Distribuciones de probabilidad estable", cuya connotación de la palabra estable implica que a un objeto se le puede aplicar distintas acciones, por ejemplo, rotarla, minimizarla, o maximizarla y sus propiedades permanecerán sin modificaciones.

En este sentido, Levy señalaba como ejemplo que la famosa curva de campana, planteada por Carl Friedrich Gauss, era estable, pues asume que cualquier tipo de error de medición deberá seguir una curva de campana. Incluso, se pueden seguir agrupando errores, y aunque la media o desviación estándar cambien, la figura de la campana seguirá presente (Mandelbrot y Hudson, 2006).

Otro ejemplo de distribución estable es la curva de Cauchy, aunque a diferencia de la curva de campana de Gauss, esta curva es fuertemente influenciada por los valores que podrían ser considerados atípicos en una Distribución Normal, mientras que en la curva de Cauchy forman parte intrínseca de la propia curva.

Todas las definiciones de las distribuciones Alfa-Estable surgen del siguiente teorema de Levy:

Sean X_1, X_2, \dots, X_n unas variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (i.i.d) con las siguientes constantes $a_n > 0$ y $b_n \in \mathbb{R}$, tal que

$$S_n \triangleq a_n X + b_n$$

Es decir, si se cuenta con dos o más variables aleatorias i.i.d., y la suma de dichas variables aleatorias siguen la misma distribución de dichas variables aleatorias, entonces se entiende que se trata de una distribución Estable.

Se puede señalar como ejemplo la suma de dos o más variables aleatorias que siguen la distribución Normal, el resultado de dicha suma será también una distribución Normal, por lo que se puede deducir que se trata de una distribución Estable. Incluso, si la distribución se movió hacia algún otro punto en la gráfica, pero la distribución permaneció similar, se entiende que sigue siendo una distribución Estable.

Como contraejemplo se puede mostrar la suma de dos o más variables aleatorias con distribución Exponencial. Al realizar esta suma, el resultado seguirá una distribución Gamma, por lo cual no se respeta la propiedad de estabilidad y, por lo tanto, no se considera una distribución Estable (Karlova, 2018).

Definición 2.2.1.

Matemáticamente, se tiene que:

La suma de dos o más variables aleatorias (X_i), desplazados por un valor independiente (b_n) y dividido por una constante (a_n)

$$\frac{1}{a_n} \left(\sum_{i=1}^n X_i - b_n \right)$$

genera una nueva variable aleatoria. Si esta nueva variable aleatoria sigue la misma Distribución de Probabilidad Acumulada que tiene cada una de las variables aleatorias de dicha suma (X_i), entonces la nueva función ($R(X)$) es una distribución Estable (Balakrishnan, 2015).

Definición 2.2.2

Se entiende que una variable aleatoria cuenta con una distribución Estable si x_1 y x_2 son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas y, si para cualquier valor de $a_1, a_2 > 0$, se puede encontrar las dos constantes a y b en la siguiente fórmula

$$\frac{a_1 X_1 + a_2 X_2 - b}{a}$$

En donde, X_1 y X_2 son las dos variables aleatorias.

Definición 2.2.3

Las dos definiciones anteriores, nos indican la condición para que la suma de dos o más variables aleatorias i.i.d. resulte en una distribución Estable. Dicha suma se le conoce como la función $F(x)$.

Se entiende que una Función de Densidad de Probabilidad ($F(x)$) es Estable si para cualquier valor positivo de a_1 y a_2 , existe una constante a mayor que cero y $b \in \mathbb{R}$, de tal manera que se cumpla la siguiente relación:

$$F\left(\frac{x}{a_1}\right) * F\left(\frac{x}{a_2}\right) = F\left(\frac{x-b}{a}\right)$$

Definición 2.2.4. Variable aleatoria estrictamente estable

Una variable aleatoria es llamada estrictamente estable si la Definición 2.2.2 se cumple con $a = 0$:

$$\sum_{i=1}^n Y_i = b_n Y$$

Donde Y_1, Y_2, \dots, Y_n son variables aleatorias independientes con distribución igual a Y .

2.3. Parámetros de las definiciones de la distribución Alfa-Estable

No fue Levy quien empezó a aplicar su teorema en rendimientos financieros, sino que fue su estudiante, Benoit Mandelbrot, quien extendió este teorema para la estimación de movimientos financieros. En comunicaciones personales, Mandelbrot compartía que su profesor Levy se mostraba escéptico de la aplicación de su teorema para finanzas.

Al respecto, estas distribuciones comparten los siguientes parámetros, aunque se rigen bajo el mismo esquema de distribución Alfa-Estable:

2.3.1. Parámetro de estabilidad (α)

El parámetro α determina el grado de curtosis y la pesadez de las colas, es decir, este valor ayuda a determinar la tasa a la cual las colas de la distribución decrecen. El índice de estabilidad puede tomar valores en el intervalo $(0,2]$. Entre más pequeño sea el valor de este parámetro, más grande es el tamaño y frecuencia de los valores extremos.

Cuando este parámetro es menor a 2, no es posible generar el segundo momento, por lo que la varianza es infinita y esto complica la estimación de los parámetros de asimetría, escala y localización.

Un caso extremo es cuando el parámetro α toma un valor menor a 1, en donde no se cuenta siquiera con una media finita.

Las distribuciones más notables son las siguientes:

- a. Distribución Normal (o Gaussiana): Esta distribución sucede cuando el parámetro de estabilidad es igual a dos. Como se ha documentado en distintos textos, el valor esperado de esta distribución es la media y la varianza es finita.
- b. Distribución de Cauchy: Esta distribución aparece cuando este parámetro toma un valor igual a uno. En este caso, la media es finita pero la varianza no lo es.
- c. Distribución de Levy: Cuando el parámetro de estabilidad es igual a $\frac{1}{2}$, se le conoce con el nombre de esta distribución. En este caso, ni la media ni la varianza son finitas.

2.3.2. Parámetro de asimetría (β)

Este parámetro caracteriza el grado de asimetría de la distribución y toma valores en el intervalo $[-1,1]$. Cuando $\beta=0$, la distribución es simétrica alrededor de la media. Un valor positivo o negativo implica que la distribución está sesgada a la izquierda o a la derecha, respectivamente.

Cuando el parámetro de estabilidad (α) se aproxima a 2, el parámetro de asimetría pierde efecto y la distribución se transforma en una distribución simétrica sin importar el valor de β .

2.3.3. Parámetro de escala (γ)

Este parámetro contempla solamente valores positivos $(0, \infty)$ y representa las unidades mediante el cual la distribución se expande o comprime en torno a la media. Bajo el concepto de normalización, este parámetro sirve para estimar la desviación estándar.

2.3.4. Parámetro de localización (δ)

Este parámetro contempla valores tanto positivos como negativos y posiciona el origen de la distribución a la izquierda o derecha.

Como se describió en la sección 2.3.1, si el parámetro de estabilidad es mayor a uno ($\alpha > 1$), la media es el valor esperado. Cuando dicho parámetro de estabilidad es menor a uno ($\alpha < 1$), la media es infinita y el parámetro se convierte en un índice de localización.

Con estos cuatro parámetros se puede mostrar la diferencia con el modelo de Black-Scholes, donde únicamente se considera que el rendimiento de un activo sigue una distribución normal, pero ignorando el grado de asimetría que se observa en los datos empíricos. Asimismo, al ignorar la pesadez de las colas en la distribución normal disminuye la probabilidad de que dichos valores puedan ocurrir en el futuro.

Algunos autores como Olszewski (2005) han señalado que la teoría prevalente de Markowitz, donde se asume que los retornos están distribuidos de manera Normal han quedado limitados por dicho supuesto, por lo que sugieren experimentar con la implementación de la distribución Alfa-Estable para modelar dichos retornos. En este sentido, esta investigación retoma esta recomendación y analiza las diferencias entre ambas alternativas.

2.4. La distribución Normal como distribución estable

Cuando el parámetro de estabilidad de una distribución estable es igual a dos ($\alpha=2$), la distribución $S^1(2,0,\gamma, \delta)$ es una distribución normal con media δ y con varianza $\sigma^2 = 2\gamma^2$, así $N(\delta,\sigma) = S^1(2, 0, \gamma, \delta)$ y la función característica satisface

$$\varphi(k) = \log fc(k) = i\delta k - \gamma^2 |k|^2$$

el cual resulta ser el valor esperado del activo subyacente.

En este caso, en la distribución β es tomada como cero y δ es la media (μ).

La importancia de la distribución Normal (\aleph) se debe a su Teorema del Límite Central, el cual establece que dada una sucesión de variables aleatorias X_1, X_2, \dots, X_n i.i.d con una media μ finita y varianza σ^2 finita positiva, si S_n es el conjunto que contiene la suma $X_1 + \dots + X_n$, con n mayor o igual a uno, entonces

$$Y_n = \frac{(S_n - n\mu)}{\sqrt{\sigma^2 n}} \xrightarrow{d} \aleph(0,1) \text{ cuando } n \rightarrow \infty$$

Este teorema no hace distinción sobre el tipo de distribución que posea S_n , siempre y cuando dicha sucesión sea i.i.d, y posea media y varianza finita, la distribución a la que convergerá será a la distribución Normal.

2.5. Función característica de la distribución Alfa-Estable

La función característica o función de densidad caracteriza completamente a una variable aleatoria. En el caso de las distribuciones estables, estas funciones no tienen una expresión analítica simple. Sin embargo, la función característica, quien sí contiene información completa sobre las variables aleatorias sí tiene una expresión analítica simple y depende de los cuatro parámetros que se mostraron en la sección pasada.

Las distribuciones Alfa-Estable pueden ser descritas mediante sus funciones características; sin embargo, existen múltiples parametrizaciones, de las cuales, dos son las más empleadas: la primera es la parametrización estándar, explicado por Samorodnisky y Taqqu (1994) y la segunda es la parametrización cero, explicada por Nolan (2016).

Para la estimación de nuestras distribuciones estables, hemos utilizado la Función Característica para estimar los parámetros de estas.

2.6. Modelación de rendimientos logarítmicos bajo distribución Alfa-Estable

Considerando que la tasa libre de riesgo es la medida de los agentes neutrales al riesgo, los rendimientos logarítmicos se llevan a cabo por la ecuación diferencial estocástica

$$d \ln(S_t) = r dt + dY_t$$

y el precio del subyacente S_t satisface

$$S_T = S_0 e^{\mu\tau + Y_t}, \tau \in [0, \infty) \quad \text{[Ecuación 5]}$$

donde Y_t es una variable Alfa-Estable, es decir $Y_t \sim S^1\left(\alpha, \beta, \gamma \tau^{\frac{1}{\alpha}}, r\right)$ y $\tau = T - t$ es el plazo de tiempo. El uso de la distribución Alfa-Estable presenta el problema sobre la existencia de los momentos de los rendimientos logarítmicos para asegurar que el precio de la opción a valuar sea finito.

Por tanto, Carr y Wu (2002) restringen el uso de la distribución Alfa-Estable a las distribuciones estables extremas negativas ($\beta = -1$). Esto debido a que son las únicas que permiten asegurar momentos finitos de todos los órdenes de S_t aun cuando los momentos de los rendimientos logarítmicos tengan segundo momento infinito.

2.7. Movimiento Browniano

El nombre de Movimiento Browniano surge de la descripción del movimiento de una partícula pesada suspendida en un ambiente de partículas ligeras. En este ambiente, las partículas ligeras se mueven rápidamente y, cada cierto tiempo, colisionan con una partícula pesada. Este choque desplaza a la partícula pesada de manera aleatoria e independiente de choques pasados o futuros. Dado este ejercicio, se asume que se tratan de eventos independientes e idénticamente distribuidos, es decir, el movimiento de la partícula el día de hoy no tiene nada que ver con el movimiento que ocurrió el día de ayer, ni tendrá efecto en el movimiento que pueda ocurrir el día de mañana.

Esta observación surgió inicialmente de Robert Brown, quien en 1927 observó, a través de un microscopio, que los gránulos dentro de los granos de polen parecían estar moviéndose. Este tipo de movimientos no eran intencionados o con cierto patrón, por otro lado, parecían comportarse de manera aleatoria. Posteriormente, observó el mismo tipo de movimiento cuando suspendían distintas partículas de distintos materiales en agua o, incluido, ginebra. Brown determinó que dicho movimiento no surgía de una fuerza física en particular sino a una fuerza surgida de los patrones de aleatoriedad (Ford, Brian J., 1992).

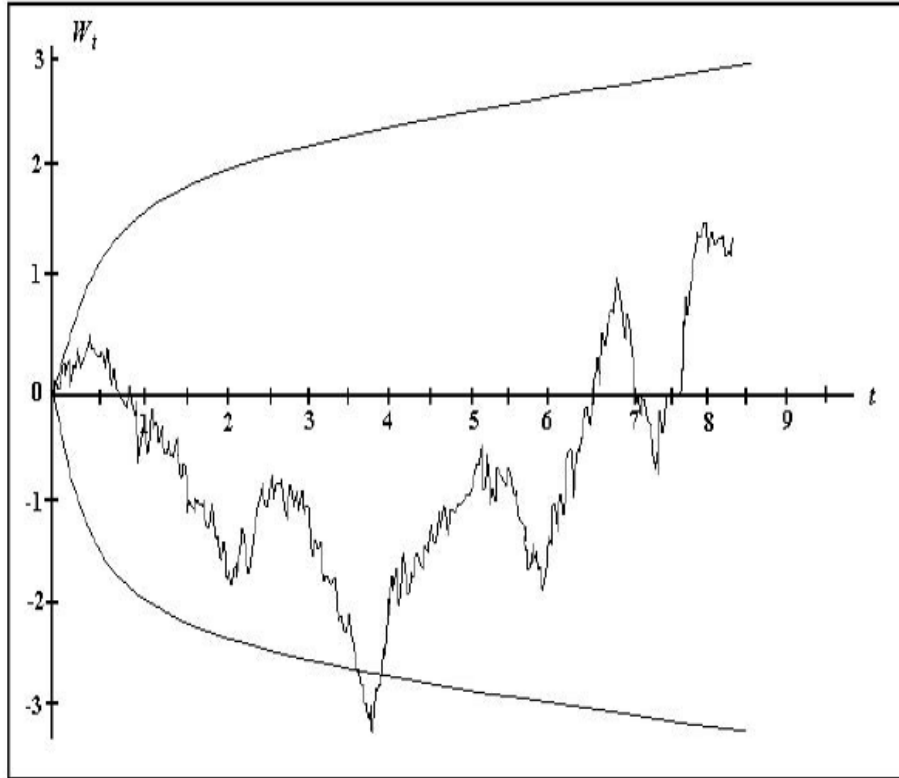
Sin embargo, no fue hasta 1905 cuando Albert Einstein retomó el trabajo de Robert Brown y publicó su artículo *Investigations on the theory of the Brownian Movement*. En dicho artículo, Einstein planteó lo que observaba a través del microscopio. Primero, sostuvo de manera obvia que las moléculas ligeras no podían mover las partículas flotantes; y segundo, que las colisiones moleculares ocurren mucho más frecuente que las sacudidas observadas.

La conclusión revolucionaria de Einstein fue darse cuenta de que, a pesar de que las colisiones son bastantes y, en general, no tienen efecto visible sobre el movimiento de las partículas, había ocasiones en que por “pura suerte” existía una predominancia desequilibrada de golpes en alguna dirección particular, lo que ocasionaba la sacudida de una partícula.

Einstein, al hacer sus cálculos, descubrió que a pesar del caos microscópico existía una relación entre factores como el tamaño, número y velocidad de las moléculas y la frecuencia y magnitud observable de las sacudidas. En esto, había conectado por primera vez que gran parte del orden que percibimos en la naturaleza oculta un desorden subyacente invisible que sólo puede explicarse a través de las reglas de la aleatoriedad (Mlodinow, L., 2008).

La siguiente gráfica ilustra la trayectoria un movimiento Browniano de dimensión uno, así como las curvas de desviación estándar $\pm\sqrt{t}$, donde t es el tiempo y corre a lo largo del eje horizontal. La media incondicional del valor del proceso en cada punto del tiempo es cero, mientras que la probabilidad incondicional de que el proceso tome un valor dentro de estas curvas, en un punto dado en el tiempo, es alrededor de 66% (Venegas Martínez, 2008).

Gráfica 6. Trayectoria de un movimiento Browniano de dimensión uno



Fuente: Venegas-Martínez, 2008

2.7.1 Modelo del Movimiento Geométrico Browniano

A partir de los hallazgos del Movimiento Browniano, se consideró que los precios de los activos podrían ser considerados como componentes del Movimiento Browniano. Por ejemplo, podemos considerar que cada compra o venta mueve ligeramente el precio de un activo, tal como una colisión microscópica puede mover ligeramente la trayectoria de una partícula de polen.

Existe una particularidad relacionada al movimiento de los precios de un activo. Mientras que los movimientos del precio en valor absoluto pueden variar bastante o poco, el movimiento del precio en proporción con su tamaño sí se pueden considerar cambios observables. De esta manera, los cambios que observamos en los precios de un activo se notan sobre el rendimiento del cambio (cambios porcentuales) y no sobre el cambio en el precio del activo en valores absolutos. Las teorías basadas en cambios porcentuales se les denomina *geométricas*, por lo que el modelo se le denomina Movimiento Geométrico Browniano (Chriss, Neil A., 1997).

En esta sección se modela el comportamiento de los rendimientos del precio de la Mezcla Mexicana de Exportación bajo el supuesto de normalidad, considerando el registro histórico de los precios diarios de un activo financiero. Por ejemplo, considere un registro histórico de los precios diarios de un activo, $S_0, S_1 \dots S_n$. Los rendimientos diarios del activo son:

$$R_t = \left(\frac{S_t - S_{t-1}}{S_{t-1}} \right), \quad t = 1, 2, \dots, N$$

El valor medio diario de los rendimientos del activo está dado por:

$$\mu = \left(\frac{1}{N} \sum_{t=0}^N R_t \right) \frac{1}{\text{día}}$$

y la varianza diaria de los rendimientos del activo es

$$\sigma^2 = \left(\frac{1}{N} \sum_{t=0}^N (R_t - \mu)^2 \right) \frac{1}{\text{día}}$$

La desviación estándar, σ , es conocida como la volatilidad del activo. Estandarizando los rendimientos, es decir, si se define $\tilde{R}_t = (R_t - \mu)/\sigma$ y el histograma de frecuencias de \tilde{R}_t coincide con la función de densidad de una variable aleatoria $\varepsilon \sim \mathcal{N}(0,1)$, entonces se podría pensar que los rendimientos tienen una distribución normal con media $\mu * \text{días}$ y varianza $\sigma^2 * \text{días}$. En este caso se puede escribir

$$\frac{S_t - S_{t-1}}{S_{t-1}} = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^N R_t + \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{t=0}^N (R_t - \mu)^2} * \varepsilon = \mu * \text{día} + \sqrt{\sigma^2 * \text{día}} * \varepsilon,$$

donde $\varepsilon \sim \mathcal{N}(0,1)$. Note que

$$E \left[\frac{S_t - S_{t-1}}{S_{t-1}} \right] = \mu * \text{día}$$

y

$$\text{Var} \left[\frac{S_t - S_{t-1}}{S_{t-1}} \right] = \sigma^2 * \text{día}$$

Si Δt denota un día como la unidad de tiempo que separa las observaciones de S_t , $t = 1, 2, \dots, N$, se tiene que

$$\left[\frac{S_t - S_{t-1}}{S_{t-1}} \right] = \mu \Delta t + \sigma \sqrt{\Delta t} \varepsilon$$

donde $\varepsilon \sim \mathcal{N}(0,1)$. De esta manera se tiene que,

$$\frac{\Delta S_t}{S_{t-1}} = \mu \Delta t + \sigma \Delta W_t$$

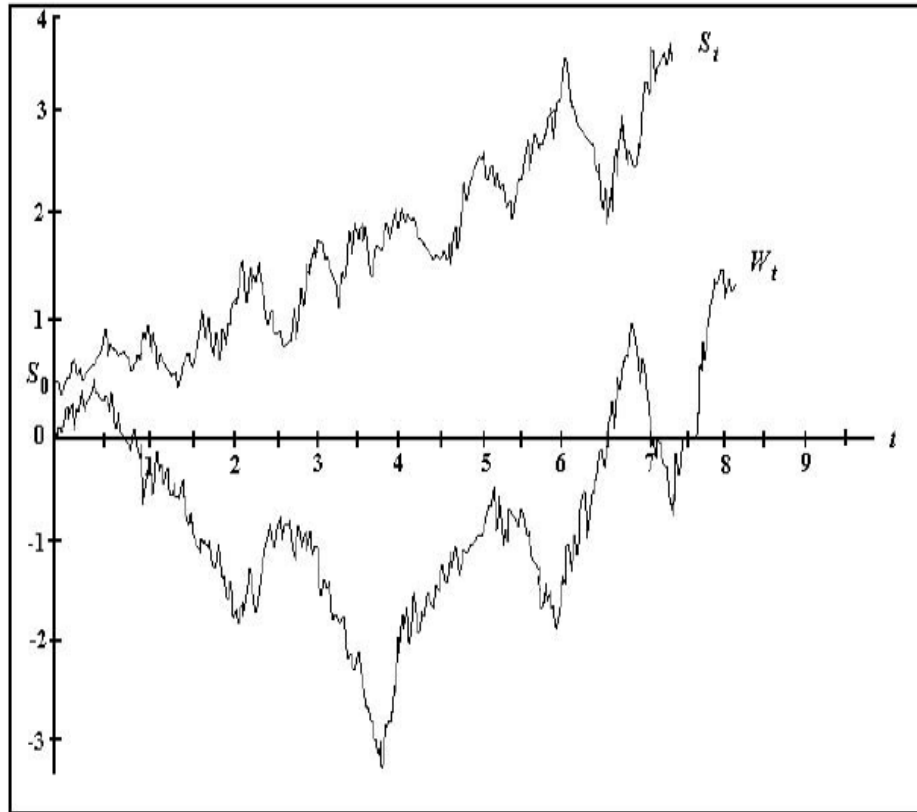
donde $\Delta W_t \sim \mathcal{N}(0, \Delta t)$, es decir, ΔW_t es normal con $E[\Delta W_t] = 0$ y $Var[\Delta W_t] = \Delta t$. Si se supone ahora que Δt se hace cada vez más pequeño, se tiene entonces en el límite:

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu dt + \sigma dW_t \quad \text{[Ecuación 6]}$$

donde $dW_t \sim \mathcal{N}(0, dt)$. En este caso, se dice que el μ es el rendimiento medio esperado y σ es la volatilidad del activo. La variable aleatoria dW_t modela las fluctuaciones de los rendimientos que se observan todos los días. Por tanto, se indica que el precio S_t del activo sigue un movimiento geométrico Browniano.

Como ejemplo visual, la gráfica 7 muestra las trayectorias de un movimiento Browniano, W_t , y un movimiento geométrico browniano, S_t , con una media (μ) igual a 0.1 y una desviación estándar (σ) equivalente a 0.3. El eje horizontal corresponde a la variable tiempo (t), mientras que los valores del movimiento Browniano y el movimiento Geométrico Browniano corren en el eje vertical. Asimismo, en la siguiente gráfica, se supone que el movimiento Geométrico Browniano parte de un valor positivo (S_0) igual a 0.4.

Gráfica 7. Trayectorias del Movimiento Browniano y Movimiento Geométrico Browniano en una dimensión



Fuente: Venegas-Martínez (2008)

S_t : Se refiere al movimiento browniano

W_t : Se refiere al proceso Wiener, del cual se desprende el Movimiento Geométrico Browniano

Utilizando esta información, se tiene la siguiente fórmula para la simulación de los precios diarios de la Mezcla Mexicana de Exportación bajo el Movimiento Geométrico Browniano:

$$S_t = S_0 e^{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma dW_t} \quad \text{[Ecuación 7]}$$

En donde,

μ es la media de crecimiento anual,

σ^2 es la varianza anual,

t es el tiempo, medido en días sobre el periodo de un año de 360 días,

dW_t es el Movimiento Browniano estándar, componente estocástico de esta ecuación.

Este modelo contempla dos conclusiones. La primera de ellas, la desviación estándar de los retornos se incrementa en proporción de la raíz cuadrada del

tiempo. Esto significa que la desviación estándar de los retornos en el largo plazo varía como la raíz cuadrada del tiempo multiplicada por la volatilidad a corto plazo. El segundo punto para destacar es que los cambios en la tasa de retorno esperada cambian en proporción con el tiempo, pero no la misma razón que la tasa instantánea de retorno. De hecho, dicha tasa cambia en la proporción de $\mu - \frac{\sigma^2}{2}$, lo que se traduce en que la tasa instantánea de retorno descontada por $\frac{\sigma^2}{2}$ (Chriss, Neil A., 1997).

La razón por la que esto sucede se deriva del efecto no lineal de la tasa de crecimiento instantánea. Para ejemplificar este punto, asumamos que se invierten \$100 dólares en un fondo de inversión. Supongamos que los rendimientos se computan de manera diaria, con dos posibles resultados: un crecimiento de 20% con una probabilidad de 50% de ocurrencia o un decrecimiento de 20% con una probabilidad de ocurrencia de 50%. Aunque los dos resultados tienen la misma tasa de retorno y misma probabilidad, veamos que sucede ante el escenario de un crecimiento positivo en el primer día y un crecimiento negativo al siguiente.

$$\$100 * 1.20 * 0.8 = \$96$$

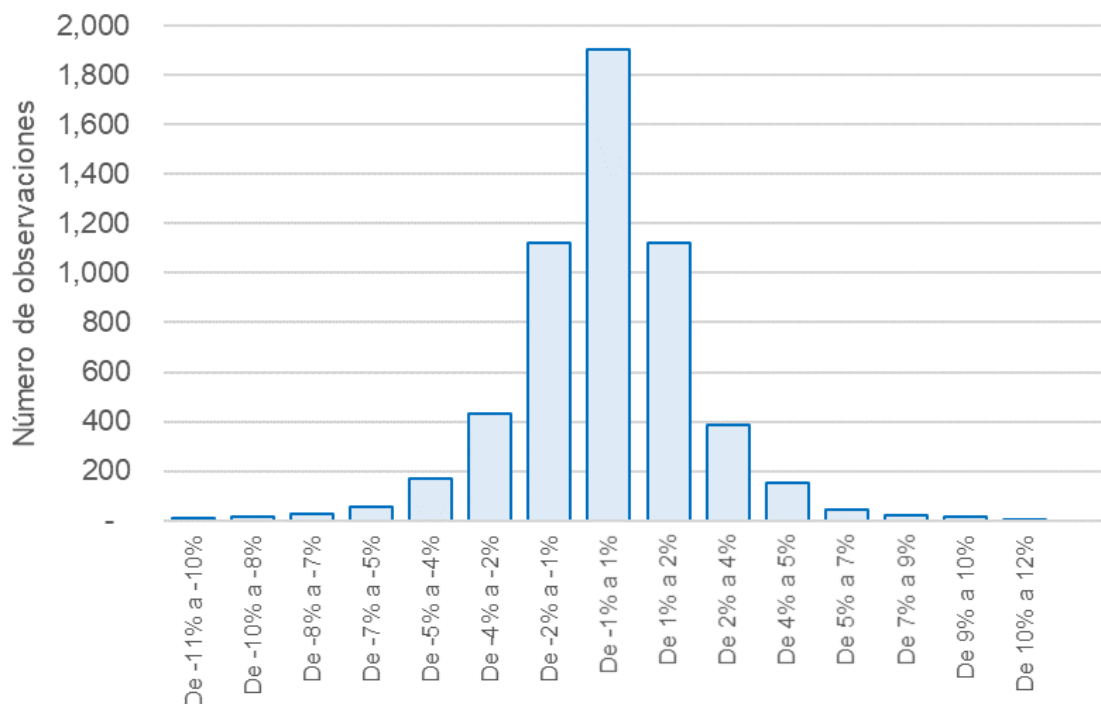
Se puede observar que el resultado termina siendo inferior al monto inicial, a pesar de contar con el mismo porcentaje de crecimiento (o decrecimiento) y misma probabilidad de ocurrencia.

Para el Movimiento Geométrico Browniano, se asume que el componente estocástico del modelo está distribuido de manera Normal, con valor esperado igual a cero. Este supuesto es crítico para el Modelo Geométrico Browniano. Esto significa que la desviación de los retornos en el corto plazo de la tasa media de crecimiento (μ) tiene la misma probabilidad de ser positivo como de ser negativo. Esto implica que la distribución de los retornos debe ser simétrica alrededor del valor cero, con las consecuencias matemáticas que se describieron anteriormente.

Si realizamos un enfoque sobre el rango con mayor número de observaciones, se puede observar que se cumple con el supuesto de distribución Normal, centrado en el valor cero.⁷

⁷ En el periodo de enero 1996 a octubre de 2020, se tienen 5,502 observaciones de rendimientos diarios, de las cuales, 5,474 observaciones caen en el rango de -11% a +11%.

Gráfica 8. Distribución de los rendimientos del precio de la Mezcla Mexicana de Exportación en el periodo 1996-2020 (enfoque en rango de -11% a +12%)



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de México (2022)

Más adelante se observará que existen observaciones de rendimiento diario por debajo y por encima del valor mínimo y máximo de esta gráfica, sin embargo, se enfoca en este rango con el propósito de resaltar el supuesto de normalidad, con valor centrado en cero. Como se verá más adelante, este supuesto es debatible y puede no reflejar correctamente el mundo real.

2.7.2 Inconvenientes del Movimiento Geométrico Browniano en precios de activos

El modelo nos permite calibrar, a través de sus parámetros (μ y σ) los rendimientos diarios de un activo. Sin embargo, los parámetros están subordinados al periodo de tiempo observado e infieren los rendimientos en el largo plazo. Este método claramente tiene sus deficiencias, al no ser susceptible a las variaciones del precio y volatilidad que pueda presentar el activo. Este último supuesto es el de mayor crítica: una volatilidad constante en el mediano y largo plazo.

El modelo asume una distribución normal, por lo que minimiza los movimientos extremos de los rendimientos diarios. Esto es lo que se denomina la leptocurtosis: la probabilidad de que los rendimientos diarios de un activo se encuentren cerca de la media o bastante lejos de la misma es mayor de lo que puede pronosticar el Movimiento Geométrico Browniano.

Finalmente, el modelo presume que los movimientos son independientes entre sí. En este sentido, el supuesto principal es que el precio del activo subyacente en cierto momento refleja la situación e información del mercado que existe con respecto a este activo, así como el hecho que los vendedores y compradores han tomado en cuenta la información disponible. Como se ha documentado, este supuesto puede no ser cierta en algunas ocasiones.

2.8. Opciones asiáticas

La opción asiática es un tipo de opción donde el valor intrínseco del contrato no sólo depende del precio del activo subyacente en la fecha de vencimiento, sino también del valor medio del subyacente durante la vida del contrato (Venegas-Martínez, 2008). También se le conoce como Opción de Valor Promedio y forma parte de las opciones exóticas, dado que no sigue las premisas generales de las opciones *vanilla*.

En específico, cuando se considera una opción asiática con precio de ejercicio constante, el pago en la fecha de vencimiento es la diferencia entre el precio promedio del activo durante la vida del contrato y el precio de ejercicio del bien.

Entre las ventajas de elegir este tipo de opciones es la minimización del riesgo de manipulación de mercado en la fecha de ejercicio. Al tratarse de un precio promedio del activo subyacente durante el periodo preestablecido en el contrato, se aminora el riesgo de que una de las partes busque manipular el precio en la fecha de ejercicio.

Otra de las ventajas de este tipo de opciones la reducción de la volatilidad del activo subyacente, en comparación con las opciones europeas o americanas. Dado que dichas opciones pueden presentar movimientos bruscos al alza o a la baja que no son suavizados en el contrato, estas variaciones provocan que la volatilidad del contrato sea mayor, haciéndolo más costoso. Al tomar en cuenta un promedio del precio del activo subyacente, el impacto de las alzas y bajas en el precio que puede experimentar un activo se reduce.

2.8.1. Opciones asiáticas con precio de ejercicio constante

En una opción asiática de compra, con precio de ejercicio constante, K , el pago del contrato en la fecha de vencimiento, T , es igual a

$$\max(K_{t-T} - K, 0),$$

donde K_{t-T} es definido de la siguiente manera

$$K_{t,T} = \frac{1}{T-t} \int_t^T S_u du$$

El precio de una opción asiática de compra $c_{a,k}$, está dada por

$$c_{aK} = e^{-r(T-t)} \mathbb{E}^P[\max(K_{t,T} - K, 0) | F_t]$$

si se escribe

$$c = e^{-r(T-t)} \mathbb{E}^P[\gamma \max(\alpha S_T + (-1)^{\beta+1} K_{t,T} - \beta K, 0) | F_t]$$

se tiene que si $(\alpha, \beta) = (1, 0)$, la opción asiática es de precio de ejercicio flexible, y si $(\alpha, \beta) = (0, 1)$, la opción es de precio de ejercicio constante. Si $\gamma=1$ la opción es de compra, si $\gamma=-1$ la opción es de venta.

2.8.2. Maneras de promediar en una opción asiática

La estimación del precio promedio del activo subyacente es una definición crítica para estimar el costo de la opción. A continuación, se hace un recuento de las dos alternativas para estimar dicho promedio.

a. Promedio aritmético

Se trata del cálculo del promedio aritmético de los precios observados del activo subyacente en el periodo del contrato. En el caso de observaciones continuas, se puede escribir de la siguiente manera:

$$A(0, T) = \frac{1}{T} \int_0^T S(t) dt \quad [\text{Ecuación 8}]$$

Para el caso de observaciones discretas, el promedio se calcularía de la siguiente manera:

$$A(0, T) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S(t_i)$$

b. Promedio geométrico

En el caso de que se prefiera utilizar el promedio geométrico, la ecuación para estimarlo sería la siguiente:

$$A(0, T) = e^{\left(\frac{1}{T} \int_0^T \ln(S(t)) dt\right)}$$

Para la contratación de las opciones *put* de tipo asiático que ha contratado el Gobierno de México, se ha utilizado el promedio aritmético, reflejado en la Ecuación 8 de este documento.

Con base en lo observado y presentado en este Capítulo, se consideró que el uso del movimiento Geométrico Browniano, así como la distribución Alfa-Estable sirven de herramientas para la estimación del costo de las opciones de venta que ha contratado el Gobierno de México desde el año 2004.

La estimación del costo de las opciones de venta contratadas por el gobierno mexicano sería la primera aportación de este documento, al permitir tener un cálculo aproximado de este costo y, entonces, simular escenarios hipotéticos para la inversión de dicho recurso. Este desarrollo se verá a mayor profundidad en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los instrumentos de riesgo contratados por el Gobierno Federal están sujetos al precio de la MME. Como se mencionó en la sección 1.3 de este estudio, las fórmulas están en función del precio del crudo WTI y el Brent, más una variable denominada factor-K, el cual representa un factor de ajuste expresado en dólares por barril que será determinado por el Vendedor, con base en las condiciones internacionales de mercado de petróleo crudo (P.M.I. Comercio Internacional, 2018).

El análisis presentado en este capítulo corresponde al reporte diario de la Mezcla Mexicana de Exportación a partir de 1996 hasta el año 2020.

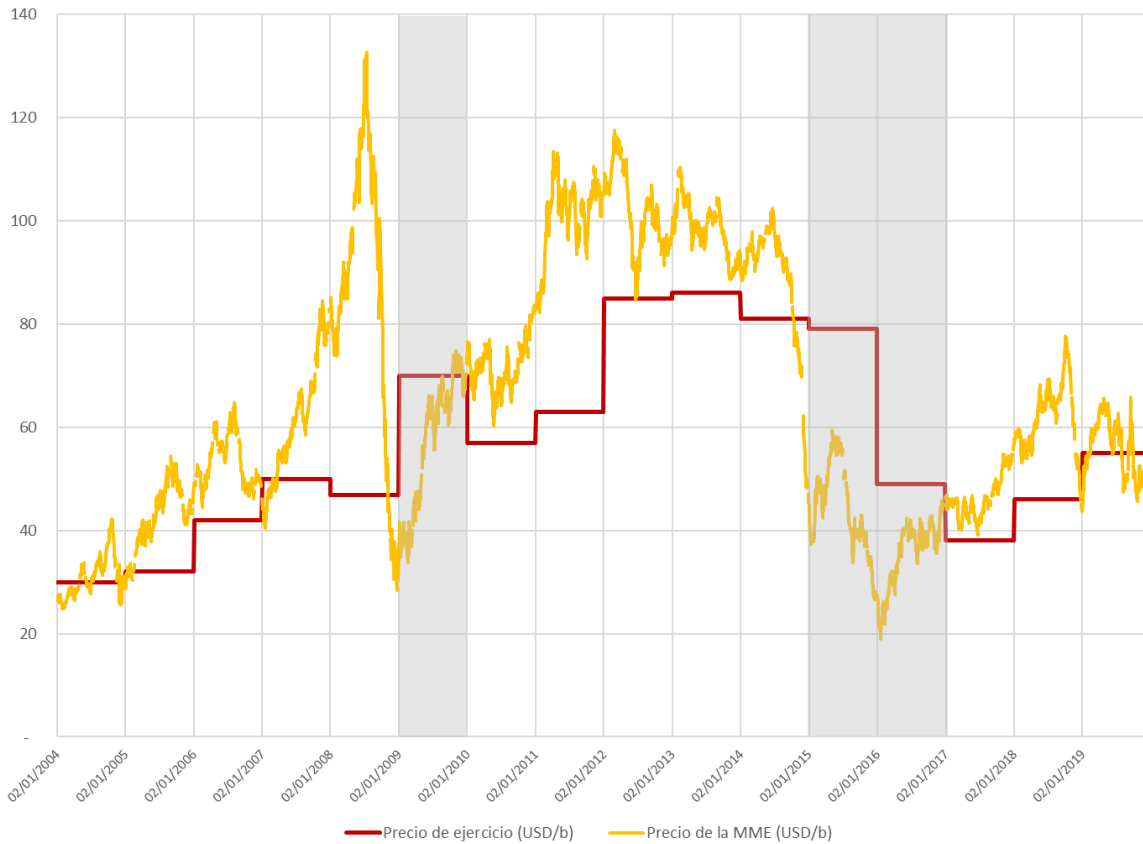
3.1. Parametrización de los rendimientos financieros de los precios de la Mezcla Mexicana de Exportación

El precio de la Mezcla Mexicana de Exportación ha experimentado cambios drásticos con la entrada del siglo XXI. Mientras que en el periodo de 1996 a 2000 la media del precio diario de la MME se situaba alrededor de \$17.3 dólares por barril con una desviación estándar de 5.6 dólares, durante el periodo 2016-2020 el promedio aritmético se estimó en \$47.4 dólares por barril y una desviación estándar de 13 dólares. Esto implica que la volatilidad observada entre 2016 y 2020 en el precio de la Mezcla se duplicó con respecto al último lustro del siglo XX.

A continuación, se presenta el precio de la Mezcla Mexicana de Exportación en el periodo 2004-2020, así como el precio cubierto por la cobertura contratada por la SHCP de ingresos petroleros de la Mezcla Mexicana de Exportación en cada año. Como se puede observar, el precio pactado en las coberturas se ubicó por debajo del precio promedio anual en los años 2009, 2015 y 2016, consistente con las cifras mostradas en la Tabla 4. Mientras que en 2009 el desplome de los precios del petróleo fue causado por la crisis inmobiliaria originada en los Estados Unidos, durante los años 2015 y 2016 fue producto de un exceso en la oferta de crudo y una disminución en la demanda por parte de los países importadores de este *commodity*. En la gráfica 9 se resaltan estos tres años con barras grises.

Cabe destacar los precios y la cobertura estimada en el año 2004 y 2019, cuyas observaciones se encuentra cercanas al valor del precio de la MME pactado en las opciones de venta.

Gráfica 9. Precio diario de la Mezcla Mexicana de Exportación y Precio establecido en la Ley de Ingresos de la Federación (USD/barril)



Fuente: Banco de México (2022)

En específico, se tienen los siguientes precios promedio observados por año⁸, comparado con el precio de ejercicio que se había mostrado en la sección 2.1 de este documento.

Tabla 4. Precio promedio anual observado de la MME, Precio de ejercicio en las coberturas y volumen cubierto

Año	Precio de ejercicio (USD/barril)	Precio observado el 31 de julio de la MME (USD/barril)	Volumen cubierto en el contrato (mmb)
2004	30	31.41	450
2005	32	42.82	450
2006	42	53.39	454

⁸ Se presentan los precios promedio por día, sin importar el volumen de exportación de cada día. En la práctica, el precio de ejercicio debe ser comparado con el precio ponderado del volumen exportado con el precio respectivo de exportación. Sin embargo, la falta de datos públicos respecto al volumen de exportación por día limita este análisis.

2007	50	61.06	400
2008	46.8	87.16	435
2009	70	57.67	330
2010	57	71.88	230
2011	63	100.80	222
2012	85	102.14	211
2013	86	98.60	217
2014	81	87.70	215
2015	79	44.18	228
2016	44	35.94	212
2017	33	46.38	250
2018	39	62.20	160
2019	50	56.15	200

Fuente: Banco de México (2022) y Secretaría de Hacienda y Crédito Público para LIF y volumen de cobertura de cada año.

Una vez que se tienen los valores de los rendimientos diarios, es posible estimar los parámetros de la distribución de los rendimientos del precio de la MME bajo condiciones de distribución Alfa-Estable.

La fórmula para la estimación de los rendimientos diarios es la siguiente:

$$Y_t = \frac{\text{Precio}_t - \text{Precio}_{t-1}}{\text{Precio}_{t-1}}$$

donde

Y_t es el rendimiento diario en el tiempo t ,

Precio_t es el precio del barril de crudo observado en el tiempo t ,

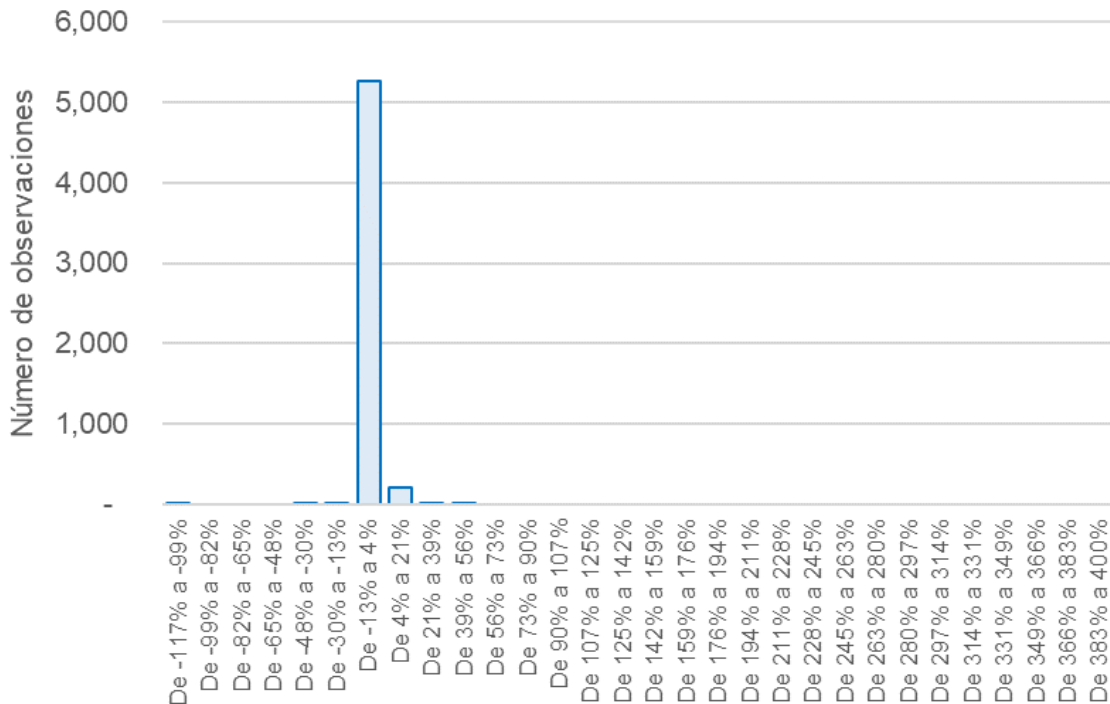
Precio_{t-1} es el precio del barril de crudo observado en el tiempo $t-1$,

En la gráfica 10 se puede observar que la mayoría de las observaciones se concentra en el rango de rendimientos diarios de -13% a +4%, con un rango en los rendimientos que oscilan desde -117% hasta +400%. Estas observaciones ocurrieron en el marco de la declaración como epidemia de COVID-19 por parte de la Organización Mundial de la Salud. En específico, la caída de 117% ocurrió el día 20 de abril de 2020, seguida de un rebote de 400% el día siguiente.

Debido a lo extremo de estas colas, se estima que dichos rendimientos pueden ser parametrizados bajo las condiciones de una distribución Alfa-Estable, lo cual genera que la ocurrencia de los rendimientos ubicados en las colas sea más probable que en un escenario de distribución Normal. Cabe recalcar que el escenario de

distribución Normal sería similar a un escenario en donde el parámetro alfa, en la distribución Alfa-Estable, sea igual a dos.

Gráfica 10. Distribución de los rendimientos diarios del precio de la Mezcla Mexicana de Exportación (porcentaje)



Fuente: Elaboración propia con datos del Banco de México (2022)

Mediante el método de Función Empírica Característica (FEC) se parametrizaron los valores observados para los rendimientos diarios de dicho marcador. Para realizar la estimación de los parámetros de una distribución Alfa-Estable, se utilizó el código planteado en el Anexo A de este documento, utilizando el lenguaje de programación R.

En la Tabla 5 se presentan los parámetros estimados para una distribución Normal y una distribución Alfa-Estable, con base en los rendimientos diarios de los tres años previos. Para el caso del Modelo Geométrico Browniano, se utiliza la media igual a la tasa anual libre de riesgo, la cual, en este caso, equivale a los rendimientos de las Letras del Tesoro de los Estados Unidos de América.⁹

Se utiliza la tasa libre de riesgo bajo la consideración que se trata del monto financiero que alcanzaremos al invertirlo en una opción segura, lo que

⁹ El nombre en inglés es US Treasury Bonds, aunque se denominan de manera coloquial como *t-bills*.

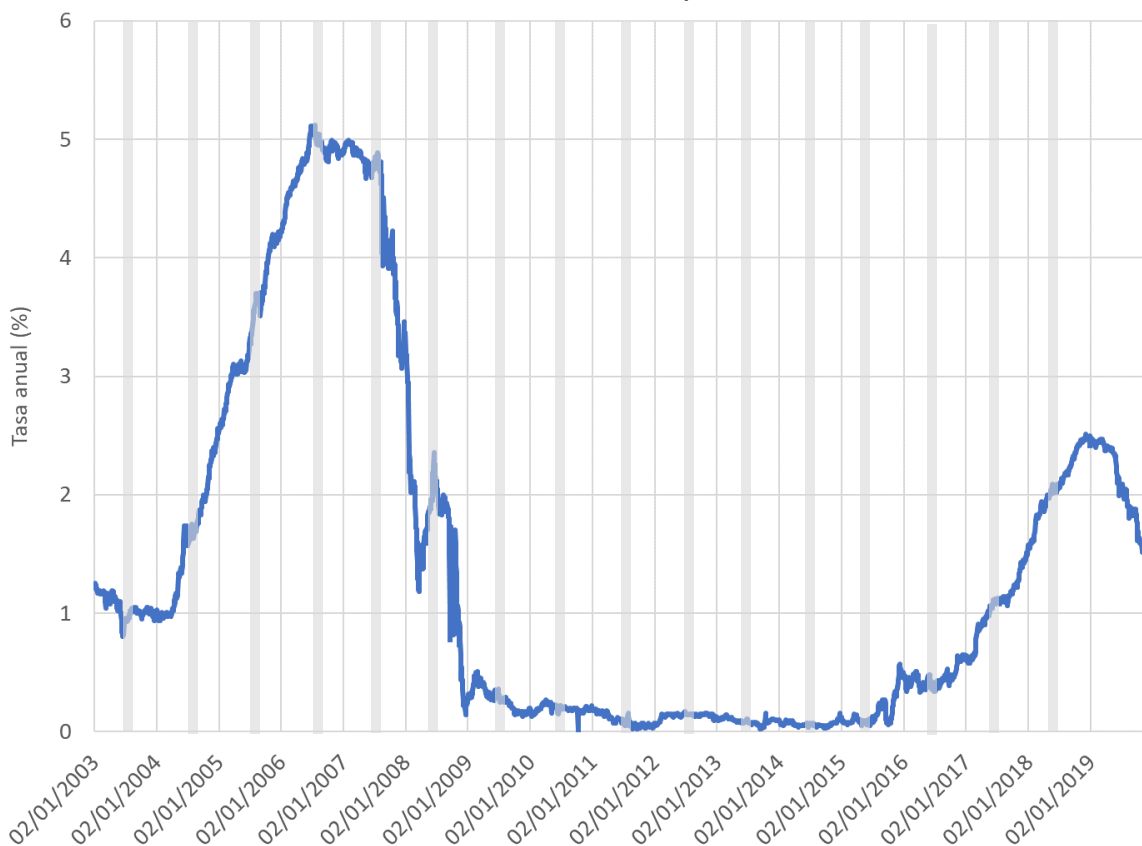
denominamos tasa libre de riesgo. En finanzas, el valor de un activo seguro es fundamental para asignar un precio a los activos y los derivados. La opción libre de riesgo permite calcular qué ganamos si no arriesgamos en absoluto y representa cuánto cuesta financiar una apuesta arriesgada. Esta opción libre de riesgo varía entre individuos y empresas, en función de la disponibilidad de la opción segura. (Schrager, 2019).

En el caso particular de nuestro análisis, se utiliza la tasa de los *t-bills*, en contraste con la tasa libre de riesgo en México, considerando que el ejercicio del recurso se hace en dólares americanos. Es decir, si dicho recurso se quisiera colocar en una opción libre de riesgo, tendría que hacerse en denominación de dólares americanos.

Es importante señalar que la elección de qué valor de *t-bill* utilizar para nuestro análisis es arbitraria y corresponde a la tasa vigente al momento de cerrar el contrato. La decisión de qué valor de tasa utilizar puede impactar en los resultados del costo de la cobertura.

A continuación, se presenta la gráfica 11, que muestra los movimientos de esta tasa a lo largo del tiempo y se sombrea en gris la elección de tasa para cada año.

Gráfica 11. Valor de t-bills en el periodo 2003-2020



Fuente: US Treasury Bonds. Se sombrea los periodos considerados para la estimación del costo de los contratos de opciones de venta de tipo asiático.

Con estos insumos, se estiman los siguientes parámetros para cada una de las distribuciones.

Tabla 5. Parámetros estimados en el Modelo Geométrico Browniano y Alfa-Estable

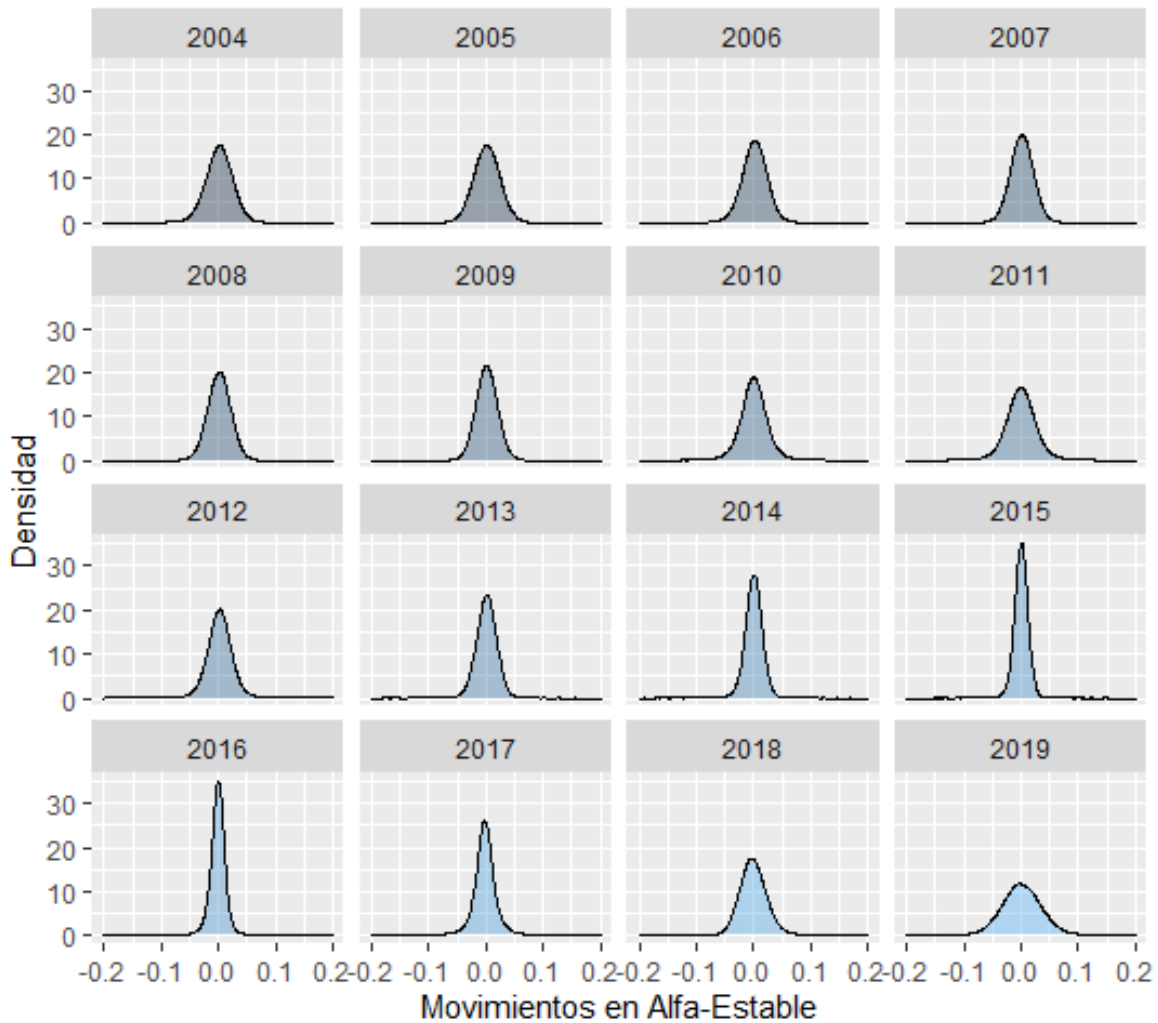
Año	Modelo Geométrico Browniano		Distribución Alfa-Estable			
	Media	Desviación estándar	Alfa (α)	Beta (β)	Gama (γ)	Delta (δ)
2004	0.0028%	0.029	1.744	0.047	0.018	0.0011
2005	0.0048%	0.024	1.765	-0.096	0.015	0.0019
2006	0.0099%	0.026	1.781	-0.217	0.016	0.0025
2007	0.0138%	0.024	1.862	0.116	0.015	0.0017
2008	0.0133%	0.021	1.905	0.439	0.014	0.0010

2009	0.0051%	0.019	1.931	0.281	0.013	0.0013
2010	0.0007%	0.032	1.491	-0.153	0.016	0.0024
2011	0.0006%	0.032	1.548	-0.142	0.017	0.0012
2012	0.0004%	0.023	1.672	-0.022	0.013	0.0022
2013	0.0004%	0.017	1.827	-0.178	0.011	0.0010
2014	0.0002%	0.015	1.714	-0.097	0.009	0.0008
2015	0.0001%	0.012	1.726	-0.112	0.007	0.0002
2016	0.0004%	0.016	1.562	-0.036	0.008	-0.0008
2017	0.0010%	0.026	1.428	0.066	0.012	-0.0019
2018	0.0031%	0.027	1.712	0.148	0.016	-0.0006
2019	0.0060%	0.023	1.635	0.011	0.013	0.0019

Fuente: Estimación propia con base en los rendimientos diarios de los tres años previos a cada año hasta el 31 de julio del año anterior. Por ejemplo, para el año 2004 se consideran los rendimientos diarios desde el primero de enero de 2001 hasta el 31 de julio de 2003.

De manera visual, se puede observar la distribución de los parámetros de Alfa-Estable en la gráfica 12.

Gráfica 12. Parámetros estimados en la distribución Alfa-Estable



Fuente: Elaboración propia con datos de los rendimientos diarios de la Mezcla Mexicana de Exportación

La determinación de observar los últimos tres años para cada uno de los años, con corte al último día de julio del año anterior es una decisión arbitraria en este análisis.

Esta decisión se basa en las conversaciones sostenidas con funcionarios de la SHCP para entender el proceso de estimación de costos y fechas límites para la adquisición de las opciones *put* para el siguiente año fiscal.

En resumen, se señaló que la adquisición de dichas coberturas debe realizarse durante los meses de septiembre a noviembre de cada año fiscal, con el objetivo que dicha cobertura empiece a operar en el primer día de cada diciembre. Esto ocasiona que se deba realizar una estimación del costeo con corte a mediados de año. Con el propósito de tener una estimación certera, se delimita que la evaluación

para el costo de la cobertura se hace, para todos los años, con los datos observables al 31 de julio de cada año, con lo que se proporciona el número máximo de observaciones antes de la negociación.

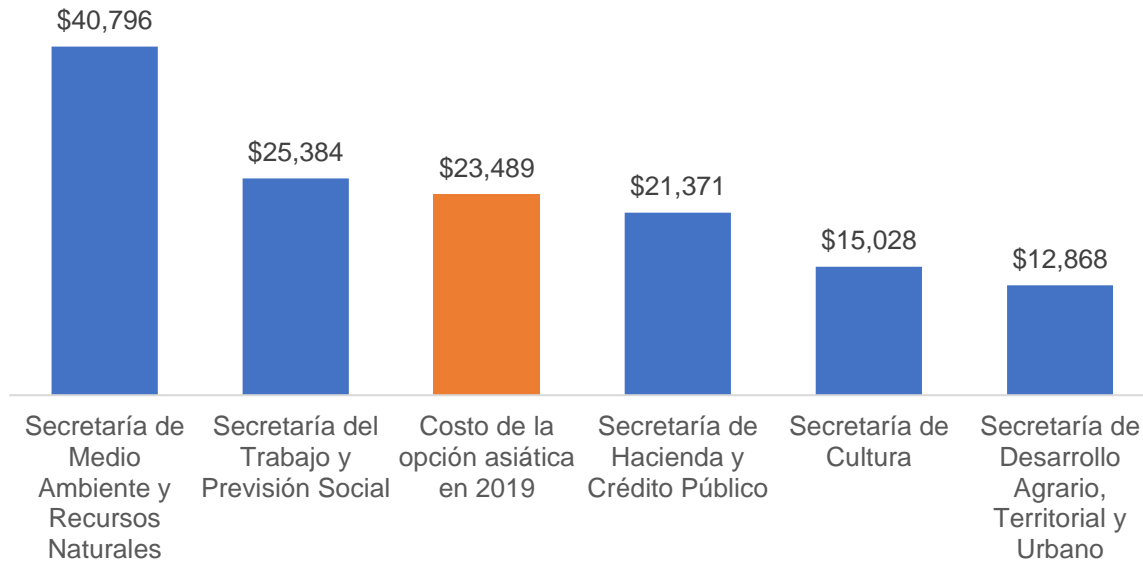
El propósito de estimar el costo unitario por barril de la opción asiática es tener la posibilidad de calcular el costo por barril para estimar distintos montos por cubrir. Estos montos unitarios los utilizaremos para el análisis contrafactual que se presenta más adelante.

Por otro lado, para una comparación rápida y sencilla, recuperamos el costo anual de la cobertura petrolera en 2019 que fue calculado por el Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la Cámara de Diputados, se establece que dicho costo fue de \$23,489 millones de pesos. Al comparar este monto con el presupuesto aprobado en el Presupuesto de Egresos de la Federación de dicho año para distintas dependencias, observamos que el costo es incluso superior a Secretarías como la de Hacienda y Crédito Público (SHCP), Cultura, y Desarrollo Agrario (SEDATU), representa más de la mitad de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), y es casi equivalente al monto destinado a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) (CEFP, 2017).

Por tanto, considerando el alto monto destinado para la contratación de estas coberturas petroleras y el costo de oportunidad de haber podido utilizar este recurso en otro tipo de proyectos gubernamentales, tales como salud, educación, cultura, ordenamiento territorial, entre otros, el análisis de esta tesis contempla evaluar si dicha adquisición de opciones asiáticas resulta la mejor estrategia financiera para recursos limitados como son el erario.

En la siguiente gráfica se presenta el recurso asignado en el Presupuesto de Egresos de la Federación para algunas Secretarías del Gobierno Federal y su comparación con el gasto ejercido para la contratación de la opción asiática.

Gráfica 13. Presupuesto anual de dependencias del Gobierno Federal
(millones de pesos)



Fuente: Elaboración propia con datos del Presupuesto de Egresos de la Federación 2019 y cifras de la CEF 2017

3.2. Estimación del costo de opciones europeas y asiáticas, con supuestos de distribución Normal y distribución de Alfa-Estable en rendimientos bajo una tasa libre de riesgo

A continuación, se presentan las estimaciones del costo de las opciones de venta diferenciadas entre supuestos de los rendimientos, considerando una tasa libre de riesgo.

El primer aspecto para destacar es que el costo de las opciones de venta de tipo asiático, sin importar la distribución que se utilice, resulta menor que el costo de las opciones de venta del tipo europeo, como se espera en la teoría. Como se discutió en la sección 2.6, esto se debe a que, al tomar el valor promedio del activo subyacente, se minimiza la probabilidad de observar un precio fuera de rango en la fecha de ejercicio.

El segundo punto por señalar es que, en general y de manera no sorprendente, el costo de los contratos de opción de venta resulta ser más barato bajo el supuesto de

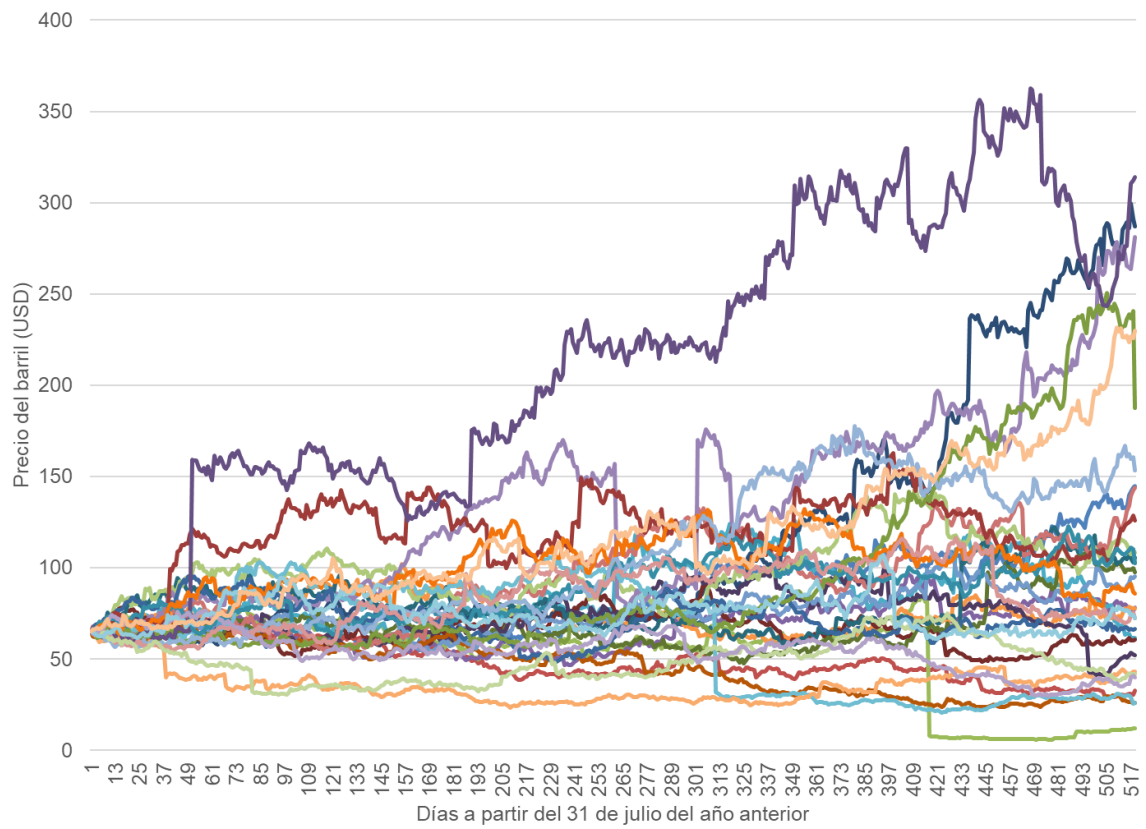
distribución normal en contraste con los costos estimados bajo la distribución Alfa-Estable.

En línea con lo que se había discutido en la sección 2.1, se aprecia que la diferencia de precio se debe al hecho de que las distribuciones Alfa-Estable dan mayor peso a las colas, haciéndolas más factibles de suceder, aumentando la volatilidad del precio del crudo, *ergo*, el costo de las opciones. Por ejemplo, para el año 2004, el costo estimado bajo el uso del Movimiento Geométrico Browniano para una opción *put* de tipo asiático rondaba los \$8.09 dólares por barril, mientras que bajo la estimación de la distribución Alfa-Estable el costo estimado resultó de \$9.89 dólares por barril.

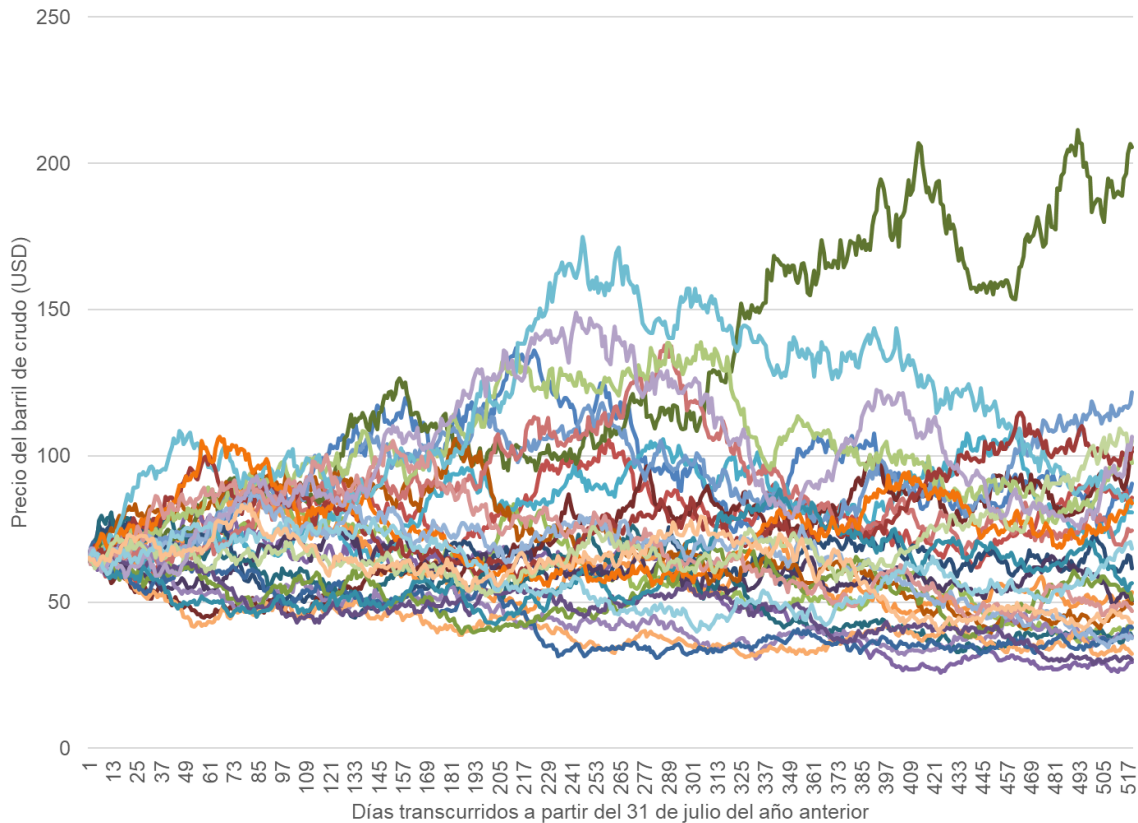
Para la estimación del costo de las opciones de venta, se plantea el siguiente modelo:

- 1) A partir del precio observado el día 31 de julio del año anterior, se simulan 514 periodos para cubrir el siguiente año. Los 514 periodos representan los días que transcurren entre el 01 de agosto de un año anterior hasta el 31 de diciembre del año en cuestión. Cada una de las observaciones representa un día, por lo que en cada corrida se estiman 17 meses. Estas simulaciones se realizan utilizando los parámetros estimados en la Tabla 5 de las siguientes dos modalidades: una sobre el Movimiento Geométrico Browniano y la otra bajo la distribución Alfa-Estable.
- 2) Para cada año y forma, se simulan 10,000 observaciones hacia delante. Enseguida se muestran algunas simulaciones para el año 2019 bajo la distribución Alfa-Estable y el Movimiento Geométrico Browniano. En las siguientes gráficas, nótese que las variaciones de precios son más pronunciadas al estimarse bajo la distribución Alfa-Estable, pues se observan más de un escenario en donde el precio de la MME supera los \$200 dólares por barril, mientras que en el Movimiento Geométrico Browniano sólo sucede en una ocasión para los 30 escenarios desplegados como se puede apreciar en las Gráficas 14 y 15.

Gráfica 14. Ejemplo de 30 escenarios simulados en el año 2019 bajo distribución Alfa-Estable



Gráfica 15. Ejemplo de 30 escenarios simulados en el año 2019 bajo Movimiento Geométrico Browniano



- 3) Una vez que se tienen las 10 mil simulaciones, se observan los 10 mil precios de cierre en la fecha de ejercicio y se comparan aquellos que se encuentran por debajo del precio de ejercicio (considerando que se trata de una opción de venta, dicha opción se ejercerá solamente cuando el precio en la fecha de ejercicio se encuentre por debajo del precio de ejercicio).
- 4) Aquellas diferencias negativas calculadas en el paso 3 se reemplazan con el valor de cero, dado que el precio de ejercicio se encuentra por debajo de los precios observados, por lo cual, bajo estos escenarios nunca sería ejercida la opción.
- 5) Se calcula el valor promedio de este vector de diferencias. A dicho valor se le denomina Promedio de Función de Pago.
- 6) Con la siguiente fórmula se estima el costo promedio de las opciones, bajo las distintas distribuciones:

$$\text{Costo}_t = \theta_t * e^{-\left(\frac{\text{dias}}{365}\right)\mu}$$

donde,

Costo_t es el costo estimado de la opción en el año t ,

θ_t es el Promedio de Función de Pago, calculado de acuerdo con el Paso 5,

dias es el número de días transcurridos a partir de la primera observación, en este caso, 514 días,

μ es la tasa libre de riesgo

A partir de los pasos anteriores, se determina el costo de las opciones bajo las dos modalidades. Los resultados se pueden apreciar en la tabla 6.

Tabla 6. Insumos para la determinación del precio de la opción, considerando una opción de tipo asiático

Año	Precio de la MME el 31 de julio del año anterior (USD por barril)	Precio de ejercicio en el año en curso (USD por barril)	Costo de la opción de compra bajo MGB (USD por barril)	Costo de la opción de compra bajo Alfa-Estable (USD por barril)
2004	24.93	30	7.97	5.87
2005	33.68	32	4.16	3.84
2006	46.52	42	5.08	5.41
2007	60.96	50	3.75	2.68
2008	67.49	46.8	1.08	0.53
2009	115.7	70	0.62	0.46
2010	65.8	57	8.48	35.41
2011	71.11	63	10.59	43.42
2012	105.07	85	6.64	17.69
2013	96.06	86	5.82	6.10
2014	100.87	81	2.26	6.46
2015	93.61	79	1.76	6.94
2016	45.63	44	4.11	16.07
2017	35.92	33	4.45	21.57

2018	46.8	39	4.29	9.12
2019	65.09	50	2.94	10.43

USD: Dólares americanos

MGB: Modelo Geométrico Browniano

De manera informativa, en la tabla 7 se incluyen los resultados de las opciones bajo contratos de tipo europeo. Esto con el fin de contrastar los resultados con un contrato de tipo asiático. Se puede observar que en todos los casos y sin importar si se trata de la Distribución Alfa-Estable o el Movimiento Geométrico Browniano, el costo de las opciones bajo el modelo europeo resultan más costosas que las del modelo asiático, en línea con lo que se discutió en la sección 2.8 de este documento.

*Tabla 7. Costo de las opciones de compra bajo distintas distribuciones
(USD por barril)*

Año	Movimiento Geométrico Browniano		Distribución Alfa-Estable	
	Tipo Asiático	Tipo Europeo	Tipo Asiático	Tipo Europeo
2004	8.09	9.89	9.82	12.96
2005	4.23	6.02	8.18	11.62
2006	5.18	7.68	14.53	20.84
2007	3.75	6.27	3.77	5.85
2008	1.10	2.62	0.53	1.08
2009	0.65	2.20	0.54	1.49
2010	8.87	13.40	38.40	50.82
2011	10.35	15.30	40.14	52.10
2012	6.56	11.26	18.38	28.56
2013	5.95	9.53	14.70	23.20
2014	2.18	4.71	10.51	18.56
2015	1.83	3.69	7.84	13.97
2016	4.08	5.81	10.36	15.29
2017	4.42	6.49	29.89	70.90
2018	4.18	6.81	6.82	12.02
2019	2.87	5.43	11.53	18.84

Fuente: Estimación propia con base en los parámetros mostrados en la Tabla 4 de este estudio

3.3. Resultados del costo de las opciones de compra bajo distribución Normal

Utilizando los datos que se muestran en la Tabla 5, se estima el flujo de efectivo acumulativo del FEIP. Este Fondo se construye sumando, cada año, un monto equivalente al gasto asociado a la compra de las opciones asiáticas, es decir, en caso de no haber ejercido el recurso en las opciones de tipo asiático, cuánto dinero tendríamos en el portafolio para las inversiones.

Una vez estimado el monto estimado para la adquisición de las opciones de venta, se hipotetiza que dicho recurso será invertido en un Fondo de Inversión Cotizado (Exchange Traded Fund, o ETF, por sus siglas en inglés). Los ETF son instrumentos de inversión cuyos títulos se negocian en las Bolsas de Valores, similar a las acciones bursátiles (BBVA, 2022). En este análisis, se plantea la misma cantidad de barriles cubiertos por la opción, sin disminuir su volumen.

Para el caso de nuestro análisis, se eligieron dos ETF que se encuentran ligados a dos índices bursátiles, que a su vez reflejan dos sectores distintos. Los precios de ambos ETF son públicos y están disponibles en Yahoo! Finance:

- *ETF basado en S&P 500:* Este índice bursátil fue creado en 1923 por la empresa Standard & Poor's y actualmente conglomerada 500 empresas, que representan aproximadamente 80% de la capitalización del mercado disponible. Este índice toma en cuenta las siguientes variables para su incorporación: alta capitalización bursátil, liquidez, tamaño, grado de internacionalización y tiempo cotizando en la bolsa.

En general, se piensa al S&P 500 como un índice de las empresas más representativas del mercado, con una representación específica de empresas industriales. Para este ejercicio en particular, nuestro ETF de referencia es el Schwab S&P 500 Index Fund (Clave bursátil: SWPPX).

- *ETF basado en NASDAQ:* Es el índice norteamericano que conglomerada las empresas tecnológicas más importantes del mundo. Fue fundado en 1971 y actualmente acumula alrededor de 3,800 empresas y corporaciones.

El ETF basado en este índice se basan principalmente en empresas de tipo tecnológico, informático y telecomunicaciones. Para este ejercicio en particular, nuestro ETF de referencia es el INVESCO QQQ Trust (Clave Bursátil: QQQ), el cual replica el comportamiento y desempeño del NASDAQ 100.

Una vez que se tiene el recurso que se hubiera destinado a la compra de opciones de venta, se destina dicho recurso para la adquisición de acciones en los ETF descritos anteriormente.

El precio utilizado para la estimación de los índices bursátiles es el precio observado al 31 de julio de cada año de dicho índice. Se utiliza este valor bajo la consideración que será en dicha fecha cuando se cuente con el recurso destinado para la contratación de opciones y, por tanto, podrá adquirir estas opciones. A continuación, en la tabla 8 se presenta el costo de los índices bursátiles al cierre del 31 de julio de cada año.

Tabla 8. Costo de los índices bursátiles al 31 de julio de cada año

Año	Costo de la acción del índice bursátil INVESCO QQQ (USD)	Costo de la acción del índice bursátil SWPPX (USD)
2004	\$34.89	\$17.16
2005	\$39.58	\$19.22
2006	\$37.10	\$19.90
2007	\$47.53	\$22.71
2008	\$45.46	\$19.83
2009	\$39.45	\$15.45
2010	\$45.81	\$17.32
2011	\$58.00	\$20.32
2012	\$64.80	\$21.72
2013	\$75.77	\$26.52
2014	\$95.02	\$30.46
2015	\$111.95	\$33.21
2016	\$115.23	\$33.95
2017	\$143.23	\$38.40
2018	\$176.45	\$43.84

2019	\$191.10	\$46.06
------	----------	---------

Fuente: Yahoo Finance (2021)

USD: Dólares americanos

A continuación, cada año se asume la venta de las acciones de dichos índices y se vuelve a recomprar el número de acciones que alcancen con base en el recurso disponible para las opciones de venta más el obtenido con la venta de las acciones en dicho periodo. Este ejercicio se hace cada año al 31 de julio.

El único retiro anual de recursos de los fondos se realiza en la misma cantidad que los pagos entregados por las opciones de venta asiáticas. Los montos que han sido cobrados por parte del Gobierno Federal de México por el ejercicio de las opciones de venta fueron obtenidos a través de los registros del gobierno en su reporte de ejercicios presupuestales (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas (2017, 2020).

En la tabla 9, se muestra el balance anual de las tres estrategias, las cuales son:

- a) Seguimos la estrategia actual: comprar el contrato de opción de venta asiática,
- b) Estrategia de invertir los costos de venta asiáticos en un Fondo de Inversión Cotizado (ETF) basado en NASDAQ (ETF INVESCO QQQ),
- c) Estrategia de invertir los costos de venta asiáticos en un Fondo de Inversión Cotizado (ETF) basado en SP500 (ETF SWPPX).

Cabe resaltar que en este análisis, estas estrategias son mutuamente excluyentes entre sí, es decir, no es posible destinar recursos a ambos índices en un mismo año y se invierte de manera obligatoria en ellos durante este periodo. Este supuesto no es consistente de lo que puede suceder en el mundo real, dado que un portafolio de inversión puede contener ciertos activos de un índice y de otro, buscando diversificar el riesgo y/o maximizar su ganancia.

A partir de la metodología descrita, y utilizando los valores del costo de las opciones bajo el Movimiento Geométrico Browniano, en las siguientes tablas se presentan los resultados de tres escenarios de inversión.

Tabla 9. Balance del Fondo al final del año bajo tres distintos escenarios de inversión y Movimiento Geométrico Browniano

Año	Costo total de un contrato put (miles de millones USD)	Balance acumulado de la Estrategia 1. Compra de opciones put (miles de millones USD)	Balance acumulado de la Estrategia 2. Inversión en NASDAQ (INVESCO QQQ) (miles de millones USD)	Balance acumulado de la Estrategia 3. Inversión en SP 500 (SWPPX) (miles de millones USD)
2004	\$3.587	-\$3.587	.	.
2005	\$1.873	-\$5.460	\$0.482	\$0.431
2006	\$2.309	-\$7.769	\$0.110	\$0.639
2007	\$1.499	-\$9.268	\$2.325	\$1.826
2008	\$0.469	-\$9.737	\$1.820	\$0.419
2009	\$0.203	-\$5.177	-\$4.471	-\$6.588
2010	\$1.950	-\$7.127	-\$3.590	-\$6.182
2011	\$2.350	-\$9.477	-\$1.381	-\$5.193
2012	\$1.401	-\$10.878	\$0.127	-\$4.570
2013	\$1.263	-\$12.141	\$2.796	-\$2.123
2014	\$0.485	-\$5.844	\$1.020	-\$6.708
2015	\$0.401	-\$3.365	\$1.419	-\$8.624
2016	\$0.871	-\$4.236	\$1.982	-\$8.420
2017	\$1.111	-\$5.347	\$6.998	-\$7.077
2018	\$0.687	-\$6.034	\$13.207	-\$5.279
2019	\$0.588	-\$6.623	\$16.003	-\$4.510

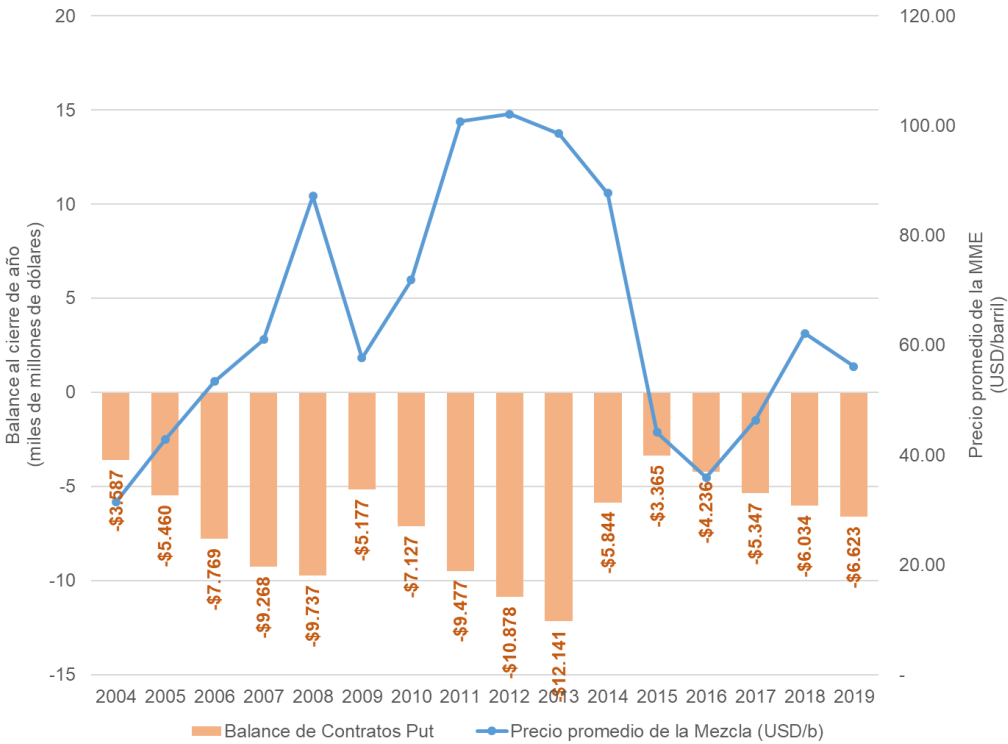
USD: Dólares americanos

En la Tabla 9, podemos observar que el saldo acumulado bajo la estrategia actual, con base en la compra de contratos de opción de venta, termina con el saldo negativo más significativo, USD -\$6.623 miles de millones. Por otro lado, el mejor saldo acumulado es el ETF basado en NASDAQ, con USD \$16.003 miles de millones al cierre de 2019.

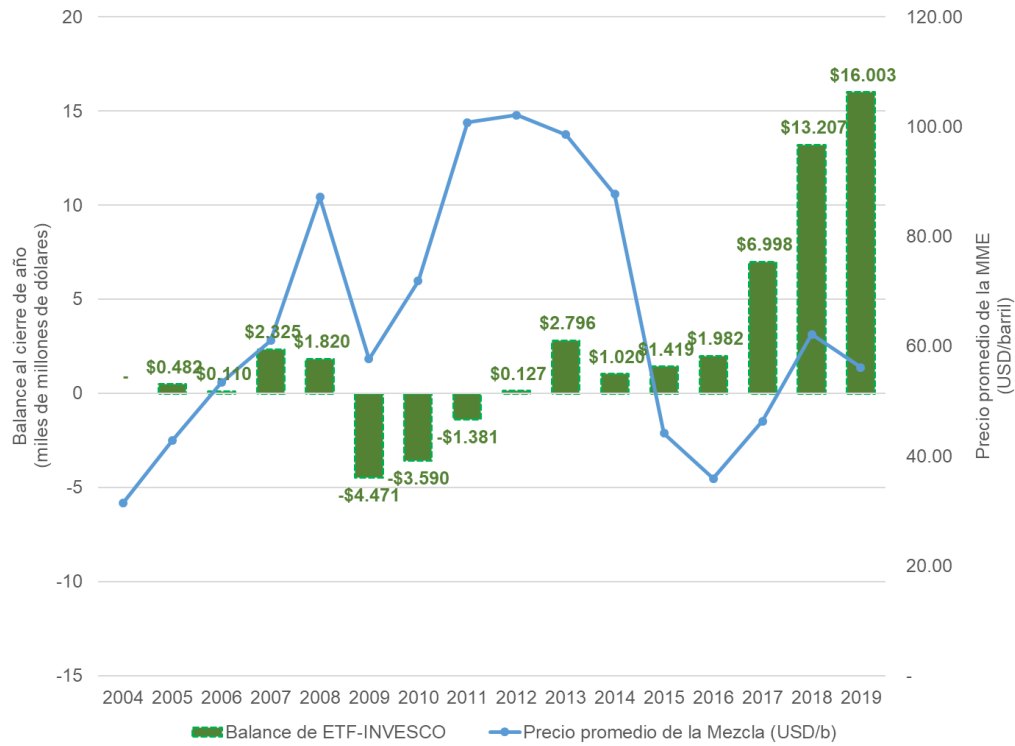
Se enfatiza que el ETF basado en NASDAQ presenta un saldo acumulativo más alto que las otras estrategias casi todos los años. Observamos que este no es el caso del ETF basado en SP500, que presenta ingresos negativos para 2009, 2015 y 2016, coincidiendo con los años de fuertes caídas en el precio de la Mezcla Mexicana de Exportación.

A continuación, se muestra de manera gráfica el balance de las tres estrategias al cierre de cada año. Ver gráficas 16 a 18.

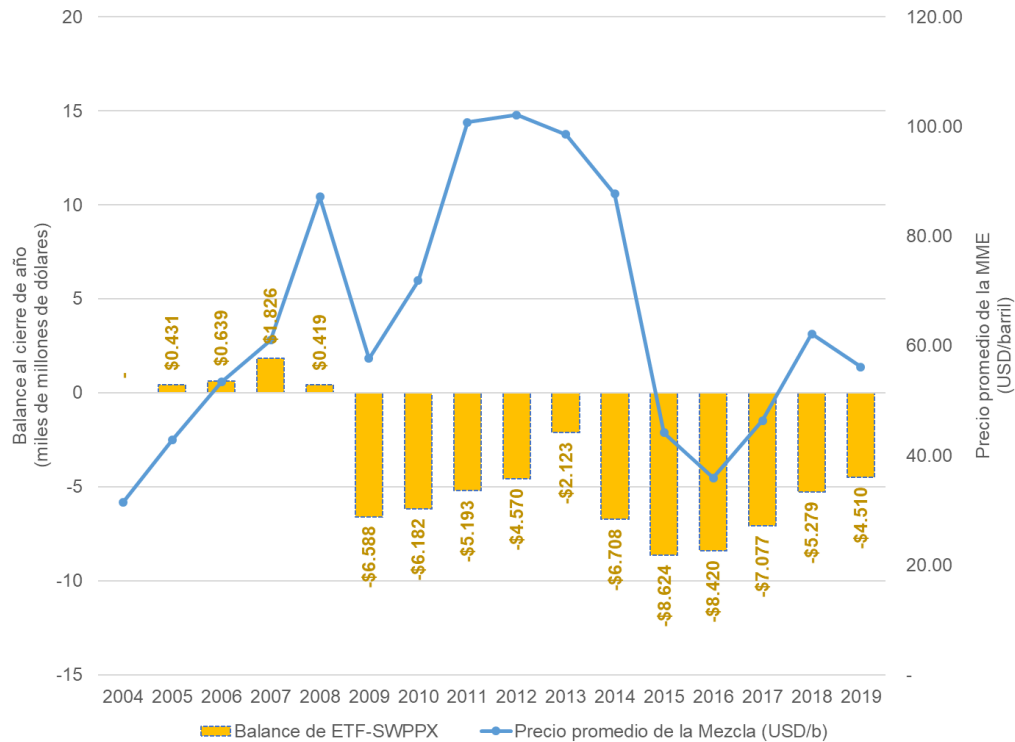
Gráfica 16. Balance al cierre de cada año de la estrategia actual de compra de contratos de opción de venta (opción put)



Gráfica 17. Balance al cierre de cada año de la estrategia de adquisición de acciones en el índice bursátil de INVESCO QQQ



Gráfica 18. Balance al cierre de cada año de la estrategia de adquisición de acciones en el índice bursátil de SWPPX



3.4. Resultados del costo de las opciones de compra bajo distribución Alfa-Estable

A continuación, se replica el ejercicio presentado en el punto anterior, pero en esta ocasión se utilizan los valores del costo estimado en las opciones bajo una distribución Alfa-Estable. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Balance del Fondo al final del año bajo tres distintos escenarios de inversión y distribución Alfa-Estable

Año	Costo total de un contrato put (miles de millones USD)	Balance acumulado de la Estrategia 1. Compra de opciones put (miles de millones USD)	Balance acumulado de la Estrategia 2. Inversión en NASDAQ (INVESCO QQQ) (miles de millones USD)	Balance acumulado de la Estrategia 3. Inversión en SP 500 (miles de millones USD)
2004	5.870	\$2.641	.	.
2005	3.844	\$1.730	\$0.355	\$0.317
2006	5.408	\$2.457	\$0.059	\$0.483
2007	2.684	\$1.074	\$1.995	\$1.515
2008	0.533	\$0.232	\$1.564	\$0.321
2009	0.459	\$0.151	-\$4.482	-\$6.310
2010	35.410	\$8.144	-\$3.868	-\$6.071
2011	43.422	\$9.640	-\$0.526	-\$4.277
2012	17.695	\$3.734	\$2.469	-\$2.775
2013	6.102	\$1.324	\$7.932	\$3.198
2014	6.457	\$1.388	\$11.074	\$1.516
2015	6.942	\$1.583	\$15.961	\$1.708
2016	16.073	\$3.407	\$17.427	\$2.506
2017	21.567	\$5.392	\$30.776	\$7.750
2018	9.122	\$1.461	\$47.863	\$14.926

2019	10.432	\$2.086	\$55.520	\$17.928
------	--------	---------	----------	----------

USD: Dólares americanos

En la Tabla 10, se pueden observar los resultados bajo los costos estimados en una distribución Alfa-Estable. Aunque las conclusiones generales de la Tabla 10 coinciden con las de la Tabla 9, cabe resaltar que las cifras para los ETF basado en el NASDAQ y en el S&P 500 se convierten en positivas, mientras que la estrategia actual no logra compensar los nuevos costos estimados de las opciones *put*.

Evidentemente, los balances mostrados en las Tablas 9 y 10 suponen el comportamiento que tuvieron ambos índices bursátiles en el periodo marcado, el cual puede ser distinto hacia el futuro. Es por ello, que la comparación presentada en este análisis sirve de referencia para sugerir la diversificación del recurso en distintos canales y, de ninguna manera, no supone que lo que funcionó en el pasado continuará de la misma manera en el futuro.

3.5. Correlación entre los índices bursátiles del NASDAQ y SP-500 con los precios del crudo marcador

Una posible objeción a nuestro modelo es la posible correlación entre el precio del petróleo y el comportamiento de cualquier índice bursátil. La objeción reside en que una cobertura debe estar en función de un activo subyacente con poca o inversa relación al precio del petróleo, de lo contrario, un ciclo bajista del precio del petróleo podría contagiar de manera negativa el desempeño de los índices bursátiles, o viceversa, y limitar su efecto compensatorio en la reducción de ingresos petroleros. Básicamente, se requiere una alternativa que, en tiempos de crisis del activo subyacente, no contagie a dicho activo.

Como se planteó en la sección 1.3 de este documento, el objetivo de los Fondos Soberanos de Inversión es aislar a un país (o en su caso, una empresa) de las variaciones de los precios de los productos, el ciclo económico o la enfermedad holandesa. Para cada una de estas situaciones se presentan escenarios negativos que pueden afectar la rentabilidad o expectativa de ingreso. Por ejemplo:

- En el caso de los precios de los productos, la baja de éstos en el mercado internacional afecta directamente la fuente de ingresos y podría ser causa de una disminución en la rentabilidad,
- El ciclo económico de un activo subyacente debe ser tomado en cuenta para estimar el alza o baja de los ingresos,

- La enfermedad holandesa, que se refiere a aquellos efectos no deseados de la entrada súbita de ingresos de divisas extranjeras en un país, comúnmente relacionado a la exportación de recursos naturales.

De esta manera, se argumenta que un Fondo Soberano de Inversión debe tener una correlación baja o inversamente proporcional con el activo subyacente que se trate de proteger, de lo contrario, un ciclo bajista contagiaría al activo y al instrumento de administración de riesgo que, en teoría, minimizaría el impacto de este ciclo bajista.

Para superar esta posible deficiencia, calculamos la correlación entre el ETF basado en NASDAQ, así como el ETF basado en S&P 500. Estos dos fondos cotizados en bolsa (ETF por sus siglas de inglés) cuentan con la ventaja de tener liquidez diaria y datos históricos disponibles, por lo que nos es posible calibrar sus rendimientos diarios contra las opciones asiáticas. Si los rendimientos del ETF y el precio del petróleo están altamente correlacionados, mantener los fondos del ETF será muy similar a mantener el activo, creando un riesgo no diversificado. Por otro lado, si no están muy correlacionados, el país (o la empresa) presentará una cartera diversificada que podrá evitar la enfermedad holandesa (esterilizando los fondos recibidos en las subidas del precio del petróleo) y controlará los fondos secos cuando el precio del petróleo haya disminuido.

En la tabla 11, examinamos la dependencia entre los rendimientos diarios del precio de la Mezcla Mexicana de Exportación con sus correspondientes rendimientos diarios de los ETF. Mostramos los coeficientes de correlación de Pearson durante 2000-2020 y el número de observaciones.

Tabla 11. Coeficientes Pearson de correlación entre el precio de la MME y distintos índices bursátiles

Base del índice bursátil	Coeficiente Pearson de correlación	Número de observaciones
SP-500	0.1779	4,996
NASDAQ	0.1171	5,102

Se observa que la correlación con ambos índices es baja. Al tener un índice de correlación bajo, se puede considerar que la adquisición de valores en dichos Fondos Cotizados de Inversión sí sería funcional para proteger la caída de ingresos petroleros en un ciclo bajista del mercado de hidrocarburos. Es decir, una baja en

el precio del petróleo tiene poco que ver con el mercado de los índices bursátiles que mostramos, por lo que estaríamos seguros al invertir nuestro recurso en dichos ETF.

Por tanto, se puede rechazar la hipótesis de que invertir en este tipo de ETF exacerbaría las ganancias / pérdidas del precio que se tenga en la Mezcla Mexicana de Exportación.

Vale la pena señalar cómo el ETF basado en NASDAQ tiene un coeficiente de correlación más bajo que el ETF basado en S&P 500. Esto no es sorprendente dado que un número de empresas que figuran en el SP-500 dependen del consumo del petróleo, mientras que índice bursátil del NASDAQ conglomerada a las empresas de tecnología, menos dependientes del consumo del crudo en sus procesos.

Estos valores nos aseguran que, no sólo es útil la contratación de acciones en estos ETF en términos de rentabilidad, sino también son activos subyacentes que funcionan bien como mecanismo de cobertura ante ciclos a la baja en el mercado petrolero, al no estar relacionado con el mismo.

CAPÍTULO 4. TRANSICIÓN PARA LA IMPLEMENTACIÓN A UN FONDO SOBERANO DE INVERSIÓN

Claramente, la sugerencia de transitar de un modelo aclamado políticamente de manera interna en México, e implementado por administraciones de distintas ideologías podría resultar en un alto costo político para la administración que decida cambiar la contratación de este tipo de opciones.

Asimismo, la cancelación de este tipo de contratos podría suponer una caída fuerte en los ingresos el Gobierno Federal si, precisamente, en el año de la cancelación ocurre un escenario bajista en el precio del crudo. Este escenario podría poner en predicamento las finanzas públicas del país y representar un costo político altísimo para la administración que haya decidido no continuar con la contratación de estas opciones, al no contar con reservas suficientes ni cobertura de precios para cubrir el ingreso faltante, el cual fue el objetivo principal de estas coberturas como se explicó en el Capítulo 1 de este documento.

En este Capítulo, se plantea una alternativa de implementación para minimizar los riesgos que se acaban de describir. Esta alternativa implica que la transición se haga de manera paulatina, utilizando el Fondo para la contratación de opciones de venta como hasta ahora se ha hecho, pero disminuyendo su dependencia en el tiempo.

4.1. Transición del recurso para inversión en índices bursátiles

A partir de distintos escenarios, se plantean diferentes vías de transición, incluyendo alternativas ambiciosas y paulatinas. Para estos escenarios se incluye una nueva estimación en el estudio, la cual corresponde al monto que se cobraría de la cobertura petrolera, dado que, bajo estos nuevos escenarios, se reduce el monto de volumen cubierto.

En específico, se tiene la siguiente ecuación:

$$C_t = \begin{cases} (Strike_t - \bar{\mu}_t) * \Delta_t, & \text{si } Strike_t > \bar{\mu}_t, \\ 0, & \text{si } Strike_t < \bar{\mu}_t \end{cases}$$

donde,

C_t es el monto cobrado por el ejercicio de la opción de venta en el año t ,

$Strike_t$ es el precio de ejercicio en el año t ,

$\bar{\mu}_t$ es el precio promedio de Mezcla Mexicana de Exportación en el año t ,

Δ_t es el volumen cubierto para la exportación de la MME en el año t

Opción 1. Transición paulatina a partir del séptimo año, con un cambio en el recurso de 10% anual

A partir de los datos observados de 2004 a 2019, se plantea una transición en la que, a partir del séptimo año, se comience a destinar 10% del recurso presupuestado para la compra de opciones de venta hacia adquisición de acciones de índices bursátiles, tanto INVESCO QQQ como SWPPX.

En la tabla 12 se muestran los balances acumulados de cada una de las estrategias, tomando en cuenta la Opción 1. Se simula cuál hubiera sido el balance al final del año en caso de haber destinado los recursos a cada una de las estrategias y, considerando su rendimiento observado, reduciendo de manera anual en 10% a partir del séptimo año. Los resultados presentados reflejan el balance general que hubiera tenido al 31 de diciembre de cada año.

Tabla 12. Balance de la Opción 1 de transición al cierre de cada año

Año	Volumen original por cubrir (mmb)	Volumen por cubrir por transición de recursos (mmb)	Estrategia actual (Sin reducción en cobertura)	
			Balance acumulado al cierre de año bajo MGB (miles de mmUSD)	Balance acumulado al cierre de año bajo AE (miles de mmUSD)
2004	450	450		
2005	450	450	-\$3.59	-\$2.64
2006	454	454	-\$5.46	-\$4.37
2007	400	400	-\$7.77	-\$6.83
2008	435	435	-\$9.27	-\$7.90
2009	330	330	-\$9.74	-\$8.13
2010	230	207	-\$5.18	-\$3.52
2011	222	178	-\$7.13	-\$11.66
2012	211	148	-\$9.48	-\$21.31

2013	217	130	-\$10.88	-\$25.04
2014	215	108	-\$12.14	-\$26.36
2015	228	91	-\$5.84	-\$20.97
2016	212	64	-\$3.36	-\$19.67
2017	250	50	-\$4.24	-\$23.08
2018	160	16	-\$5.35	-\$28.47
2019	200	-	-\$6.03	-\$29.93

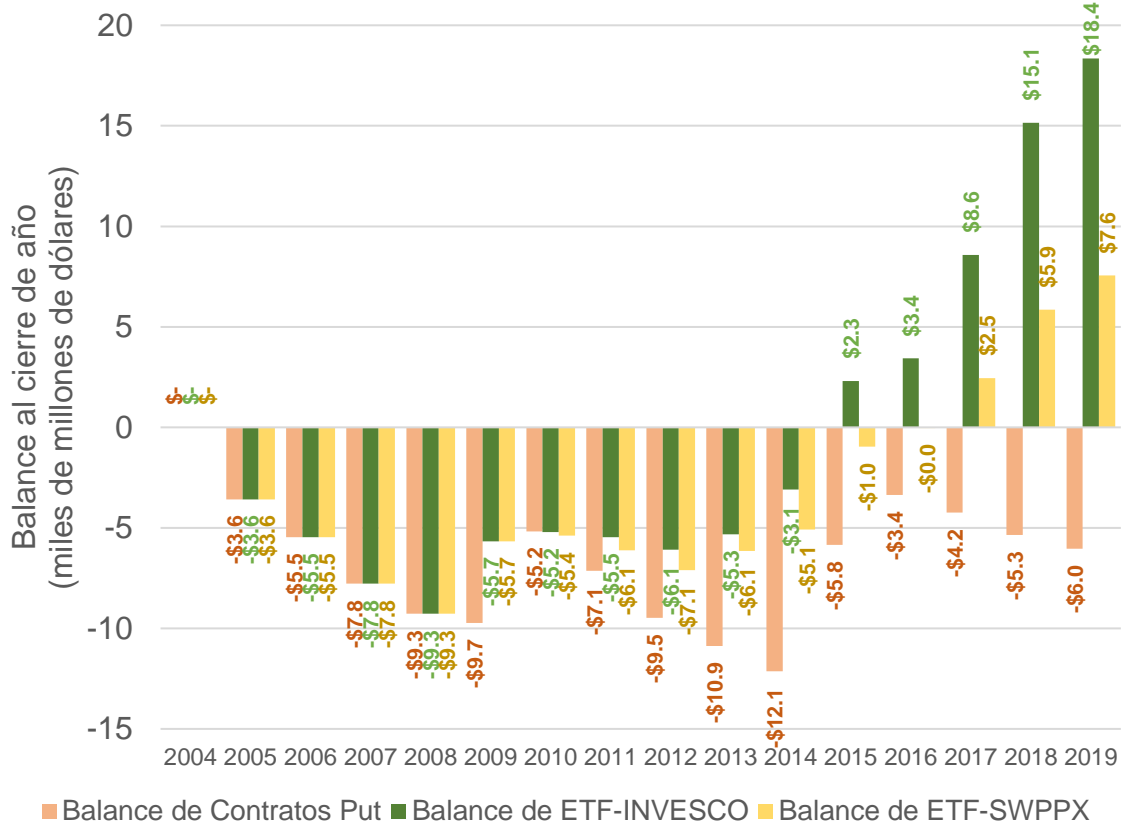
Continuación de Tabla 12

Año	Balance de transición a INVESCO		Balance de transición a SWPPX	
	QQQ			
	Balance al cierre de año bajo MGB (miles de mmUSD)	Balance al cierre de año bajo AE (miles de mmUSD)	Balance al cierre de año bajo MGB (miles de mmUSD)	Balance al cierre de año bajo AE (miles de mmUSD)
2004	.	.	.	.
2005	-3.59	-2.64	-3.59	-2.64
2006	-5.46	-4.37	-5.46	-4.37
2007	-7.77	-6.83	-7.77	-6.83
2008	-9.27	-7.90	-9.27	-7.90
2009	-5.67	-4.07	-5.67	-4.07
2010	-5.22	-3.56	-5.38	-3.72
2011	-5.47	-8.60	-6.12	-9.31
2012	-6.09	-13.34	-7.11	-14.52
2013	-5.31	-12.95	-6.15	-13.83
2014	-3.09	-9.78	-5.07	-12.21
2015	2.31	-3.46	-0.95	-7.66
2016	3.43	-1.90	-0.03	-6.37
2017	8.58	6.40	2.46	-1.85
2018	15.15	18.86	5.86	5.85
2019	18.35	24.21	7.56	8.91

mmb: millones de barriles
 mmUSD: millones de dólares

De manera gráfica, se puede observar en la gráfica 19 el balance al final de cada año de la siguiente manera bajo la metodología del Movimiento Geométrico Browniano:

Gráfica 19. Balance de la Opción 1 de transición al cierre de cada año bajo MGB



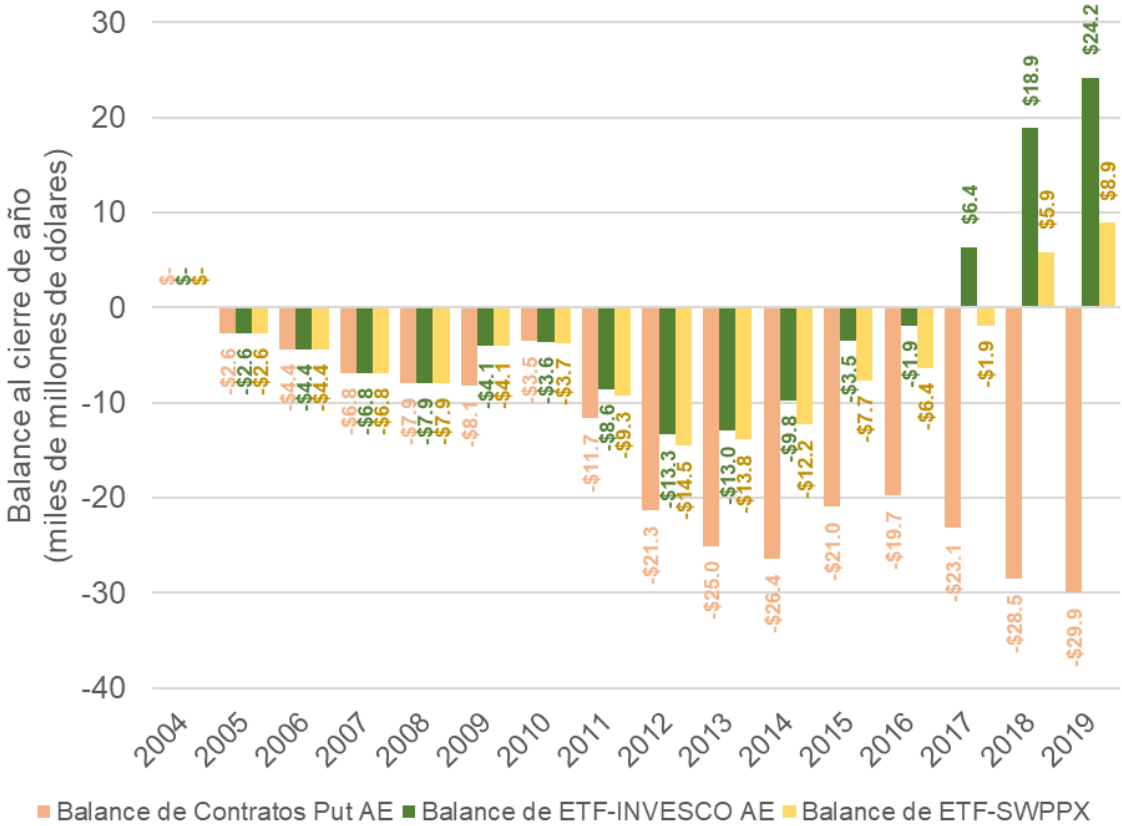
Se observa que a partir del año 2010, fecha en que comienza la transición del recurso destinado a la contratación de compra de opciones de venta hacia inversiones en los Fondos Soberanos de Inversión basados en los índices bursátiles, el balance al cierre de cada año empieza a convertir en positivo, contrario a lo que se observa bajo la Estrategia Actual de contratación de contratos de opciones de venta.

En particular, se puede observar que el balance al final de 2019 para las inversiones en el ETF basado en INVESCO QQQ cierra en \$18.4 miles de millones de dólares,

mientras el ETF basado en SWPPX alcanza un balance positivo de \$7.6 miles de millones de dólares. Cabe resaltar que estos resultados resultan superiores contra lo que se observa en la tabla 9, en donde se tiene que el balance al cierre de 2019 para el ETF basado en INVESCO QQQ cierra en \$16.003 miles de millones de dólares mientras que el ETF basado en SWPPX tiene un balance negativo de \$4.510 miles de millones de dólares. Esto derivado de que se evitan los bajos rendimientos observados en los índices bursátiles durante los primeros siete años.

Utilizando la metodología de la distribución Alfa-Estable, se pueden observar los balances de la siguiente manera:

Gráfica 20. Balance de la Opción 1 de transición al cierre de cada año bajo la distribución Alfa-Estable



Similar a los resultados bajo la metodología del Movimiento Geométrico Browniano, se tiene que, a partir del año 2010, el balance al cierre de cada año empieza a convertir en positivo para las estrategias basadas en ETF, contrario a lo que se observa bajo la Estrategia Actual de contratación de contratos de opciones de venta.

Se puede observar que el balance al final de 2019 para las inversiones en el ETF basado en INVESCO QQQ cierra en \$24.2 miles de millones de dólares, mientras el ETF basado en SWPPX alcanza un balance positivo de \$8.9 miles de millones de dólares. Estos montos resultan menores a los observados en la Tabla X, donde se indica que el ETF basado en INVESCO QQQ cierra en \$55.52 miles de millones de dólares en 2019, mientras que el ETF-SWPPX alcanza un balance de \$17.928 miles de millones de dólares.

Opción 2. Transición a partir del primer año, a un ritmo anual menor para el cambio del recurso de sólo 5%

A partir de los datos observados de 2004 a 2019, se plantea que se comience a destinar 5% del recurso presupuestado para la compra de opciones de venta hacia adquisición de acciones de índices bursátiles, tanto INVESCO QQQ como SWPPX, a partir del primer año.

En la tabla 13 se muestran los balances acumulados de cada una de las estrategias, tomando en cuenta la Opción 2. Se simula cuál hubiera sido el balance al final del año en caso de haber destinado los recursos a cada una de las estrategias y, considerando su rendimiento observado, reduciendo de manera anual el recurso en 5% a partir del primer año. Los resultados presentados reflejan el balance general que hubiera tenido al 31 de diciembre de cada año.

Tabla 13. Balance de la Opción 2 de transición al cierre de cada año

Año	Volumen original por cubrir (mmb)	Volumen por cubrir por transición de recursos (mmb)	Estrategia actual (Sin reducción en cobertura)	
			Balance acumulado al cierre de año bajo MGB (miles de mmUSD)	Balance acumulado al cierre de año bajo AE (miles de mmUSD)
2004	450	428		
2005	450	405	-\$3.59	-\$2.64
2006	454	386	-\$5.46	-\$4.37
2007	400	320	-\$7.77	-\$6.83

2008	435	326	-\$9.27	-\$7.90
2009	330	231	-\$9.74	-\$8.13
2010	230	150	-\$5.18	-\$3.52
2011	222	133	-\$7.13	-\$11.66
2012	211	116	-\$9.48	-\$21.31
2013	217	109	-\$10.88	-\$25.04
2014	215	97	-\$12.14	-\$26.36
2015	228	91	-\$5.84	-\$20.97
2016	212	74	-\$3.36	-\$19.67
2017	250	75	-\$4.24	-\$23.08
2018	160	40	-\$5.35	-\$28.47
2019	200	40	-\$6.03	-\$29.93

Continuación de Tabla 13

Año	Balance de transición a INVESCO		Balance de transición a SWPPX	
	Balance al cierre de año bajo MGB (miles de mmUSD)	Balance al cierre de año bajo AE (miles de mmUSD)	Balance al cierre de año bajo MGB (miles de mmUSD)	Balance al cierre de año bajo AE (miles de mmUSD)
2004	.	.	.	.
2005	-\$3.2	-\$2.4	-\$3.2	-\$2.4
2006	-\$4.7	-\$3.8	-\$4.7	-\$3.7
2007	-\$6.1	-\$5.3	-\$6.2	-\$5.4
2008	-\$7.1	-\$6.0	-\$7.2	-\$6.1
2009	-\$4.7	-\$3.4	-\$4.9	-\$3.6
2010	-\$4.1	-\$2.8	-\$4.5	-\$3.2
2011	-\$3.2	-\$3.3	-\$4.2	-\$4.5
2012	-\$2.8	-\$3.7	-\$4.2	-\$5.6
2013	-\$1.4	-\$1.3	-\$2.7	-\$2.7

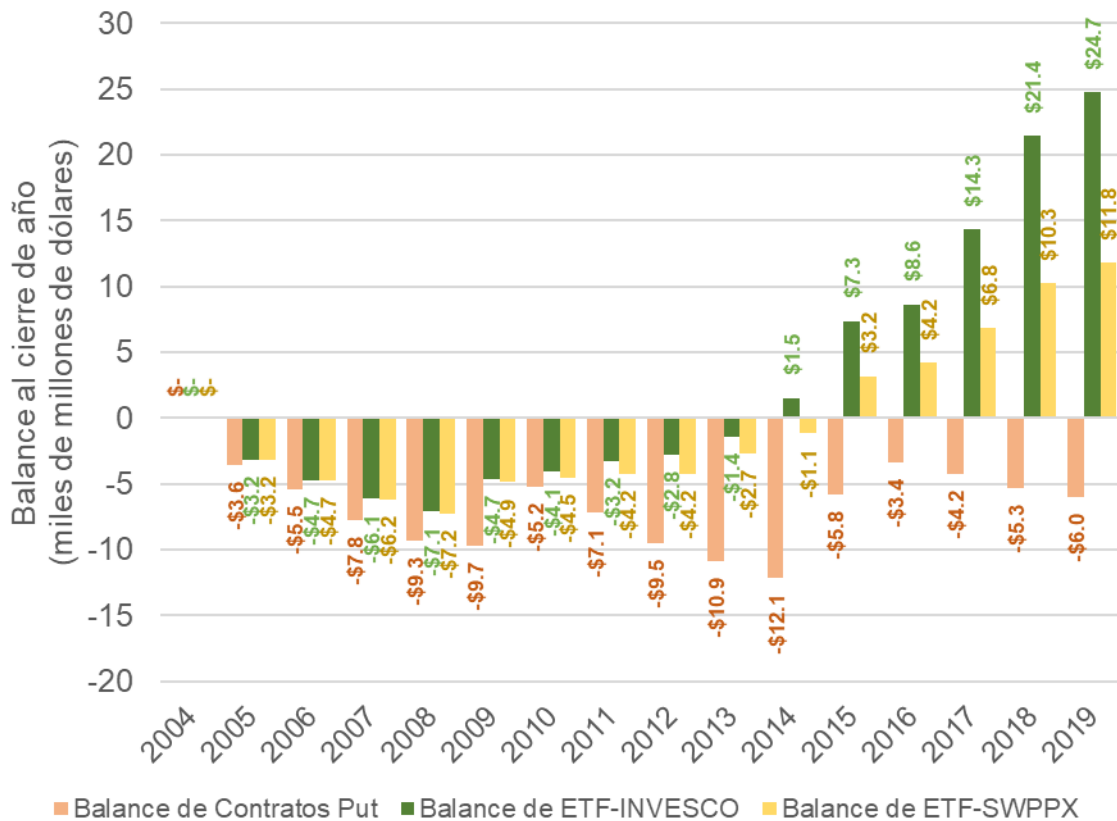
2014	\$1.5	\$3.7	-\$1.1	-\$0.0
2015	\$7.3	\$11.5	\$3.2	\$5.3
2016	\$8.6	\$13.5	\$4.2	\$6.8
2017	\$14.3	\$23.7	\$6.8	\$11.9
2018	\$21.4	\$37.7	\$10.3	\$19.6
2019	\$24.7	\$43.7	\$11.8	\$22.7

mmb: millones de barriles

mmUSD: millones de dólares

De manera gráfica, se puede observar el balance al final de cada año de la siguiente manera bajo la metodología del Movimiento Geométrico Browniano:

Gráfica 21. Balance de la Opción 2 de transición al cierre de cada año bajo MGB



Se puede observar que, en todos los años, el balance de la inversión en las acciones de los índices bursátiles resulta mejor (en términos de que es menos negativo o más positivo) con respecto al Balance de los contratos *put* que actualmente utiliza el Gobierno Mexicano. En especial, es a partir del año 2014 cuando el despegue en el

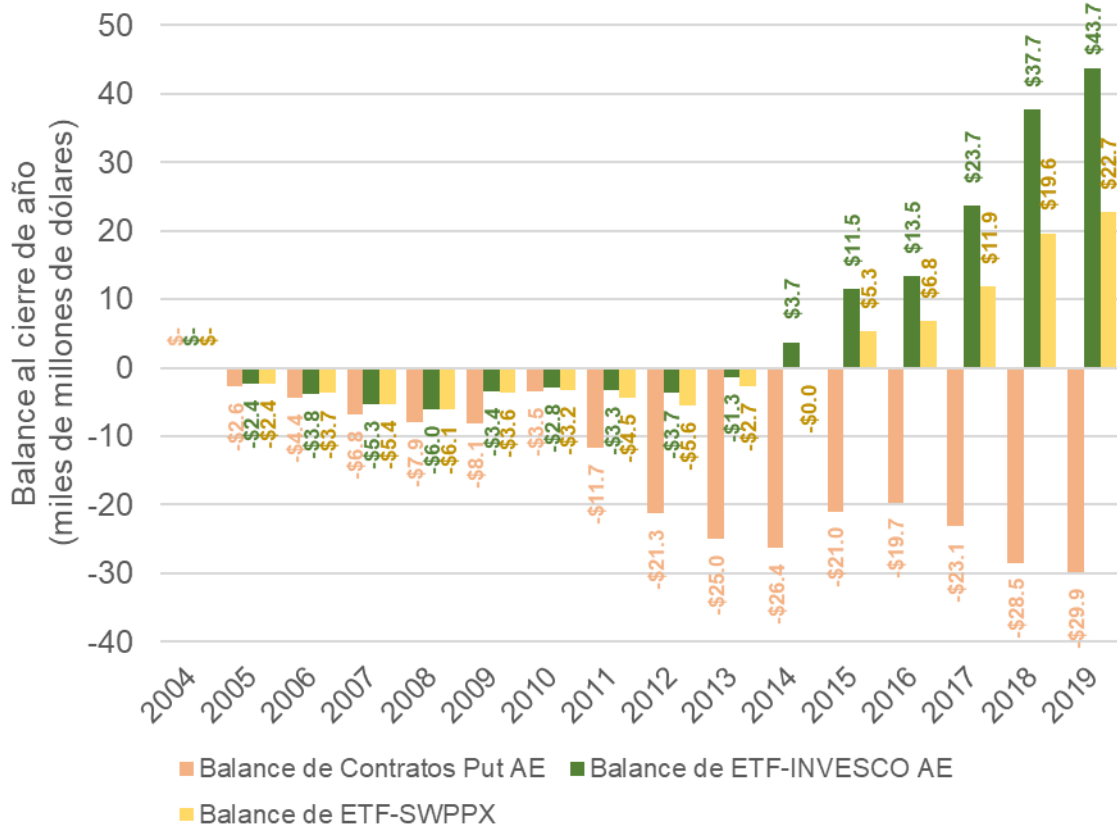
precio de las acciones de los índices bursátiles resulta en un balance positivo para ambos portafolios.

Bajo esta metodología, se estima que el balance al final de 2019 para las inversiones en el ETF basado en INVESCO QQQ cierra en \$24.7 miles de millones de dólares, mientras el ETF basado en SWPPX alcanza un balance positivo de \$11.8 miles de millones de dólares.

Al igual que el escenario de la Opción 1, se tiene que estos resultados resultan superiores contra lo que se observa en la Tabla X, en donde se tiene que el balance al cierre de 2019 para el ETF basado en INVESCO QQQ cierra en \$16.003 miles de millones de dólares mientras que el ETF basado en SWPPX tiene un balance negativo de \$4.510 miles de millones de dólares. Esto derivado de que se minimiza la exposición de los bajos rendimientos observados en los índices bursátiles durante los primeros años.

Utilizando la metodología de la distribución Alfa-Estable, se pueden observar los balances de la siguiente manera:

Gráfica 22. Balance de la Opción 2 de transición al cierre de cada año bajo Distribución Alfa-Estable



Similar a los resultados bajo la metodología del Movimiento Geométrico Browniano de esta Opción 2, se tiene que, durante todos los periodos, el balance de la estrategia donde se transita a la adquisición de acciones en índices bursátiles resulta más favorable que la estrategia actual de compra de contratos de venta (opciones *put*).

Se puede observar que el balance al final de 2019 para las inversiones en el ETF basado en INVESCO QQQ cierra en \$43.7 miles de millones de dólares, mientras el ETF basado en SWPPX alcanza un balance positivo de \$22.7 miles de millones de dólares.

Opción 3. Transición de 33% cada cuatro años del recurso presupuestado a acciones de índices bursátiles

En esta alternativa, se plantea que sea cada cuatro años cuando se incremente el monto destinado a la adquisición de acciones de índices bursátiles. La idea es que se incremente 33% del otrora recurso para contratos de venta hacia las acciones

bursátiles cada cuatro años. En la tabla 14 se observa la reducción del volumen por cubrir.

Tabla 14. Balance de la Opción 3 de transición al cierre de cada año

Año	Volumen original por cubrir (mmb)	Volumen por cubrir por transición de recursos (mmb)	Estrategia actual (Sin reducción en cobertura)	
			Balance acumulado al cierre de año bajo MGB (miles de mmUSD)	Balance acumulado al cierre de año bajo AE (miles de mmUSD)
2004	450	450		
2005	450	450	-\$3.59	-\$2.64
2006	454	454	-\$5.46	-\$4.37
2007	400	400	-\$7.77	-\$6.83
2008	435	290	-\$9.27	-\$7.90
2009	330	220	-\$9.74	-\$8.13
2010	230	153	-\$5.18	-\$3.52
2011	222	148	-\$7.13	-\$11.66
2012	211	70	-\$9.48	-\$21.31
2013	217	72	-\$10.88	-\$25.04
2014	215	72	-\$12.14	-\$26.36
2015	228	76	-\$5.84	-\$20.97
2016	212	0	-\$3.36	-\$19.67
2017	250	0	-\$4.24	-\$23.08
2018	160	0	-\$5.35	-\$28.47
2019	200	0	-\$6.03	-\$29.93

Continuación de Tabla 14

Año	Balance de transición a INVESCO	
	QQQ	Balance de transición a SWPPX

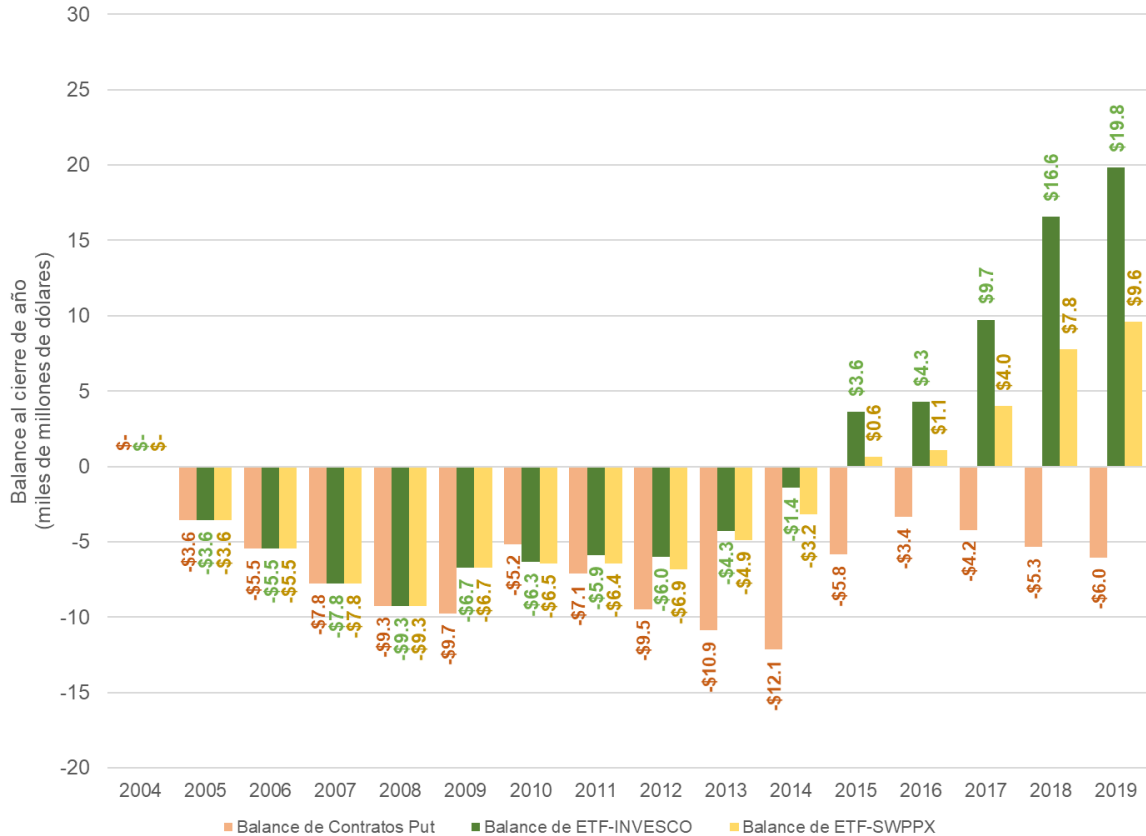
	Balance acumulado al cierre de año bajo MGB (miles de mmUSD)	Balance acumulado al cierre de año bajo AE (miles de mmUSD)	Balance acumulado al cierre de año bajo MGB (miles de mmUSD)	Balance acumulado al cierre de año bajo AE (miles de mmUSD)
2004	.	.	.	.
2005	-\$3.6	-\$2.6	-\$3.6	-\$2.6
2006	-\$5.5	-\$4.4	-\$5.5	-\$4.4
2007	-\$7.8	-\$6.8	-\$7.8	-\$6.8
2008	-\$9.3	-\$7.9	-\$9.3	-\$7.9
2009	-\$6.7	-\$5.3	-\$6.7	-\$5.3
2010	-\$6.3	-\$4.9	-\$6.5	-\$5.0
2011	-\$5.9	-\$6.0	-\$6.4	-\$6.7
2012	-\$6.0	-\$7.9	-\$6.9	-\$9.2
2013	-\$4.3	-\$4.2	-\$4.9	-\$5.0
2014	-\$1.4	\$0.8	-\$3.2	-\$2.0
2015	\$3.6	\$8.0	\$0.6	\$2.9
2016	\$4.3	\$9.5	\$1.1	\$4.0
2017	\$9.7	\$21.5	\$4.0	\$11.4
2018	\$16.6	\$38.4	\$7.8	\$22.4
2019	\$19.8	\$45.1	\$9.6	\$26.2

mmb: millones de barriles

mmUSD: millones de dólares

De manera gráfica, se puede observar el balance al final de cada año de la siguiente manera bajo la metodología del Movimiento Geométrico Browniano:

Gráfica 23. Balance de la Opción 3 de transición al cierre de cada año bajo MGB

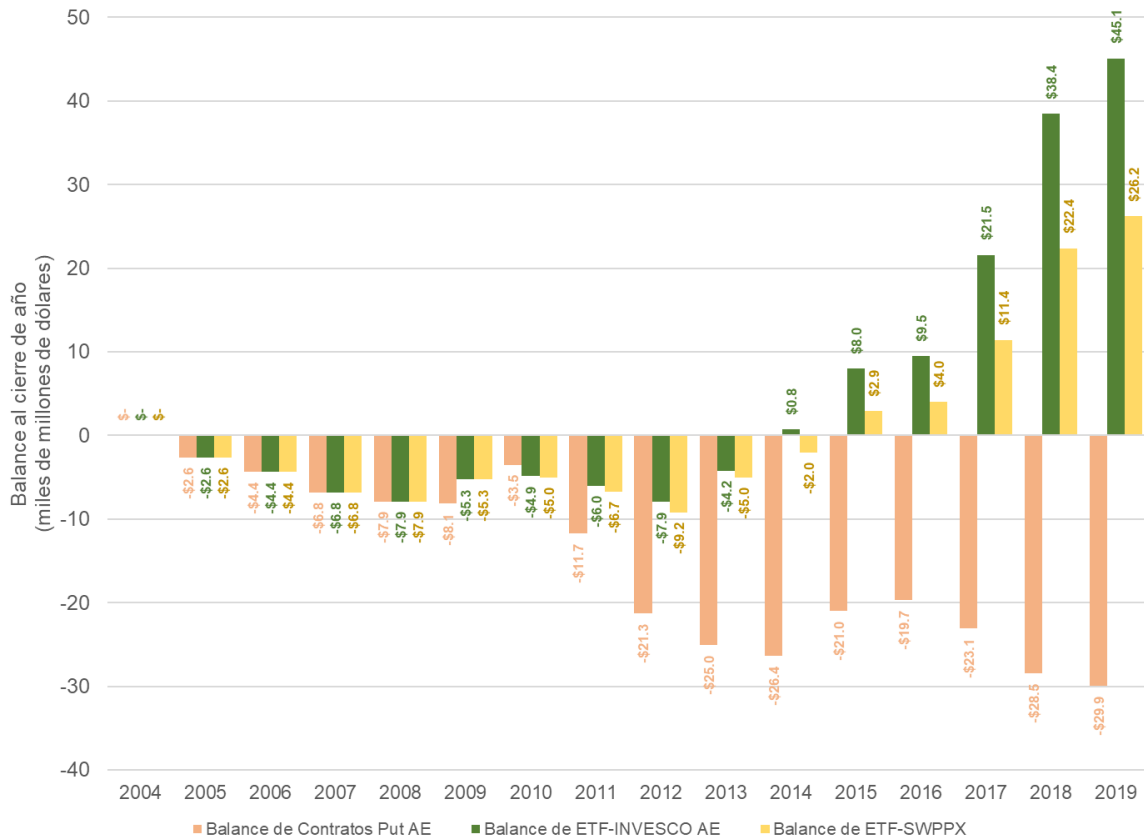


Se hace notar que, similar a las estrategias de la Opción 1 y 2, esta alternativa también resulta en un mejor balance de la inversión en las acciones de los índices bursátiles con respecto al Balance de los contratos *put*, en todos los años que se observan.

En esta Opción 3, se calcula que el balance al final de 2019 para las inversiones en el ETF basado en INVESCO cierra en \$19.8 miles de millones de dólares, mientras el ETF basado en SWPPX alcanza un balance positivo de \$9.6 miles de millones de dólares.

Utilizando la metodología de la distribución Alfa-Estable, se pueden observar los balances de la siguiente manera:

Gráfica 24. Balance de la Opción 3 de transición al cierre de cada año bajo Distribución Alfa-Estable



Similar a los resultados bajo la metodología del Movimiento Geométrico Browniano en esta Opción, se tiene que, durante todos los periodos, el balance de la estrategia donde se transita a la adquisición de acciones en índices bursátiles resulta más favorable que la estrategia actual de compra de contratos de venta (opciones *put*).

Se puede observar que el balance al final de 2019 para las inversiones en el ETF basado en INVESCO QQQ cierra en \$45.1 miles de millones de dólares, mientras el ETF basado en SWPPX alcanza un balance positivo de \$26.2 miles de millones de dólares.

4.2. Síntesis de las distintas alternativas de transición

En la tabla 15 se observa el resumen del contraste de la estrategia actual de adquisición de contratos de venta *versus* la transición a un fondo de inversión que invierta en acciones de índices bursátiles.

Tabla 15. Resumen de los distintos escenarios de inversión en el año 2019

Opción	Metodología	Balance en INVESCO (miles de millones de dólares)	Balance en SWPPX (miles de millones de dólares)
Estrategia Actual	Movimiento Geométrico Browniano	-\$6.0	-\$6.0
	Alfa-Estable	-\$29.9	-\$29.9
Compra de acciones en índices bursátiles	Movimiento Geométrico Browniano	\$16.0	-\$4.5
	Alfa-Estable	\$55.5	\$17.9
Opción 1. Transición paulina a partir de séptimo año	Movimiento Geométrico Browniano	\$18.4	\$7.6
	Alfa-Estable	\$24.2	\$8.9
Opción 2. Transición a partir del primer año	Movimiento Geométrico Browniano	\$24.7	\$11.8
	Alfa-Estable	\$43.7	\$22.7
Opción 3. Transición cada cuatro años	Movimiento Geométrico Browniano	\$19.8	\$9.6
	Alfa-Estable	\$45.1	\$26.2

Como se puede observar en la tabla anterior, cualquier escenario en el que se privilegie la compra de acciones en índices bursátiles sobre la contratación de opciones de venta anuales resulta en un balance más favorable en términos económicos para el Gobierno de México. Incluso, los escenarios de transición que conllevan un movimiento paulatino hacia estas acciones permiten minimizar los riesgos de la caída del precio del petróleo durante los primeros años, lo cual incrementa la rentabilidad, como se puede observar en las Opciones 2 y 3 de la tabla anterior.

Con base en estos resultados, es plausible y recomendable que las administraciones federales puedan realizar esta transición, aunque como se ha observado, la creación de un Fondo Soberano de Inversión conlleva el riesgo de buscar utilizar los recursos de manera previa para gasto corriente en la

administración, para lo cual es importante crear una regulación que obligue a respetar el uso de este recurso.

4.3. Mecanismos para minimizar el riesgo de uso del recurso de manera discrecional

Los análisis presentados en este documento suponen que el recurso proveniente de las inversiones es reinvertido en el mismo índice bursátil de preferencia. Como se ha señalado anteriormente, este supuesto contiene dos contratiempos importantes:

- a) Las inversiones no se realizan en un solo índice bursátil sino en una combinación de activos, tales como bonos gubernamentales, acciones bursátiles, *swaps*, e incluso, efectivo para liquidez,
- b) La reinversión de los recursos no es obligatoria, por lo que el gobierno puede disponer de las ganancias de estos, minando así el desempeño del portafolio analizado en este documento.

Dado que los cambios de administración federal suceden cada seis años en México, es importante crear mecanismos institucionales que permitan minimizar el riesgo de que se utilice el recurso de manera discrecional por una sola Administración y no se reinviertan como se tiene proyectado.

A continuación, se presentan distintas modificaciones regulatorias que deben suceder para garantizar la viabilidad a largo plazo del Fondo.

4.3.1. Modificar la vocación del Fondo: de un ahorro estabilizador a un Fondo de Inversiones

Actualmente, el uso de los recursos acumulados en el Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo (FMPED) está normado por la Ley del FMPED, la Ley de Ingresos sobre Hidrocarburos (LISH) y el Título Quinto de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria (LFPRH).

Dicha normativa señala que los ingresos petroleros generados durante el año deben ser destinados de la siguiente manera, con base en la estimación de ingresos petroleros en la Ley de Ingresos aprobada por el Poder Legislativo (Cámara de Diputados, 2023):

- 2.2% al Fondo de Estabilización de los Ingresos Presupuestarios (FEIP),

- 0.64% al Fondo de Estabilización de los Ingresos de las Entidades Federativas (FEIEF),
- 0.65% a la Secretaría de Energía (SENER) para la investigación en materia de hidrocarburos y sustentabilidad energética,
- 0.0054% a la Tesorería de la Federación para cubrir los costos de fiscalización de la Auditoría en materia petrolera,
- 0.87% al Fondo de Extracción de Hidrocarburos (FEH),
- 0.051% a los municipios colindantes con la frontera o litorales por los que se realice la exportación de hidrocarburos,
- Transferencia a la Tesorería de la Federación (TESOFE) por el monto que sea necesario para que los ingresos petroleros del Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF) se mantengan en 4.7% del Producto Interno Bruto (PIB).

El párrafo anterior nos presenta dos contratiempos para garantizar la constitución de una reserva a largo plazo que permita la inversión de los recursos. El primer contratiempo se basa en que la transferencia de los ingresos petroleros está establecida sobre la estimación *a priori* de la Ley de Ingresos y el Producto Interno Bruto, no sobre lo que efectivamente se recaudó o produjo en el país, respectivamente. En este sentido, la estimación no tendría inconveniente si fuera certera, sin embargo, como se ha demostrado cada año, la Cámara de Diputados no tiene el incentivo de establecer cifras realistas en ambos indicadores, pues de dicho supuesto se estima el posible gasto para el próximo año. A menor ingreso, menor gasto y mayores quejas de grupos de interés.

En la tabla 16 se puede observar la sobre estimación constante que la Cámara de Diputados realiza sobre la plataforma de producción petrolera y el PIB:

Tabla 16. Diferencias entre estimación y dato observado de la producción petrolera y crecimiento del PIB

Año	Producción de crudo estimada (mbd)	Producción de crudo observada (mbd)	Diferencia porcentual de la producción de crudo	Crecimiento del PIB estimado (%)	Crecimiento del PIB observado (%)	Diferencia en puntos porcentuales del crecimiento del PIB
2007	3,211	3,076	-4.2%	n.d.	2.1	n.d.
2008	3,129	2,792	-10.8%	n.d.	0.9	n.d.
2009	2,750	2,602	-5.4%	3.0	-6.3	- 9.30
2010	2,500	2,577	3.1%	3.0	5.0	2.0

2011	2,550	2,553	0.1%	3.8	3.4	-	0.4
2012	2,550	2,548	-0.1%	3.5	3.6		0.1
2013	2,550	2,522	-1.1%	3.5	0.9	-	2.6
2014	2,520	2,429	-3.6%	3.9	2.5	-	1.4
2015	2,400	2,267	-5.5%	3.7	2.7	-	1.0
2016	2,247	2,147	-4.4%	3.1	1.8	-	1.3
2017	1,928	1,944	0.8%	2.5	1.9	-	0.6
2018	1,983	1,810	-8.7%	2.5	2.0	-	0.5
2019	1,847	1,679	-9.1%	2.0	-	0.3	-
2020	1,951	1,663	-14.8%	2.0	-	8.6	-

Fuente: Estimaciones del PIB y de la plataforma de producción vienen de los Criterios Generales de Política Económica para cada año. La producción observada de petróleo viene de la Comisión Nacional de Hidrocarburos y el crecimiento anual observado del PIB es dato del INEGI.

mbd: miles de barriles diarios

n.d.: No disponible

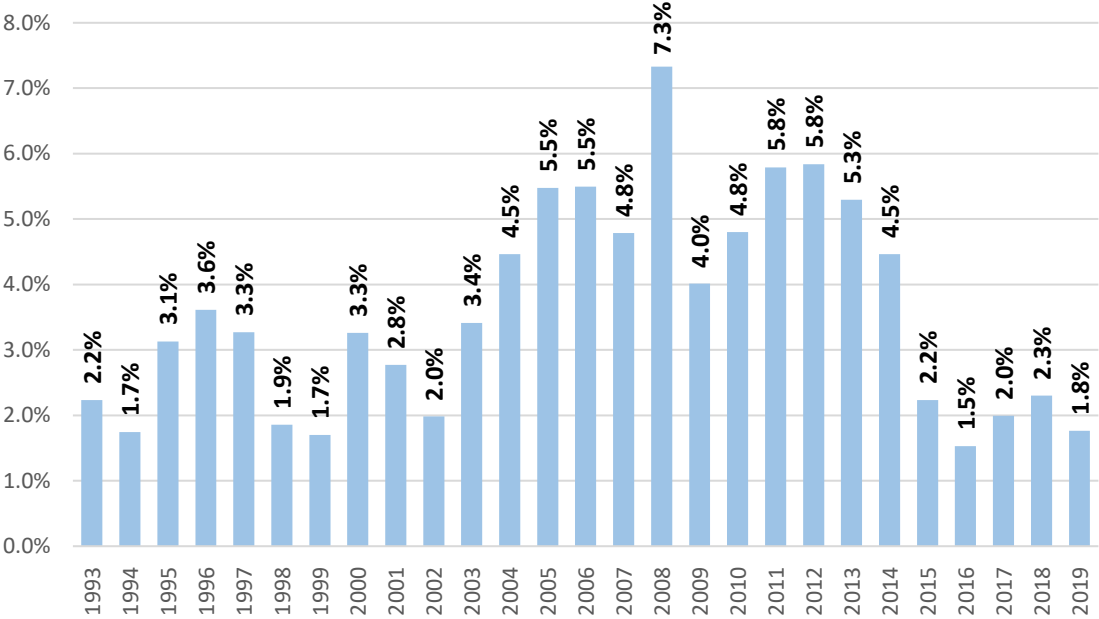
Como se puede observar en la tabla anterior, la estimación de la producción de crudo fue sobreestimada en 11 de los últimos 14 años, mientras que el crecimiento porcentual esperado del PIB fue sobreestimado en 10 de los últimos 12 periodos.

El efecto de sobreestimar tanto la producción petrolera como el crecimiento del PIB es comprometer el ingreso petrolero para cumplir con los recursos proyectados, sin importar si dicha plataforma crece o se reduce. En el argot de las finanzas personales, se señala que el ahorro debe ejercerse antes de gastar. Para la reserva a largo plazo del FMPED, la lógica es distinta: primero se cumplen con los compromisos de gasto y, posteriormente, si existen remanentes, se destina al ahorro a largo plazo.

El segundo contratiempo que se observa en la redacción de la normativa es precisamente la orientación de gasto que tiene el Fondo. La Secretaría de Hacienda compromete que, antes de cualquier recurso destinado para el ahorro, primero se cumplan con los compromisos establecidos en dicha Ley. Aunque la suma de los porcentajes para los distintos Fondos no rebasa el 5% de los ingresos petroleros, el último punto compromete significativamente los recursos que puedan destinarse al ahorro.

En la siguiente gráfica, se puede observar la proporción observada de ingresos petroleros sobre el PIB. Durante los últimos 10 años, solamente se ha rebasado el 4.7% señalado por la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria, lo que implica que, cualquier monto pendiente, debe ser transferido del Fondo.

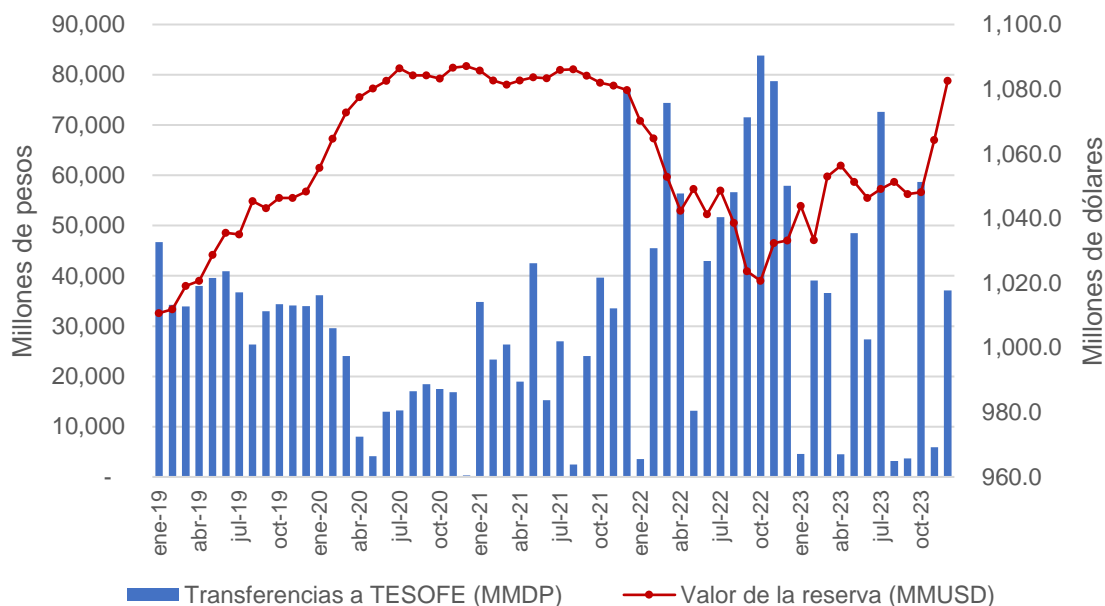
Grafica 25. Proporción de ingresos petroleros sobre el PIB



Fuente: Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Ingresos Presupuestarios del Gobierno Federal, Petroleros y No petroleros Pesos corrientes multianual (1990-2019)

En la siguiente gráfica se puede observar el valor de la reserva del Fondo, en millones de dólares, contrastado con las transferencias mensuales realizadas a la TESOFE. Se puede observar que, en los periodos de montos menores de transferencia, el valor de la reserva aumenta.

Grafica 26. Montos de transferencia del FMPED a la TESOFE y valor de la reserva



Fuente: Elaboración propia con datos del FMPED

Como conclusión de esta sección, se puede señalar que el porcentaje de 4.7% “ahoga”, en la mayoría de las ocasiones, la posibilidad de que exista un remanente que se pueda destinar a la reserva de largo plazo del Fondo. Es por ello, que para garantizar la viabilidad del Fondo se vuelven indispensables los siguientes cambios:

- Modificar la Ley del FMPED y la LFPRH para eliminar la obligatoriedad de transferencia de recursos a la TESOFE por 4.7% como monto compensatorio,
- Modificar la Ley del FMPED y la LFPRH para tasar las transferencias a los Fondos de Estabilización y de municipios colindantes sobre el volumen producido y precio de ejercicio, con el fin de evitar una sobreestimación sobre la Ley de Ingresos de la Federación,
- Minimizar la influencia recaudatoria de la SHCP sobre el FMPED, con el objetivo de volverlo un organismo autónomo para el manejo de recursos a largo plazo

4.3.2. Determinar nuevas reglas en las que se ejercerán recursos del FMPED como medida compensatoria en la caída de ingresos

Como se señaló en la sección anterior, ya existen reglas para la salida de efectivo del FMPEd, sin embargo, estas reglas tienen vocación recaudatoria, lo cual es necesario modificar para garantizar la viabilidad a largo plazo del Fondo.

A continuación, se presentan diversas disposiciones que rigen en los Fondos Soberanos de Inversión con mayor monto en el mundo, con el fin de que se pueda aprender para la modificación de nuestro Fondo:

- En Noruega, el Fondo es administrado por el Banco Central de dicho país. Aunque el gobierno noruego tiene la prerrogativa de solicitar recursos al Fondo, sin embargo, dicha transferencia está sujeta a la autorización del Banco Central y dichos recursos no deben ser mayores que la tasa esperada de retorno del propio Fondo, la cual se ubica en 3% anual (Norges Bank Investment Management, 2020). Esto podría entenderse como una tasa de reposición: no se puede transferir más del recurso que se espera ganar en rendimientos en dicho periodo. Con esta sencilla fórmula, se busca garantizar que el valor del Fondo sea ascendente año con año.
- La Autoridad de Inversión de Abu Dhabi (ADIA, por sus siglas en inglés) es una institución pública establecida por el Gobierno de Abu Dhabi en 1976 como un instituto de inversión independiente. Al tratarse de un instituto independiente, cuenta con mayores facultades para determinar qué inversiones resultan mejores para el rendimiento del Fondo, a la vez que sean independientes de los ciclos políticos.
- En Kuwait, el Fondo de Reserva para las Futuras Generaciones (FGF, por sus siglas en inglés) establece que a dicho Fondo deberá destinarse, al menos, 10% de los ingresos anuales del Estado. No se permite reducir este porcentaje ni retirar recursos acumulados del Fondo (Kuwait Investment Authority, 2020). Esta orientación representa una vocación distinta de la manera en que se usan los ingresos petroleros: primero se ahorra y después se gasta.

Finalmente, es importante recalcar que el objetivo del Fondo debe especificarse de manera clara y con visión de largo plazo. La transición del uso de hidrocarburos a energías limpias es una realidad en 2024 y los análisis serios explican que esta tendencia sólo se incrementará en el futuro, por lo que es esperable que los ingresos de hidrocarburos en México y en el mundo disminuyan conforme avanza dicha dependencia.

Es por ello que, en estos cambios regulatorios, se debe especificar por qué, para qué y hasta cuándo se estará recaudando e invirtiendo en dicho Fondo. El objetivo es que el replanteamiento del FMPED cumpla con los siguientes requisitos:

- Se trate de un organismo autónomo a la SHCP,
- Se eliminen los porcentajes obligatorios de compensación en la caída de ingresos,
- Los nombramientos sean transexenales, con el fin de aislar los incentivos políticos,
- Se establezcan porcentajes de rendimientos anuales y qué hacer cuando no se logran,
- Se destine un porcentaje fijo de los ingresos petroleros para el Fondo, sin importar los vaivenes del Presupuesto de Egresos,
- Se indiquen reglas de cuándo y hasta cuánto podrá retirarse del Fondo,
- El nuevo organismo autónomo tendrá la prerrogativa de aprobar, rechazar o modificar el monto solicitado por la SHCP como compensación por la caída de los ingresos de la Administración,
- Finalmente y, sobre todo, se instituya una visión de largo plazo sobre la fecha de vigencia del Fondo.

El cambio institucional debe darse a través de leyes con el fin de que las nuevas administraciones venideras tengan la obligación de trabajar sobre un marco institucional de largo plazo. La factibilidad política de este cambio regulatorio está fuera del análisis de este documento y puede ser materia para otro estudio.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

En México, la contratación de opciones de venta (*put options*) de tipo asiático para cubrir eventuales caídas en el precio de la Mezcla Mexicana de Exportación (MME) ha resultado una política aplaudida internamente en México.

Ante la importancia de los ingresos petroleros en el Presupuesto de Egresos de la Federación, el cual llegó a representar 44% de dicho presupuesto en el año 2008, resultaba imperativo proponer una medida que permitiera asegurar que dicho ingreso no se viera perjudicado en casos de la caída del precio del petróleo, en especial, dado que dichos ciclos bajistas coinciden con una desaceleración económica en el plano mundial y no sólo en el sector energético.

La medida ha sido Implementada por distintas administraciones federales, tanto del espectro político identificado de izquierda como de derecha, y ha resultado una política que se asume una buena práctica de manera interna, pues permite garantizar el gasto gubernamental ante una eventual caída en el precio del petróleo.

La medida es conocida para los ciudadanos como un “*seguro de ingresos petroleros*” o “*cobertura petrolera*”, el cual puede ser ejercido en caso de que el precio de la MME caiga por debajo del precio pactado en la Ley de Ingresos de la Federación (LIF). Este seguro, en teoría, permite recuperar la diferencia entre el precio promedio que se observó para dicho crudo durante un año en particular contra lo que se planteó en el año anterior.

México es el único país cuyo Gobierno Federal contrata este tipo de instrumentos financieros en los últimos años. Otros países cuentan con empresas petroleras de índole público que contratan este tipo de instrumentos en algunas ocasiones como estrategia de negocio, incluso, la Empresa Productiva del Estado Mexicano, Petróleos Mexicanos, es una de dichas empresas, aunque su participación es variable y obedece a cuestiones de modelo de negocios, a diferencia de la contratación que hace el propio Gobierno Federal.

En el pasado, otros países como Ecuador y Sri Lanka han emprendido tareas de cobertura similares a la realizada por el gobierno mexicano, con consecuencias funestas para la administración pública y algunos funcionarios. En específico, ante la poca experiencia en la contratación y administración de este tipo de derivados financieros, en ambos países resultaron escándalos de corrupción y mala administración que causaron daños patrimoniales cuantiosos para ambos países.

En México, los análisis relacionados al impacto de esta medida de cobertura han sido mayormente positivos, como se documentó en el Capítulo 2 de este trabajo de investigación. En específico, la evidencia académica a la fecha coincide con las conclusiones de Ma y Valencia (2018), quienes indican que la economía mexicana se beneficia a través de dos mecanismos de la contratación de opciones de venta. El primer mecanismo se refiere al cambio en los incentivos en caer en riesgo de no-pago, dado que la contratación de estas opciones de venta induce a una reducción en los riesgos a la baja respecto al ingreso. El segundo mecanismo sugiere que las fluctuaciones en los ingresos se suavizan al contar con la cobertura de ingresos petroleros, lo que incrementa el bienestar para los agentes adversos al riesgo.

Sin embargo, en los análisis llevados a cabo a la fecha no se ha evaluado si dicha medida es el mejor uso que se le podría haber otorgado a dicho recurso. Dado que el monto destinado para la contratación de estas opciones de venta no resulta un monto menor (un promedio anual de \$1,315 millones de dólares, de acuerdo con nuestros análisis) y que dicho recurso es superior al destinado a otras Secretarías de Estado, tales como Cultura o Recursos Naturales, y bien podría ser destinado a otras tareas del Estado, es propósito de este análisis evaluar si el gasto ejercido en este tipo de opciones hubiera podido tener un mejor rendimiento financiero a través de otros instrumentos, tal como operan los Fondos Soberanos de Inversión de otros países, como se discutió previamente en el Capítulo 2.

Asimismo, el objetivo de obtener rendimientos financieros por la inversión de este recurso en este tipo de vehículos, no se contrapone con los objetivos de contar con un recurso adicional que permita hacer frente a las obligaciones de pago de la administración federal, aunque de manera obvia podría ser más desgastante en el bienestar de los agentes adversos al riesgo.

De esta manera, en este análisis, se aportaron los siguientes puntos para la discusión:

- Estimación de los costos de las opciones de venta por año bajo distintas metodologías, la cual nos indica que el costo ejercido por el gobierno federal puede ser mayor al que se ha reportado a la fecha,
- Inversión de dicho recurso en los dos índices bursátiles más conocidos, como lo son el NASDAQ y el S&P 500, a través de acciones que replican su comportamiento, como la acción INVESCO QQQ y la SWPPX, para el NASDAQ y S&P 500, respectivamente,
- Contraste entre mantener la estrategia actual y mudarse a la adquisición de acciones en los índices bursátiles señalados,

- Escenarios de transición entre la estrategia actual y la compra de acciones en índices bursátiles.

Con base en estos estudios, se estima que la contratación de estas opciones de venta, a pesar de que cumplen con su objetivo de minimizar la pérdida en tiempos de caída en el precio de la Mezcla Mexicana de Exportación, resultan menos favorables, en términos económicos, al acumular las primas pagadas por el Gobierno de México durante años.

En este sentido, se concluye que:

- 1) La inversión del recurso en acciones de índices bursátiles resulta más favorable en términos económicos a largo plazo que la estrategia actual de contratación de adquisición de contratos de opciones,
- 2) La adquisición de acciones de índices bursátiles no se contraponen como medidas de cobertura ante eventuales caídas en el precio de la MME, derivado de la baja correlación entre los rendimientos de la MME y los rendimientos de los índices bursátiles,
- 3) Una estrategia de transición entre ambas alternativas resulta una mejor táctica que una opción disruptiva entre los cambios de una a otra, pues minimiza los riesgos de una caída abrupta del precio del petróleo en el periodo señalado.

En la tabla 17 se observa que las diferencias de cada ETF contra la estrategia, en cada uno de los escenarios, resulta positiva, siendo la mayor aquella en la que se invierte en un ETF que simule el desempeño del NASDAQ y que conlleve una transición gradual de una reducción de 5% a partir del primer año.

Tabla 17. Balance acumulado 2004-2019 (miles de millones de dólares)

Estrategia	Actual (Opciones <i>put</i>)	ETF basado en NASDAQ	Diferencia ETF NASDAQ contra actual	ETF basado en SP500	Diferencia ETF SP500 contra actual
Sin transición	-\$6.6	\$16.0	\$22.6	-\$4.5	\$2.1
Reducción de 10% anual a contratos put a partir del séptimo año	-\$6.0	\$18.4	\$24.4	\$7.6	\$13.6
Reducción de 5% anual a contratos put a partir del primer año	-\$6.0	\$24.7	\$30.7	\$11.8	\$17.8

Reducción de 33% cada 4 años a contratos put a partir del primer año	-\$6.0	\$19.8	\$25.8	\$9.6	\$15.6
---	--------	--------	--------	-------	--------

Aunque estas cifras están sujetas al desempeño de los años anteriores, los cuales no garantizan que sean una predicción confiable hacia el futuro, sí nos demuestra que la estrategia actual debiera ser revisada para lograr una mayor acumulación de recursos que estén disponibles en épocas bajistas del precio del petróleo.

Asimismo, se debe considerar que México está dejando de ser un país con una economía petrolizada, pues a partir de la alta dependencia de 44% del presupuesto federal proveniente de ingresos petroleros, a partir de 2015 dicha proporción se ha ubicado por debajo de 15%, con tendencia a ser menor en los años siguientes.

Comparado también contra el Producto Interno Bruto, el porcentaje que representan estos ingresos sobre dicho indicador también ha venido disminuyendo en el último lustro, al situarse alrededor de 2.0%, después de alcanzar 7.3% en el año 2008. De esta manera, es importante visualizar alternativas de inversión fuera de la tradicional cobertura petrolera, con el fin de maximizar los ingresos provenientes de recursos no renovables para las generaciones futuras.

Cabe señalar que esta estrategia no considera ni analiza la tentación política de echar mano de los recursos acumulados en el Fondo de Inversión. Dado que el objetivo de la cobertura petrolera de México es echar mano de los recursos financieros en caso de la caída en el precio de la MME, pero que dicho recurso sólo se vuelve disponible tras la cristalización de la caída del precio del petróleo por debajo de lo estipulado en la LIF -y por ende, en los contratos de venta-, se limita la posibilidad de que sea el propio Gobierno quien trate de utilizar dichos recursos de manera anticipada al escenario de contingencia.

Sin embargo, bajo la propuesta analizada en este documento, es posible que las administraciones federales se vean tentadas en utilizar el recurso de los rendimientos de las acciones bursátiles año con año, lo cual minaría los resultados de este ejercicio y el rendimiento del Fondo, en general.

Para minimizar el riesgo del uso de los recursos de manera discrecional, este documento propone varias recomendaciones, las cuales se basan en la experiencia internacional, con objeto de garantizar la viabilidad a largo plazo del Fondo. Para ello, se sugiere que la entidad responsable de administración del mismo cuente con las siguientes características:

- Autonomía plena frente a la SHCP,
- Eliminación de porcentajes obligatorios de compensación en la caída de ingresos,
- Recaudación con un porcentaje fijo de los ingresos petroleros para el Fondo, sin importar los vaivenes del Presupuesto de Egresos,
- Reglas específicas de cuándo y hasta cuánto podrá retirarse del Fondo,
- Prerrogativa de aprobar, rechazar o modificar el monto solicitado por la SHCP como compensación por la caída de los ingresos de la Administración,
- Visión de largo plazo sobre la fecha de vigencia del Fondo.

El propósito del presente estudio es el de servir como punto de partida para evaluar la idoneidad de seguir contratando o no las opciones de venta que, hasta la fecha, ha realizado el gobierno federal de México para cubrir el precio de la Mezcla Mexicana de Petróleo de Exportación.

Se propone un esquema de transición donde el recurso sea reservado, pero que cierto porcentaje sea invertido en acciones de índices bursátiles o vehículos financieros que ofrezcan un mejor rendimiento financiero. Asimismo, se sugieren cambios normativos para que la administración del Fondo quede a cargo de un organismo con visión de largo plazo.

Cabe resaltar que no se concluye que los contratos de venta no puedan ser utilizados en el futuro, sino que se reconsidere su uso exclusivo como “*seguro de ingresos petroleros*”. Idealmente, deberán formar parte de una estrategia financiera, establecida por el organismo encargado del Fondo.

Por supuesto, con el objetivo de invertir de manera eficiente, será necesario profesionalizar los cuerpos de la administración pública involucrados en este potencial escenario. El Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo (FMPED) debería dejarse de ver como un “*ahorro*” para transitar a un Fondo Soberano de Inversión, cuyo objetivo sea maximizar el recurso generado por la renta petrolera. Dicha alternativa ha sido explorada ya por Sierra-Juárez, G. y Méndez García, D. (2017), mientras que este estudio viene a confirmar la teoría de dichos investigadores.

El petróleo es un recurso no renovable y México podría aprender de las lecciones y emprendimientos que otros países han realizado para maximizar los ingresos por dichos recursos para generaciones futuras. El tiempo está corriendo y la demanda por hidrocarburos puede ya estar en su punto histórico más alto. La transición energética a energías renovables y no contaminantes para el medio ambiente ya

han sido incluidas como metas en los Planes Estratégicos de diversas empresas de energía, antes empresas dedicadas exclusivamente a la exploración y extracción de hidrocarburos. El fenómeno del cambio climático acelera la apuesta a buscar energías más amigables con el planeta. Si México no aprovecha la demanda de hidrocarburos hoy podríamos estar dejando en el subsuelo un volumen enorme de petróleo y gas. Como señalaba Ahmed Zaki Yamani, Ministro del Petróleo de Arabia Saudita entre 1962 y 1986: “La Edad de Piedra no se acabó por falta de piedras, y la Era del Petróleo no se acabará por falta de petróleo”.

Que esta aportación sea punta de lanza para el bien común de las generaciones que nos siguen.

ANEXOS

ANEXO A. CÓDIGO EN R PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LA DISTRIBUCIÓN ALFA-ESTABLE

```
f <- function(u,a,b,c,d) {  
  cat(a,b,c,d,"\n")  
  dstable(u, 2*exp(a)/(1+exp(a)), 2*exp(b)/(1+exp(b))-1, exp(c), d)  
}
```

```
alpha <- function(a) {  
  result <- 2*exp(a)/(1+exp(a))  
  return(result)  
}
```

```
bheta <- function(b) {  
  result <- 2*exp(b)/(1+exp(b))-1  
  return(result)  
}
```

```
gamma <- function(c) {  
  result <- exp(c)  
  return(result)  
}
```

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIA (2020). *About ADIA*. Recuperado el 01 de septiembre de 2020 en: <https://www.adia.ae/En/About/About.aspx>

Balakrishnan, Venkataranam (2015). *Mod-01 Lec-05 Stable distributions*. Video consultado el 05 de marzo de 2022 en: <https://www.youtube.com/watch?v=-BzaVD93akQ&t=3062s>

Balding, C. (2008). *A Portfolio Analysis of Sovereign Wealth Funds*, Mimeo, Universidad de California, Irvine

Banco de México (2022). *Precio de la Mezcla Mexicana de Petróleo*. Recuperado el 15 de agosto de 2021 en: <https://www.banxico.org.mx/apps/gc/precios-spot-del-petroleo-gra.html>

BBVA (2022). *Exchange Traded Funds*. Recuperado el 27 de febrero de 2022 en: <https://www.bbva.mx/empresas/productos/inversiones/etfs.html>

Blas, Javier (2017). *Uncovering the secret history of Wall Street's Largest Oil Trade*. Recuperado el 23 de octubre de 2021 en <https://www.bloomberg.com/news/features/2017-04-04/uncovering-the-secret-history-of-wall-street-s-largest-oil-trade>

Cámara de Diputados (11 de mayo de 2022). *Ley del Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo*. Recuperado el 04 de febrero de 2024 en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFMPEP.pdf>

Cámara de Diputados (13 de noviembre de 2023). *Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria*. Recuperado el 04 de febrero de 2024 en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFPRH.pdf>

Castañeda, A. y Villagómez, F.A. (2008). *Ingresos fiscales petroleros y provisión óptima de bienes públicos*. Recuperado el 25 de mayo de 2020 en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-16672008000300001

Carr, P. y Wu, L. (2003). *The finite moment log-stable process and option pricing*. Recuperado el 20 de diciembre de 2021 en: http://faculty.baruch.cuny.edu/lwu/papers/nstable_final.pdf

Centro de Estudios de las Finanzas Públicas de la Cámara de Diputados (31 de agosto de 2017). *Manejo de las Coberturas Petroleras en México*. Recuperado el 18 de mayo de 2020 en: <https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2017/notacefp0182017.pdf>

Chriss, Neil A. (1997). *Black-Scholes and Beyond: Option Pricing Models*. Editorial McGraw-Hill Professional. DOI: 10.1036

Comisión Nacional de Hidrocarburos (2022). *Sistema de Información de Hidrocarburos*. Recuperado el 20 de diciembre de 2021 en: <https://sih.hidrocarburos.gob.mx/>

Del Río Monges, J.A. et al (2015) *La implementación de un Fondo Soberano de Riqueza vinculado al Petróleo en México*. Instituto Belisario Domínguez. Recuperado el 27 de mayo de 2020 en: http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/2192/CI_2.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Diario Oficial de la Federación (01 de abril de 2015). *ACUERDO por el que se establecen las Reglas de Operación del Fondo de Estabilización de los Ingresos Presupuestarios*. Recuperado el 22 de mayo de 2020 en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5387549&fecha=01/04/2015

Duclaud, J. y García, Gerardo (2012). *Mexico's Oil Price-Hedging Program*. International Monetary Fund. DOI: <https://doi.org/10.5089/9781616353797.071>. Recuperado el 15 de enero de 2021 en: <https://www.elibrary.imf.org/view/IMF071/12631-9781616353797/12631-9781616353797/ch15.xml?rskey=E57JTg&result=17&redirect=true>

Einstein, Albert (1905). *Investigations on the theory of the Brownian Movement*. Dover Publications Inc. Recuperado el 20 de febrero de 2022 en https://www.maths.usyd.edu.au/u/UG/SM/MATH3075/r/Einstein_1905.pdf

Finance Training (2014). *Ceylon Petroleum Corporation (CPC) Oil Hedging 2007 – Casestudy*. Recuperado el 26 de mayo de 2020 en: <https://financetrainingcourse.com/education/2014/04/ceylon-petroleum-corporation-cpc-oil-hedging-2007-casestudy/>

Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo (2022). *Reportes de “¿Qué es el Fondo Mexicano del Petróleo?”*. Recuperado el 28 de marzo de 2022 en: <https://www.fmped.org.mx/>

Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo (2023). *Reportes de “Transferencias ordinarias del FMPEd a la Tesorería de la Federación” y “Valor histórico de la reserva”*. Recuperados el 25 de enero de 2024 en: https://www.fmped.org.mx/administracion-reserva.html#valor_reserva

Fondo Monetario Internacional (2008). *Sovereign Wealth Funds – A Work Agenda*. Recuperado el día 25 de mayo de 2020 en: <https://www.imf.org/external/np/pp/eng/2008/022908.pdf>

Ford, Brian J. (1992). *Brownian Movement in Clarkia Pollen: A reprise of the first observations*. *The Microscope*, pp. 235-241

Gaceta Oficial Digital del Gobierno de la República de Panamá (2008). *Autorización para que la República de Panamá contrate directamente una operación de cobertura de riesgos*. Recuperado en el día 28 de mayo de 2020 en: <https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/26184/14972.pdf>

Hernández Cortés, Aldo (2016). *Una Introducción a la Teoría de Valores Extremos: Visión General de los Conceptos Básicos*. Recuperado el 13 de febrero de 2022 en: http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/64258/Una%20Introducci%C3%B3n%20a%20la%20Teor%C3%ADa%20de%20Valores%20Extremos%20-%20Visi%C3%B3n%20General%20de%20los%20Concepto_20160903103815615.pdf?sequence=1&isAllowed=y

INEGI (2020). *Tabulados del Producto Interno Bruto Trimestral por Actividad, Reporte “Millones de pesos a precios corrientes”*. Recuperado el 27 de marzo de 2022 en: <https://www.inegi.org.mx/temas/pib/#Tabulados>

INEGI (2020). *Producto Interno Bruto Trimestral (PIBT). Año base 2018*. Recuperado el 01 de febrero de 2024 en: <https://www.inegi.org.mx/programas/pib/2018/#tabulados>

López-Sarabia, P. y Venegas Martínez, F. (2010). *Sobre la eficiencia de las coberturas petroleras contratadas con opciones de venta: Un análisis con modelos GARCH*. *Escuela Superior de Economía del Instituto Politécnico Nacional*, vol. 0(26), pp. 7-23. Recuperado el 16 de mayo de 2020 en: <https://ideas.repec.org/a/ipn/esecon/vvy2010i26p7-23.html>

Karlova, Andrea (2018). *Despegando con vuelos de Levy*. Video consultado el 01 de septiembre de 2021 en: <https://www.youtube.com/watch?v=KUA39Ku-3U4>

Kuwait Investment Authority (2020). *About KIA*. Recuperado el 01 de septiembre de 2020 en: <https://kia.gov.kw/about-kia/>

Ma, Chang y Valencia, Fabian (2018). *Welfare Gains from Market Insurance: The case of Mexican Oil Price Risk*. International Monetary Fund. Recuperado el 20 de agosto de 2020 en: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2018/03/02/Welfare-Gains-from-Market-Insurance-The-Case-of-Mexican-Oil-Price-Risk-45667>

Mandelbrot, Benoit y Hudson, Richard (2006). *The misbehavior of markets: A fractal view of financial Turbulence*. Editorial Basic Book.

Merrill, A Bank of America Company (2021). *Equity Option Basics*. Recuperado el 18 de septiembre de 2021 en: <https://www.merrilledge.com/investment-products/options/equity-options-basics>

Mercatus Energy Advisors (2012). *Sovereign State Oil Hedging on the rise?* Recuperado el 30 de abril de 2021 en: <https://www.mercatusenergy.com/blog/bid/72874/Sovereign-State-Oil-Hedging-On-The-Rise>

Ministry of Finance of the Russian Federation (2020). *National Wealth Fund Accumulation*. Recuperado el 06 de septiembre de 2020 en: <https://minfin.gov.ru/en/key/nationalwealthfund/accumulation/>

Mlodinow, Leonard (2008). *El andar del borracho*. Editorial Planeta.

Nasdaq Data Link (2022). *Treasury Bill Rates*. Recuperado el 07 de enero de 2022 en: <https://data.nasdaq.com/data/USTREASURY/BILLRATES-treasury-bill-rates>

Norges Bank Investment Management (2020). *About the Fund*. Recuperado el 01 de septiembre de 2020 en: <https://www.nbim.no/en/the-fund/about-the-fund/>

Nossa, D, et al. (2016) *Hedging Oil and Gas Production: Issues and Considerations*. Recuperado el 19 de mayo de 2020 en: <http://us.practicallaw.com/w-001-3415>

Norwegian Ministry of Finance (2019). *The Norwegian Fiscal Policy Framework*. Recuperado el 01 de septiembre de 2020 en: <https://www.regjeringen.no/en/topics/the-economy/economic-policy/economic-policy/id418083/>

P.M.I. Comercio Internacional (2018). *Fórmulas de los crudos mexicanos de exportación*. Recuperado el 24 de octubre de 2021 en <https://www.pmi.com.mx/Documents/FormulasCrudos.pdf>

Olszewski, Yan (2005). *Building a better fund of hedge funds: A fractal and alpha-stable distribution approach*. Maple Financial Alternative Investments.

Ortiz Pérez, Rey David (2018). *Análisis de sensibilidad en la valuación de opciones mediante distribuciones alpha-estables*.

Qatar Investment Authority (2020). *Our Mission*. Recuperado el 01 de septiembre de 2020 en: <https://www.qia.qa/About/OurMission.aspx>

Rechtschaffen, Alan (2019). *Capital markets, derivatives, and the Law: Positivity and Preparation*.

Reforma (2021). *Planea Pemex dejar de exportar crudo en 2023*. Recuperado el día 06 de febrero de 2022 en https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/preacceso/articulo/default.aspx?_rval=1&urlredirect=https://www.reforma.com/planea-pemex-dejar-de-exportar-crudo-en-2023/ar2322204?referer=--7d616165662f3a3a6262623b727a7a7279703b767a783a--

Sánchez-Albavera, F. y Vargas, A. (septiembre de 2015). *La volatilidad de los precios del petróleo y su impacto en América Latina*, CEPAL. Recuperado el día 20 de mayo de 2020 en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6291/1/S050719_es.pdf

Schrager, Allison (2019). *La Economista en el burdel*. Editorial Conecta.

Secretaría de Hacienda y Crédito Público (30 de abril de 2020). *Estadísticas Oportunas de Finanzas Públicas*. Recuperado el 23 de mayo de 2020 en <http://presto.hacienda.gob.mx/EstoporLayout/estadisticas.jsp>

Sierra-Juárez, G. y Méndez García, D. (2017). *Un modelo de inversión óptima para fondos soberanos: Caso Fondo Mexicano del Petróleo para la Estabilización y el Desarrollo*. Recuperado el 18 de marzo de 2020 en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-718X2017000300731#B2

Somanathan, T.V. y Anantha Nageswaran, V. (2015). *The Economics of Derivatives*.

SWFI (2021). *List of 139 Sovereign Wealth Fund Profiles by Region*. Recuperado el 06 de febrero de 2022 en: <https://www.swfinstitute.org/profiles/sovereign-wealth-fund>

Uchaikin, V. y Zolotarev, V. (1999) *Chance and stability, stable distributions and their applications*.

Venegas Martínez, F. (2008). *Riesgos financieros y económicos. Productos derivados y decisiones económicas bajo incertidumbre*. Editorial CENGAGE Learning.

Yahoo Finance (2021). Base de datos de los costos de los índices bursátiles SWPPX e INVESCO. Recuperado el día 10 de agosto de 2020 en: <https://finance.yahoo.com/>