



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Trabajo de
fin de grado

Diversificación de carteras socialmente responsables en México

Alumna: Nuria Nieto Moreira

Tutora: Ana Iglesias Casal

Grado en **Administración y Dirección de Empresas**

Junio 2023

Resumen

El presente estudio trata de aportar más valor a la inversión socialmente responsable a través del análisis de las ponderaciones de carteras en las que se incluyen el índice S&P/BMV Total México ESG, un índice de responsabilidad social corporativa mexicano, y materias primas como el petróleo y el oro. Para llevar a cabo este estudio, se emplearon los modelos DCC-GARCH que permiten estimar las volatilidades y las correlaciones condicionales dinámicas entre pares de acciones que contengan el SPBMV. Los resultados obtenidos muestran que la materia prima más adecuada para la cobertura de riesgo es el oro.

El presente trabajo continene 9.729 palabras.

Abstract

The present study aims to add value to socially responsible investment through the analysis of portfolio weights that include the S&P/BMV Total Mexico ESG Index, a mexican corporate social responsibility index, and commodities such as oil and gold. To curry out this study, DCC-GARCH models were uded, which allow for the estimation of volatilities and dynamic conditioanl correlations between pairs of stocks that include the SPBMV. The results obtained show the most suitable commodity for risk hedging is gold.

Índice

Resumen	2
Índice	3
Índice de abreviaturas	4
Índice de tablas e ilustraciones.....	5
Planificación	6
Introducción	8
Revisión bibliográfica	14
Desarrollo de la investigación.....	18
1 Metodología	19
2 Datos.....	27
3 Resultados empíricos.	30
3.1 Volatilidad condicional y correlación condicional dinámica.....	30
3.2 Ponderación óptima de carteras y cobertura de riesgo.....	36
Conclusiones y ampliación.....	40
Bibliografía.....	41

Índice de abreviaturas

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
ARCH	Modelo autorregresivo de heterocedasticidad condicional.
BMV	Bolsa Mexicana de Valores.
CBOE	Chicago Board Options Exchange.
CSA	Evaluación de Sostenibilidad Corporativa.
DCC	Correlación Condicional Dinámica.
ESG	Gobierno ambiental, social y corporativo.
GARCH	Modelo autorregresivo generalizado de heterocedasticidad condicional.
ISR	Inversión Socialmente Responsable.
MGARCH	Modelos GARCH multivariantes.
OVX	Índice de volatilidad implícita del petróleo.
RSC	Responsabilidad Social Corporativa.
SPBMV	Índice de responsabilidad social de México.

Índice de tablas e ilustraciones

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: COMPAÑÍAS QUE FORMAN PARTE DEL ÍNDICE S&PBMV TOTAL MÉXICO ESG REBALANCEO SE LLEVA A CABO UNA VEZ AL AÑO EN EL MES DE JUNIO FECHA 07 DE JULIO DE 2022. FUENTE BMV.COM.MX	12
TABLA 2: ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE LOS RENDIMIENTOS DIARIOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	29
TABLA 3: RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DEL MODELO DCC-BIVARIANTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	35
TABLA 4: RESULTADO DE LOS RESIDUOS ESTANDARIZADOS. FUENTE DE ELABORACIÓN PROPIA	36
TABLA 5: ESTADÍSTICOS DE LOS PESOS DE UNA CARTERA FORMADA POR CADA PAR DE ACTIVOS. FUENTE ELABORACIÓN PROPIA.	36
TABLA 6: ESTADÍSTICOS CORRESPONDIENTES AL CÁLCULO DE LOS RATIOS DE COBERTURA. FUENTE ELABORACIÓN PROPIA	38
TABLA 7: EFECTIVIDAD DE LA COBERTURA PARA CADA PAR DE ACTIVOS. FUENTE ELABORACIÓN PROPIA	38

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1: RENDIMIENTOS DIARIOS. FUENTE: EIKON- DATASTREAM E INVESTING	30
GRÁFICO 2: CORRELACIONES CONDICIONALES DINÁMICAS. ESTIMACIÓN POR EL MODELO DCC. FUENTE ELABORACIÓN PROPIA	34
GRÁFICO 3: RATIOS DE COBERTURA PARA CADA PAR DE ACTIVOS. FUENTE ELABORACIÓN PROPIA	39
GRÁFICO 4: PONDERACIONES DE CARTERA PARA CADA PAR DE ACTIVOS. FUENTE ELABORACIÓN PROPIA	39

Planificación

Primera reunión: 15 de noviembre de 2022

En esta primera reunión, se establecieron los objetivos básicos del presente trabajo de investigación y, se decidió el país sobre el que se elegiría el índice de responsabilidad social y cuáles serían las materias primas que servirían para llevar a cabo el análisis. Por otro lado, la tutora facilitó a la alumna una amplia variedad de artículos relacionados con la inversión socialmente responsable para la búsqueda de información bibliográfica.

Duración aproximada: 50 minutos

Segunda reunión: 13 de diciembre de 2022

En esta segunda reunión se comentaron aspectos a mejorar en relación con la introducción redactada y se acordó la metodología a emplear por la alumna para la elaboración del estudio.

Duración aproximada: 60 minutos

Tercera reunión: 7 de febrero de 2023

En esta tercera reunión se revisaron aspectos relacionados con la metodología empleada. Además la tutora indicó a la alumna las correcciones que debía hacer para mejorar la redacción y clarificar los conceptos.

Duración aproximada: 60 minutos

Cuarta reunión: 28 de marzo de 2023

La tutora explicó a la alumna cuál sería el mejor método para tratar los datos utilizando programas econométricos como el Eviews.

Duración aproximada: 60 minutos

Quinta reunión: 18 de abril de 2023

Se corrigieron los aspectos relacionados con los datos tratados por la alumna y se pasó a las indicaciones para la redacción de los resultados obtenidos.

Duración aproximada: 60 minutos

Sexta reunión: 24 de mayo de 2023.

Se comentaron aspectos relacionados con la corrección de toda la investigación y se le pidió a la alumna la realización de las correcciones pertinentes.

Duración aproximada: 60 minutos

Séptima reunión: 09 de junio de 2023

En la última reunión se dió el visto bueno por parte de la tutora para proceder al depósito del TFG.

Duración aproximada: 30 minutos.

Introducción

La Inversión Socialmente Responsable, en adelante ISR, tiene su origen en Estados Unidos. En 1928 se creó el primer fondo ético denominado Pioneer Fund en el que se aplicaban criterios de exclusión para empresas del sector del tabaco, el alcohol y juegos de azar. Esta práctica de inversión incorpora en la toma de decisiones por parte de los agentes inversores externos y de las propias compañías de inversión no sólo aspectos financieros sino criterios sociales, medioambientales y éticos.

En la actualidad, el enfoque de la ISR ha pasado de considerar la exclusión de empresas a apostar por la inclusión de compañías socialmente responsables en las carteras de los inversores. Esto quiere decir que, para elaborar una cartera de inversión se tiene en cuenta la política de Responsabilidad Social Corporativa (RSC) de las empresas. El aumento del interés de los inversores por este tipo de actividades y la disposición de los inversores a pagar más por empresas con una gestión óptima en RSC (Van de Velde & Vermier, 2005) ha propiciado la creación de índices de cotización éticos a nivel mundial como Dow Jones Sustainability Index (DJSI), FTSE4Good Index, MSCI Global Sustainability Index y The Ethibel Sustainability Index (ESI).

La principal preocupación de los inversores clásicos se resume en dos conceptos, rentabilidad y riesgo. Con la inversión socialmente responsable, la preocupación se expande además al impacto que supondrá para la sociedad dicha inversión en términos de creación de valor teniendo en cuenta criterios como la procedencia de las materias primas, la gestión de las distintas compañías en las que se pretende invertir y en la manera en la que éstas contribuyen con la sociedad (De Souza Cunha et. al., 2019).

En pro de la responsabilidad medioambiental, se crearon los denominados BONOS VERDES que suponen una manera de inversión en activos que cumplen criterios

ISR ya que se trata de deuda emitida por organizaciones públicas o privadas con el propósito de invertir en proyectos socialmente responsables.

La emisión de este tipo de deuda por parte de las compañías no solo genera un impacto positivo en el mercado, sino que también afianza el compromiso de las mismas con sus actividades responsables (Flammer, 2021). A los inversores mantener en su cartera este tipo de instrumento financiero les permite aumentar su puntuación ESG algo que resulta importante para aquellos que están especialmente preocupados por las consecuencias y el riesgo que supondría para sus carteras de inversión las regulaciones que se puedan dar a largo plazo relacionadas, por ejemplo con el cambio climático (Reboredo, 2020)

Son muchos los artículos que hacen referencia a la inversión socialmente responsable y a la comparación entre los rendimientos obtenidos en una inversión convencional frente a una inversión sostenible, sin embargo, existe un “silencio” acerca de la correlación entre los precios de activos de empresas socialmente responsables y activos financieros como los commodities o materias primas, que tienen un elevado atractivo en el mundo de las inversiones.

Las materias primas de manera histórica aportan diferentes beneficios a las carteras de inversión como la diversificación y la cobertura de riesgo ya que la correlación de los commodities y el resto de los activos se presume como baja o incluso negativa, esto quiere decir que, cuando aumentan los rendimientos de uno de los activos los rendimientos del otro bajan de manera que estar en posesión de una cartera que combine activos con esta correlación permite cubrir parcialmente el riesgo de pérdida total. Estas son las razones por las cuales, a priori, parece una buena estrategia invertir en distintos activos y en materias primas para diversificar el riesgo.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, puede resultar interesante para los inversores conocer cuál sería la relación de cobertura entre los activos ISR y las materias primas y cuál sería la ponderación óptima y la cobertura de

una cartera socialmente responsable que incluya distintas commodities como son el oro o el petróleo.

En la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático celebrada en Glasgow, (Naciones Unidas, 2021) 120 líderes mundiales resaltaron la necesidad de encaminarse hacia un futuro más sostenible. Aunque el principal enfoque de la conferencia fue el cambio climático y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, se propusieron temas relacionados con las materias primas, especialmente el petróleo. Algunas de las decisiones relacionadas con el petróleo y los combustibles fósiles que se tomaron fue la necesidad de acelerar la transición hacia fuentes de energía más limpias y renovables en los procesos productivos y en la vida cotidiana. Algunas organizaciones anunciaron también sus planes para reducir la inversión en combustibles fósiles y centrar su capacidad en inversiones más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Estas decisiones suponen grandes implicaciones en la industria del petróleo ya que podría disminuir su demanda.

Por otro lado, la crisis provocada por el COVID 19 y la guerra de Ucrania han supuesto un gran impacto en el mercado de las materias primas tal y como señalan algunos de los siguientes autores en sus respectivos artículos; Pardo de Santayana (2020) y Díaz Pinzón (2023).

Estos acontecimientos tienen y tendrán en el largo plazo un impacto en las cotizaciones de los commodities que los inversores deberán tener en cuenta a la hora de trazar sus carteras si tienen como objetivo incluirlas en las mismas.

Según el Banco Mundial (Banco Mundial, 2022), México es la segunda economía de América Latina y uno de las 15 más grandes del mundo. Dispone de abundantes recursos naturales que propician el desarrollo financiero y, las instituciones financieras estimulan el crecimiento económico (Balsalobre-Lorente, 2018) (Levine, 1997). Shahbaz (2018) en su artículo sobre el papel de los recursos naturales en el desarrollo financiero para EEUU durante el período 1960-2016 concluye que existe un efecto de

retroalimentación entre ambos que contribuye a su vez al crecimiento económico ya que permite dirigir las ganancias hacia actividades más productivas.

El 41% de las exportaciones del país mexicano fueron petróleo crudo, seguido de los petrolíferos¹ y el gas natural. Dada su geografía, México tiene una gran capacidad de extracción de petróleo en crudo y petrolíferos. En cuanto a la participación mundial en la producción de energía primaria, el país tuvo una participación del 57% (Secretaría de Energía, 2022).

La Responsabilidad Social Corporativa ha ganado mucho peso en los últimos años en México, poniendo el foco en áreas como la sostenibilidad ambiental (prácticas sostenibles y responsables en materia de gestión de residuos), la cadena de suministro (garantizando que los que participan en la misma lo hacen de manera responsable) y la inclusión social (igualdad de género e inclusión de personas con discapacidades). Por su parte, el Gobierno de México ha puesto en marcha distintas políticas y regulaciones que contribuyen a fomentar la RSC en el país; en 2018 aprobaron la Ley de Desarrollo Social para el Distrito Federal (2018) y se creó el Consejo Nacional de Responsabilidad Social Empresarial.

Además, en junio de 2020 S&P Dow Jones índices y la Bolsa Mexicana de Valores (BMV) se unieron para el lanzamiento de un índice de referencia ESG en México. Este índice, recibió el nombre de S&P/BMV Total México ESG Index, en adelante SPBMV. Desde 2011, la Bolsa Mexicana de Valores ha sido reconocida como líder en América Latina en la implementación de prácticas ESG.

El índice SPBMV está compuesto por 30 empresas mexicanas. El proceso de selección de las empresas que son susceptibles de formar parte de este índice ESG está basado principalmente en la puntuación obtenida por la Evaluación de Sostenibilidad

¹ Petrolíferos se obtienen de la refinación del petróleo

Corporativa (CSA). Estas puntuaciones son revisadas por el S&P Dow Jones Indices y, es relevante destacar que están excluidas aquellas compañías que comercialicen con armas convencionales y tabaco además de aquellas que no cumplan con el Pacto Mundial de Naciones Unidas (ONU, 2022)

Tabla 1: Compañías que forman parte del índice S&PBMV Total México
ESG Rebalanceo se lleva a cabo una vez al año en el mes de junio Fecha
07 de Julio de 2022.

CÓDIGO DE COTIZACIÓN	NOMBRE DE LA EMPRESA
AC	Arca Continental S.A.B de C.V
AGUA	Grupo Rotoplas S.A.B de C.V
ALPEK	Alpek S.A.B de C.V
ALSEA	Alsea S.A.B de C.V
AMX	América Móvil S.A.B de C.V
AXTEL	Axtel S.A.B de C.V.
BIMBO	Grupo Bimbo S.A.B de C. V
BOLSA	Grupo Bolsa Mexicana de Valores S.A.B de C.V
CEMEX CPO	CEMEX CPO S.A.B de C.V
ELEKTRA	Grupo Elektra S.A.B de C.V
FEMSA	Fomento Económico Mexicano S.A.B de C.V
FIBRAPL	Prologis Property México S.A de C.V
FUNO	Fibra Uno S.A de C.V
GAP	Grupo Aeroportuario del Pacífico S.A.B de C.V
GFNORTE	Grupo Financiero Banorte S.A.B de C.V
GMEXICO	Grupo México S.A.B de C.V
GMXT	Grupo México Transportes S.A.B de C.V
KIMBER	Kimberly Clark de México S.A.B de C.V
KOF	Coca Cola Femsa S.A.B de C.V
LAB	Genomma Lab International S.A.B de C.V
LIVEPOL	El Puerto de Liverpool S.A.B de C.V

ORBIA	Orbia Advanced Corporation S.A.B de C.V
Q	Qualitas Controladora S.A.B de C.V
R	Regional S.A.B de C.V
TERRA	PLA Administradora Industrial S. R.L
TLEVISA	Grupo Televisa S.A.B
TRAXION	Grupo Traxion S.A.B de C.V
VESTA	Corporación Inmobiliaria Vesta S.A.B de C.V
VOLAR	Controladora Vuela Cia de Aviación S.A.B de C.V
WALMEX	Wal-Mart de México S.A.B de C.V

Fuente BMV.COM.MX

Los países que se encuentran en situación de crecimiento proporcionan elevadas oportunidades de inversión ya que cuentan con rendimientos atractivos, pero con volatilidades altas lo que supone la necesidad de establecer mecanismos de cobertura en los distintos portafolios o carteras para minimizar su exposición al riesgo. Esta situación puede observarse en el gráfico 1 donde los rendimientos del SPBMV durante el período de estudio presentan valores positivos en término medio y también presentan volatilidad.

Este trabajo, consiste principalmente en llevar a cabo una investigación empírica acerca del grado de correlación entre el SPBMV de México y el oro y el SPBMV y el petróleo a través del Brent y del OVX que mide la volatilidad implícita de los precios del petróleo. Se tratará de observar los beneficios que se puedan derivar de la diversificación de carteras teniendo en cuenta estos activos y de si esos beneficios son mayores o menores en momentos de recesión frente a momentos en los que el mercado se encuentra en condiciones normales y, se empleará para ello un modelo de correlación condicional dinámica. Además, se analizará cuáles serían las ponderaciones óptimas y la cobertura que corresponderían a cada uno de los activos en el caso de que se construyesen carteras de inversión que incluyan las commodities mencionadas anteriormente y el índice de responsabilidad social mexicano.

Revisión bibliográfica

La razón de comparar el SPBMV con el petróleo y el oro está relacionada con numerosos artículos que hacen referencia a estos commodities para la diversificación y la cobertura de riesgos.

Arouri, Jouini & Nguyen (2011) utilizan un el modelo MGARCH para estudiar el grado de transmisión de la volatilidad entre el petróleo y los mercados bursátiles en Europa y Estados Unidos y concluyen que los activos petroleros permiten mejorar el rendimiento ajustado al riesgo y sirven de cobertura de riesgo. Arouri et al. (2015) analiza la transmisión de volatilidad y diversificación entre el oro el mercado bursátil en China y concluyen que las carteras de stocks que incluyen el oro como cobertura mejoran el rendimiento ajustado al riesgo y, además, que el oro es un activo refugio para épocas de crisis financiera.

Sadorsky (2014) en su trabajo, empleó los modelos multivariantes GARCH para analizar la volatilidad y las correlaciones condicionales dinámicas entre un índice socialmente responsable (DJSI) y los precios del oro y del petróleo y su comparación con el índice S&P 500. En su estudio llega a la conclusión de que las ratios de cobertura del petróleo y el oro son bajos (siendo mejor el del petróleo) y que las ponderaciones de las carteras para el índice socialmente responsable son similares a las resultantes de utilizar el índice convencional S&P 500.

Batten et al. (2018) muestran que los mercados bursátiles y petroleros están segmentados, permitiendo a los inversores de petróleo diversificar el riesgo mediante

carteras petróleo-stock². Concluyen que se obtienen beneficios ajustados al riesgo positivos cuando los inversores diversifican el precio de la energía a través de las compras de stocks.

Iglesias Casal et al. (2020) en su artículo, acerca de la diversificación y la cobertura de riesgo socialmente responsable en Brazil, basado en 2843 observaciones entre el 6 de diciembre de 2005 y el 27 de octubre de 2016, concluyeron que el oro es el que aporta mayores beneficios de diversificación en los momentos de tiempo en los que la volatilidad del índice socialmente responsable es elevada.

Por otro lado, en la actualidad, existen numerosos estudios e investigaciones sobre la construcción de carteras de inversión que incluyen índices socialmente responsables. También se pueden encontrar artículos que contrastan la existencia de diferencias en los rendimientos ajustados al riesgo entre las carteras convencionales (que no consideran criterios sociales o ambientales) y las que incluyen fondos de ISR.

Hamilton et al. (1993) después de definir en su artículo los fondos ISR, presentan un análisis sobre el desempeño de éstos con datos que abarcan de 1984 a 1990. En su análisis, los autores concluyeron que el desempeño de los fondos socialmente responsables es similar al de los fondos convencionales.

Statman (2000) por su parte, llevó a cabo un estudio en el que comparó los resultados de un índice socialmente responsable; Domini Social Index (DSI) y un índice convencional (S&P 500 Index) para el período 1990-1998 y concluyó que el rendimiento medio durante ese período del índice DSI superó al rendimiento medio del S&P 500. Por su parte, Chen et. al. (2021) realizaron un estudio utilizando los datos del mercado de valores de EE. UU. entre 2012 y 2017 que consistía en la construcción de carteras de inversión incluyendo ISR para analizar la efectividad en el riesgo y rendimiento. Las

² Stock es la palabra inglesa que hace referencia a un activo.

conclusiones alcanzadas por los autores revelan que la inclusión de índices sostenibles en las carteras de inversión permite obtener mejores rendimientos.

Derwall et al. (2005) en su trabajo centraron su estudio en la “eficiencia” demostrando que, carteras compuestas por empresas de EEUU con alta puntuación en eficiencia ecológica proporcionaron mayores rendimientos a los inversores que carteras compuestas por acciones con una baja puntuación durante el período 1995-2003.

Pereira, Cortez & Silva (2019) llegaron a la conclusión de que los inversores no reducen el rendimiento de sus carteras incluyendo en ellas criterios ESG, sin embargo, a medida que pasa el tiempo, según estos autores, no deben esperar rendimientos muy superiores ya que el mercado ha incluido este tipo de inversión y reconoce de manera positiva las prácticas de las empresas en materia de responsabilidad social.

Como veremos más adelante, las series financieras presentan aglutinación de volatilidad, correlaciones dinámicas y transmisión de shocks tanto en sus rendimientos como en sus volatilidades. Para poder recoger estos hechos estilizados, se introdujeron los modelos GARCH multivariantes.

Hassan & Malik (2007) examinaron la transmisión de volatilidad entre los sectores financiero, industrial, de consumo, salud, energía y tecnología empleando modelos GARCH multivariantes. La conclusión a la que llegaron los autores fue la existencia de transmisión en términos de volatilidad entre los rendimientos de los diferentes índices sectoriales objeto de estudio. Este descubrimiento sugiere la posibilidad de cobertura entre los distintos mercados sectoriales.

Por su parte, Li & Majeowska (2008) emplearon un modelo GARCH-BEKK con cuatro variables para analizar la relación entre distintos mercados emergentes.

Además de los modelos BEKK, otra de las extensiones de los MGARCH son los modelos DCC (Dynamic Conditional Correlation), que aparecen explicados a lo largo del presente trabajo. Engle & Sheppard (2001) en su artículo, utilizan este modelo para estimar la varianza condicional de 100 activos empleando índices del S&P 500. Los

autores concluyeron que la estimación a partir de un modelo de correlaciones condicionales dinámicas proporciona más flexibilidad en la modelización.

Desarrollo de la investigación.

Una vez desarrollada la introducción y la revisión bibliográfica, la sección actual corresponde al desarrollo de la investigación.

Esta sección está dividida en tres apartados, el primero hace referencia a la metodología empleada para llevar a cabo el análisis de los datos, el segundo a la descripción de los datos empleados en el estudio y , finalmente, en la tercera sección se describen los resultados empíricos obtenidos: el cálculo de las correlaciones condicionales dinámicas entre el índice de responsabilidad social mexicano, el petróleo y el oro y la obtención de la ponderación óptima de carteras socialmente responsables y los ratios de cobertura.

1 Metodología

Las variables financieras como, por ejemplo, los índices de bolsa se caracterizan por seguir procesos estocásticos no estacionarios. Un proceso estocástico se trata de una sucesión de variables aleatorias ordenadas en el tiempo y la estacionariedad en sentido débil cuando sus momentos de primer y segundo orden, es decir, media, varianza y covarianza son invariables en el tiempo.

Otra característica muy relevante de las variables financieras, relacionado con lo mencionado anteriormente es que presentan volatilidad condicional dinámica en sus rendimientos. Por esta razón, los modelos tradicionales que suponen varianzas homocedásticas no son los adecuados para llevar a cabo el análisis de las mismas.

El término “volatility clustering” (aglutinación de volatilidad) introducido por Engle (1982), determina que las grandes desviaciones o shocks de los rendimientos de un activo tienden a ir seguidas de grandes desviaciones o shocks, alternando con pequeñas desviaciones seguidas de pequeñas desviaciones, lo que implica la existencia de agrupamientos de volatilidad.

Uno de los métodos que permiten estimar la volatilidad de los activos que componen una cartera de inversión recibe el nombre de volatilidad histórica, estimada a través de ventanas móviles. Este método simple permite estimar la volatilidad a corto y medio plazo a partir de la información histórica de los rendimientos, sin embargo, presenta limitaciones importantes a tener en cuenta y es que, es preciso establecer una longitud de la ventana, si la amplitud de la misma es muy elevada, los resultados obtenidos no proporcionarán información suficiente y si es demasiado corta puede presentar un número elevado de errores. Por otro lado, es necesaria la predicción de la volatilidad futura para medir el riesgo (Sadorsky, 2006). Si una variable fue generada por un proceso estacionario en sentido estricto, significa que su media es constante, su varianza es finita y sus autocovarianzas son invariantes en el tiempo (Otero, 1993).

Para poder trabajar con variables que presentan aglutinación de volatilidad Engle (1982) propuso modelos ARCH (Modelo Autorregresivo Condicionalmente Heterocedástico) y distintos autores posteriormente propusieron varias extensiones.

Según Engle (2004), un proceso ARCH de series temporales produce patrones de comportamiento que varían con el tiempo y se pueden predecir. Además, en periodos de elevada volatilidad, el modelo permite producir un mayor número de valores extremos de los que se esperaría en una distribución normal estándar, ya que estos valores o rendimientos financieros en este caso, son mayores de lo que se habría podido predecir con un modelo que supone una volatilidad constante.

El modelo ARCH permite especificar una ecuación para la varianza condicional en función de las variables observables actuales y, utilizando las medias ponderadas de los cuadrados de los errores de predicción pasados (Engle, 2004). Es decir, la varianza condicional según este modelo depende únicamente de los cuadrados de los shocks pasados del mercado. El modelo ARCH (p) se define de la siguiente manera:

$$h_t = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 \quad (1)$$

Dónde, h_t es la varianza condicional en el tiempo, ε_t es el error en el momento del tiempo t y $\omega, \alpha_1 \dots \alpha_p$ son los parámetros, dónde ω corresponde a la ordenada en el origen (o intercepto) y $\alpha_1 \dots \alpha_p$ son los parámetros que miden la contribución de los errores al cuadrado del momento anterior. Si $\alpha_1 \dots \alpha_p$ no son significativamente distintos de cero, entonces h_t sería igual a una constante y, por tanto, estaríamos ante un modelo de homocedasticidad condicional (varianza condicional constante).

De acuerdo con la especificación anterior, la varianza condicional es una función creciente del cuadrado del shock ocurrido en el período anterior. Si el shock en t es grande (pequeño) se espera que el shock en t+1 también lo sea. Esto es lo que se conoce como aglutinación de la volatilidad.

Una de las extensiones de los modelos ARCH (p) que se utilizan para recoger de forma más parsimoniosa una alta persistencia son los modelos GARCH (p,q), para los cuáles es necesario identificar los valores correspondientes a (p) y (q).

En numerosas ocasiones especificar un modelo utilizando la metodología ARCH precisa de un elevado número de retardos. Para evitar que se pierda precisión en la estimación y, debido a la necesidad de reflejar las interdependencias que surgen entre los distintos activos, en este análisis utilizaremos los modelos GARCH (Novales, 2013).

Los modelos de heterocedasticidad condicional autorregresiva (GARCH) fueron propuestos por Bollerslev (1986) y, se emplean también en series con un alto grado de volatilidad y exceso de curtosis, como es el caso de las series financieras en general (Argó & Fernández, 2001). En este tipo de modelos, la varianza condicional depende de los valores pasados de la varianza (elemento adicional que incluye este modelo frente al modelo ARCH) y de los shocks o perturbaciones pasadas elevadas al cuadrado.

El modelo GARCH (1,1) se define de la siguiente manera:

$$h_t = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 h_{t-1} \quad (2)$$

dónde h_t representa la varianza condicional de la serie temporal en el momento t, ω es el término constante, α_1 es el coeficiente que mide la persistencia a corto plazo, es decir, el impacto del cuadrado de los shocks en la varianza futura y, ε_{t-1}^2 representa el cuadrado del error en el momento t-1, β_1 es el coeficiente que mide la persistencia a largo plazo de la varianza en t-1 y, por último, h_{t-1} es la varianza condicional en t-1. $\alpha_1 + \beta_1 < 1$ miden la persistencia, es necesario que la suma de ambos sea inferior a la unidad para que se cumpla la condición de estacionariedad en varianza.

El modelo GARCH (1,1) implica que la varianza condicional del activo depende del valor de la varianza y del error o perturbación ambos referidos al momento inmediatamente anterior.

Siguiendo esta parametrización, modelo generalizado GARCH (p, q) vendría dado por:

$$h_t = \omega + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \alpha_2 \varepsilon_{t-2}^2 + \dots + \alpha_p \varepsilon_{t-p}^2 + \beta_1 h_{t-1}^2 + \beta_2 h_{t-2}^2 + \dots + \beta_q h_{t-q}^2 \quad (3)$$

Donde, $\sum \alpha_i$ mide la persistencia a corto plazo y $\sum \beta_i$ mide la persistencia a largo plazo.

El modelo requiere que $\sum (\alpha_i + \beta_i)$ sean inferiores a 1 para garantizar que la varianza es estacionaria.

Uno de los objetivos de este análisis consiste conocer las correlaciones y las covarianzas dinámicas entre las variables objeto de estudio. Los modelos GARCH (p,q) mencionados en líneas anteriores nos permiten estimar las volatilidades condicionales a nivel univariante pero no nos permiten obtener correlaciones y covarianzas condicionales, por esta razón se introducen los modelos GARCH multivariados (MGARCH).

Los MGARCH nos permiten llevar a cabo la estimación conjunta de varianzas y correlaciones condicionales o bien de varianzas y covarianzas condicionales. Dentro de estos modelos existen dos vertientes: los que se centran en modelizar la matriz de varianzas covarianzas condicionales (H_t) y los que se centran en modelizar la matriz de correlaciones condicionales (R_t).

Los modelos BEKK, introducidos por Engle & Kroner (1995), los modelos DVECH y VECH introducidos por Engle, Wooldridge & Bollerslev (1988) pertenecen a la primera de las vertientes mencionadas en el párrafo anterior. En relación a los modelos que permiten modelizar la matriz de correlaciones condicionales, Bollerslev (1990) introdujo los modelos CCC y, posteriormente Engle (2002) propuso en su artículo los modelos DCC.

En este análisis emplearemos el modelo DCC con el que se tratará de estimar las volatilidades condicionales dinámicas entre el SPBMV y los demás activos y la correlación condicional dinámica entre ambos, la diferencia con los modelos propuestos

por Bollerslev (1990) radica en la matriz de correlaciones condicionales (R_t). En los modelos CCC, esta matriz no depende del momento t , de manera que la matriz de varianzas condicionales se expresaría como:

$$H_t = D_t R D_t \quad (4)$$

Por el contrario, en el modelo DCC la modelización de la matriz de correlaciones condicionales depende del momento t .

$$H_t = D_t R_t D_t \quad (5)$$

La principal razón por la cuál, en este análisis no empleamos los modelos BEKK mencionados en párrafos anteriores radica en el idea de que éstos modelos sí permiten solucionar el problema de que H_t sea una matriz definida positiva pero no nos permiten cuantificar la persistencia a corto y a largo plazo como los modelos DCC.

Engle & Sheppard (2001) mostraron que la varianza condicional se podía simplificar realizando la estimación de modelos GARCH univariantes para cada uno de los activos objeto de estudio y posteriormente, utilizando los residuos estandarizados obtenidos en esa primera etapa, llevar a cabo la estimación de la correlación condicional (DCC) en una segunda etapa. De forma que, para llevar a cabo una estimación empleando un modelo DCC y, suponiendo que en nuestro caso el análisis será bivariante se debe, en una primera etapa, realizar una estimación según un modelo GARCH univariante para la varianza condicional de cada una de las variables objeto de estudio y, a partir de esas estimaciones, obtener los residuos estandarizados. En la segunda etapa esos residuos estandarizados se emplearán para estimar la correlación condicional.

El modelo DCC se define de la siguiente manera:

$$Y_t = C + \tau \sum_{j=1}^2 Y_{t-j} + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t = H_t^{-\frac{1}{2}} z_t \quad (6)$$

Dónde Y_t es el vector de rendimientos, C denota el vector de interceptos y τ mide el impacto de los rendimientos retardados.

$$H_t = D_t R_t D_t \quad (7)$$

Dónde $R_t D_t$ se definen como:

$$D_t = \text{diag}(h_{11t}^{1/2} \dots h_{NNt}^{1/2}) \quad (8)$$

$$R_t = (\text{diag}(Q_t))^{-1/2} Q_t (\text{diag}(Q_t))^{-1/2} \quad (9)$$

Dónde Q_t se define

$$Q_t = (1 - \theta_1 - \theta_2)Q + \theta_1 * z_{t-1} + \theta_2 Q_{t-1} \quad (10)$$

Los parámetros θ_1 y θ_2 son positivos, de manera que se tiene que cumplir que $\theta_1 + \theta_2 < 1$, H_t corresponde a la matriz de varianzas covarianzas condicional de los residuos ε_t ; z_t es el vector de los residuos estandarizados que se distribuye de manera idéntica e independiente (i.i.d.) con $E[z_t] = 0$ y $E[z_t z_t'] = I$. R_t es la matriz de orden $N \times N$ de correlaciones condicionales dinámicas; Q es la matriz de covarianzas incondicionales de los residuos estandarizados y D_t es la diagonal de la matriz de desviaciones estándar condicionales cuyos elementos están definidos a partir de un proceso GARCH (p,q) univariante. En este modelo se asume que los residuos siguen una distribución t-Student, distribución que se emplea en series cuyas colas se consideran pesadas.

En el modelo DCC se estima una ecuación para la media condicional, una ecuación para la varianza condicional y una ecuación para las correlaciones condicionales. Asume que la volatilidad de cada activo varía con el tiempo siguiendo un modelo GARCH y que, la correlación entre los activos también es dinámica y sigue un modelo GARCH en las correlaciones.

Este tipo de modelos permite a los inversores calcular ponderaciones dinámicas de carteras proporcionando información suficiente para que puedan elaborar estrategias de inversión basadas en la persistencia de la volatilidad y la dinámica temporal de las correlaciones entre los rendimientos considerados. Esto permite la toma de decisiones para la diversificación de carteras a medida que disponen de información relevante.

Las ponderaciones dinámicas de carteras hacen referencia al ajuste de éstas de manera periódica atendiendo a los cambios en el mercado y en la información. Este tipo de ponderaciones, por lo tanto, permiten a los inversores ajustar su cartera en tiempo real y aprovechar las oportunidades de inversión existentes minimizando lo posible el riesgo.

A partir de las estimaciones de la volatilidad obtenidas para cada uno de los rendimientos, se emplearán las varianzas condicionales de manera que sea posible calcular las ponderaciones óptimas de las carteras de inversión para el índice sostenible de México, el petróleo y el oro asumiendo el menor riesgo. Estimar una matriz de covarianzas que varíe en el tiempo es importante para la construcción óptima de carteras. El segundo objetivo de este trabajo es, por tanto, conocer la ponderación óptima de una cartera de inversión formada por el índice SPBMV, el oro y el petróleo. y su cobertura

El artículo de Markowitz (1952) en el que establece un modelo de optimización de carteras se considera una importante contribución a la teoría de las carteras. El objetivo principal del modelo de Markowitz (1952) consiste en la maximización de la rentabilidad de una cartera y la minimización de su riesgo. Para ello, se calcula la matriz de varianzas-covarianzas y posteriormente se genera un conjunto de carteras eficientes. Este modelo presenta una limitación y es que, está diseñado asumiendo que los rendimientos de los activos son normales y sus varianzas constantes algo que, en la realidad, los activos financieros no presentan, como se pudo ver anteriormente, pero que se puede corregir empleando los distintos modelos MGARCH.

Según Kroner & Ng (1998) la ponderación óptima de una cartera que incluye acciones de dos activos, una commodity y un índice de sostenibilidad, se puede expresar como:

$$w_t^C = \frac{h_t^I - h_t^{CI}}{h_t^C - 2h_t^{CI} + h_t^I} \quad (11)$$

$$w_t^C = \begin{cases} 0, & \text{if } w_t^C < 0 \\ w_t^C & \text{if } 0 \leq w_t^C \leq 1 \\ 1, & \text{if } w_t^C > 1 \end{cases} \quad (12)$$

Donde w_t^C es el peso del activo commodity en un portfolio de dos activos, h_t^{CI} es la covarianza condicional entre el activo commodity y el índice de responsabilidad social en el periodo t. La ponderación óptima del índice sostenible en una cartera compuesta por dos activos viene dada por $1 - w_t^C$.

Si lo que el inversor busca es la cobertura del riesgo de manera óptima, debe tomar una posición adecuada en relación a la commodity de forma que pueda reducir el riesgo al máximo. Según Kroner & Sultan (1993), la ratio de cobertura óptima en una cartera con dos activos se obtiene en el momento en el que se consigue minimizar el riesgo de la cartera y, cuando la adquisición de un dólar en un activo se puede cubrir con una posición corta, es decir, una posición de venta de β_t^{CI} dólares en el mercado de las commodities. La cobertura óptima se puede definir de la siguiente forma:

$$\beta_t^{CI} = \frac{h_t^{CI}}{h_t^C} \quad (13)$$

2 Datos

El estudio realizado está basado en una muestra que contiene datos diarios de cierre de los índices analizados, comprendidos entre 01 de junio de 2020 y el 31 de diciembre de 2023. La investigación incluye los datos del índice de responsabilidad social de México (SPBMV) obtenidos de la Base de Datos de la Bolsa de Valores de México en moneda estadounidense (dólares). En lo que respecta a las commodities se utilizaron los siguientes datos; para el oro (COMEX Gold Composite Commodity Future) los precios de cierre diarios obtenidos de la base de datos EIKON en dólares, para el petróleo se utilizó como referencia el precio a cierre del BRENT (un tipo de petróleo que se extrae principalmente en el mar del Norte y sirve de referencia en los mercados europeos - ICE Europe Brent Crude) en dólares por barril, y para la volatilidad del petróleo se empleó el índice de volatilidad OVX que ofrece el mercado global CBOE (The Chicago Board Options Exchange) y cuyos datos fueron obtenidos de la base de datos EIKON.

Los valores del OVX comenzaron a publicarse en el año 2008 por la CBOE. Este índice mide la volatilidad esperada en el mercado del petróleo, es decir, una estimación de los precios de futuro del petróleo. Tiene gran importancia porque la volatilidad del mercado del petróleo puede tener efecto en otros mercados como por ejemplo, el de la energía renovable.

Dutta (2017) en su estudio llegó a dos conclusiones fundamentales. En primer lugar, que la volatilidad del petróleo medida por el OVX tiene un impacto sobre los rendimientos del mercado de las energías renovables y, en segundo lugar, que este índice parece ser un gran predictor del comportamiento de los precios del petróleo. Esta última cuestión es la principal razón por la que el OVX está incluido en la investigación actual.

Con relación al petróleo los dos tipos de petróleo en crudo más utilizados son: el Brent y el WTI (West Texas Intermediate). Como se mencionó en líneas anteriores, el Brent es el crudo de referencia en los mercados de futuro europeos además de en África y Oriente y el WTI se utiliza como referencia en los mercados de futuro americanos.

Reboredo (2011) encontró que los precios del crudo en todo el mundo están relacionados y se mueven en la misma dirección independientemente de que el mercado se encuentre al alza o a la baja de manera que, resulta indiferente emplear cualquiera de los dos tipos de crudo. En la investigación actual se emplea al Brent porque ha mostrado unos resultados superiores al WTI, sobretodo en los momentos de crisis financieras.

Los rendimientos diarios continuos se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$R_t = 100 \times \log\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right) \quad \text{dónde } P_t \text{ es el precio diario en el cierre. (14)}$$

En la tabla 2, aparecen los resultados de los estadísticos descriptivos correspondientes a los rendimientos diarios de las variables SPBMV, oro, petróleo y del índice OVX.

El valor medio de cada uno de los índices se mueve en torno a valores positivos cercanos a cero como podemos observar en el gráfico 1, a excepción del índice de volatilidad implícita del petróleo cuyo valor medio es negativo. Podemos observar también a partir del gráfico que los rendimientos del petróleo presentan una mayor volatilidad sobre todo entre el primer trimestre de 2022 y el primer trimestre de 2023.

La volatilidad de los distintos índices (gráfico 1), medida a partir de la desviación típica es menor en el oro, seguido del índice de responsabilidad social de México, del petróleo y finalmente el OVX es el que presenta una mayor volatilidad.

En relación con la asimetría y, a excepción del OVX, los valores negativos pueden sugerir la existencia de una mayor probabilidad de pérdidas y los altos y positivos valores de curtosis indican una mayor probabilidad de sucesos extremos, lo que implica que los sucesos extremos son más probables de lo que lo serían si se tratase de una variable aleatoria normal.

La prueba de Jarque-Bera rechaza la normalidad para todas las series. Las pruebas de raíz unitaria ADF, PP y KPSS indican que los rendimientos son estacionarios

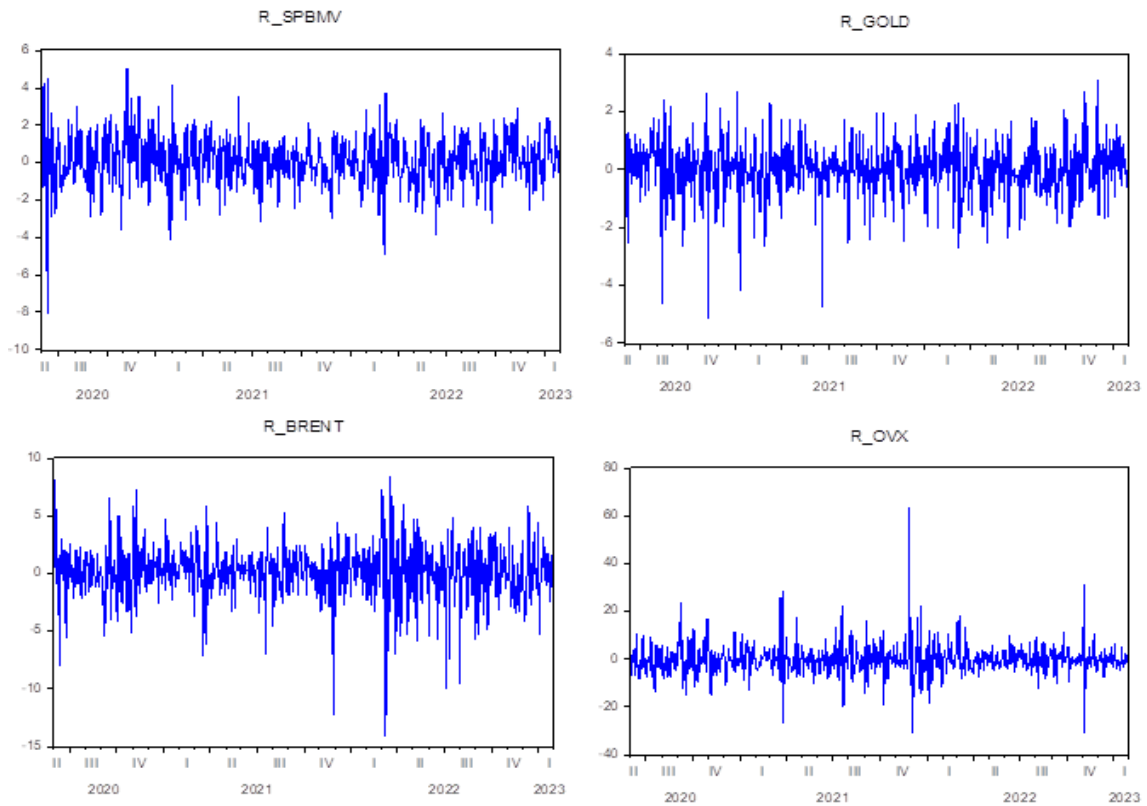
y, el estadístico de Ljung-Box de orden 10 muestra la existencia de autocorrelación y de heterocedasticidad condicional. La existencia de autocorrelación significativa en los rendimientos al cuadrado o en los rendimientos en términos absolutos reflejan la existencia de volatility clustering (aglutinación de volatilidad).

Tabla 2: Estadísticos descriptivos de los rendimientos diarios

	SPBMV	ORO (GOLD)	PRETRÓLEO (Brent)	OVX
Media	0.0886	0.0150	0.1250	-0.0840
Mediana	0.0412	0.0322	0.2444	-0.2285
Valor máximo	5.0861	3.1010	8.4287	63.6073
Valor mínimo	-8.0384	-5.1069	-14.1083	-31.1236
Std. Dev.	1.3745	0.9751	2.4487	6.6627
S	-0.3048	-0.7123	-0.7271	1.4645
K	5.2803	5.9789	6.5630	17.8344
JB	161.8122**	316.6614**	430.1229**	6640.120**
ADF	-24.3241**	-27.8303**	-20.7411**	-28.9171**
PP	-24.2816**	-27.9005**	-26.7458**	-32.4816**
KPSS	0.1777	0.0663	0.3567	0.9101
Q (r_t^2)	117.75**	18.388**	80.812**	37.521**
Q ($ r_t $)	66.391**	12.954**	116.08**	91.088**
Corr SPBMV	1	0.1194	0.2283	-0.3160
Nº Obs	697	697	697	697

Leyenda: Std. Dev es la desviación típica, S es el coeficiente de asimetría Skewness. K el coeficiente de curtosis, ADF es el test de raíces unitarias de Augmented Dickey-Fuller, JB hace referencia la test de normalidad Jarque Bera, PP es el test de raíces unitarias de Phillips-Perron, KPSS es la prueba de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin que se utiliza para contrastar la hipótesis de si una serie temporal es estacionaria; $Q(r_t^2)$ y $Q(|r_t|)$ son los valores del test de Ljung-Box para contrastar la autocorrelación de orden diez de los cuadrados y valores absolutos de los rendimientos, respectivamente. ** hace referencia a que la Prob=0,0000 lo que supone el rechazo de la hipótesis nula. Los datos utilizados para la obtención de estos resultados están comprendidos entre 01/06/2020 y 31/01/2023. Fuente: Elaboración propia

Gráfico 1: Rendimientos diarios.



Fuente de elaboración propia

3 Resultados empíricos.

3.1 Volatilidad condicional y correlación condicional dinámica.

En este apartado se presentan los resultados de la estimación de las volatilidades y las correlaciones condicionales dinámicas.

Los resultados que se muestran en la tabla 3 se pueden dividir en tres secciones: la primera sección corresponde a los resultados de estimación de la ecuación de la media para cada par de índices, la segunda sección son los resultados de la estimación de la ecuación de la varianza y, finalmente, la tercera sección muestra los resultados de las ecuaciones de correlación.

En la ecuación de la media se ha incluido un término constante y, en el caso del par correspondiente a SPBMV&Brent se ha incluido una estructura VAR(2) en la media mientras que en los pares correspondiente al SPBMV&Oro y SPBMV&OVX ha sido necesario incluir una estructura VAR(1) basada en un único retardo. La ecuación de la varianza condicional incluye un GARCH(1,1) para cada una de las series y para la obtención de la ecuación de correlación se ha utilizado un modelo GARCH(1,1).

En la estimación entre los rendimientos de SPBMV y el Brent se puede observar que, para la ecuación de la media los términos constantes son significativos y también los son los coeficientes asociados a través de la estructura VAR (2) en la media. En la ecuación de la varianza los efectos del GARCH que miden la persistencia a largo plazo son significativos y es importante destacar que, en este par de activos, la persistencia a largo plazo es superior en el Brent. En relación con la persistencia a corto plazo que muestra los efectos del ARCH, para ambos activos es también significativa y es ligeramente superior el valor del coeficiente estimado asociado al Brent.

Con respecto a la ecuación de la correlación, solo el coeficiente estimado de persistencia a largo plazo en la correlación es significativo al nivel del 5%. El grado de libertad de la distribución t- student (ν) es elevado y significativo lo que indica que el modelo presenta leptocurtosis. Los resultados obtenidos en relación a este parámetro se repiten en los tres pares de activos analizados.

Para el par SPBMV&Oro, los resultados muestran, en la ecuación de la media los valores son significativos para la ordenada en el origen correspondiente al SPBMV y para la estructura VAR(1) de ambos activos. La ecuación de la varianza muestra que, tanto para el SPBMV como para el oro, los coeficientes que miden la persistencia a corto plazo son significativos únicamente en el SPBMV y los coeficientes que miden la persistencia a largo plazo son significativos para ambos activos siendo mayores los coeficientes de largo plazo (β_i). Finalmente, los coeficientes de persistencia en correlación a corto plazo y a largo son ambos significativos.

En relación con el último par, SPBMV&OVX, ambos términos de la ordenada en el origen son significativos en la ecuación de la media y los coeficientes son significativos para la estructura VAR(1) siendo el efecto del valor retardado un período del SPBMV negativo y significativo en la ecuación del rendimiento del OVX en el período actual. Es decir, los rendimientos del índice de volatilidad implícita del petróleo están influidos negativamente por los valores pasados de los rendimientos del índice sostenible SPBMV, cuánto mejor se comporte el índice sostenible menor será la volatilidad implícita del petróleo, OVX, en períodos futuros. En la ecuación de la varianza, los coeficientes de persistencia a corto y largo plazo también son significativos para el par analizado y, como en los casos anteriores, el valor de los coeficientes que miden la persistencia a largo plazo son superiores. Por último, solo el coeficiente de persistencia a largo plazo en correlación es significativo.

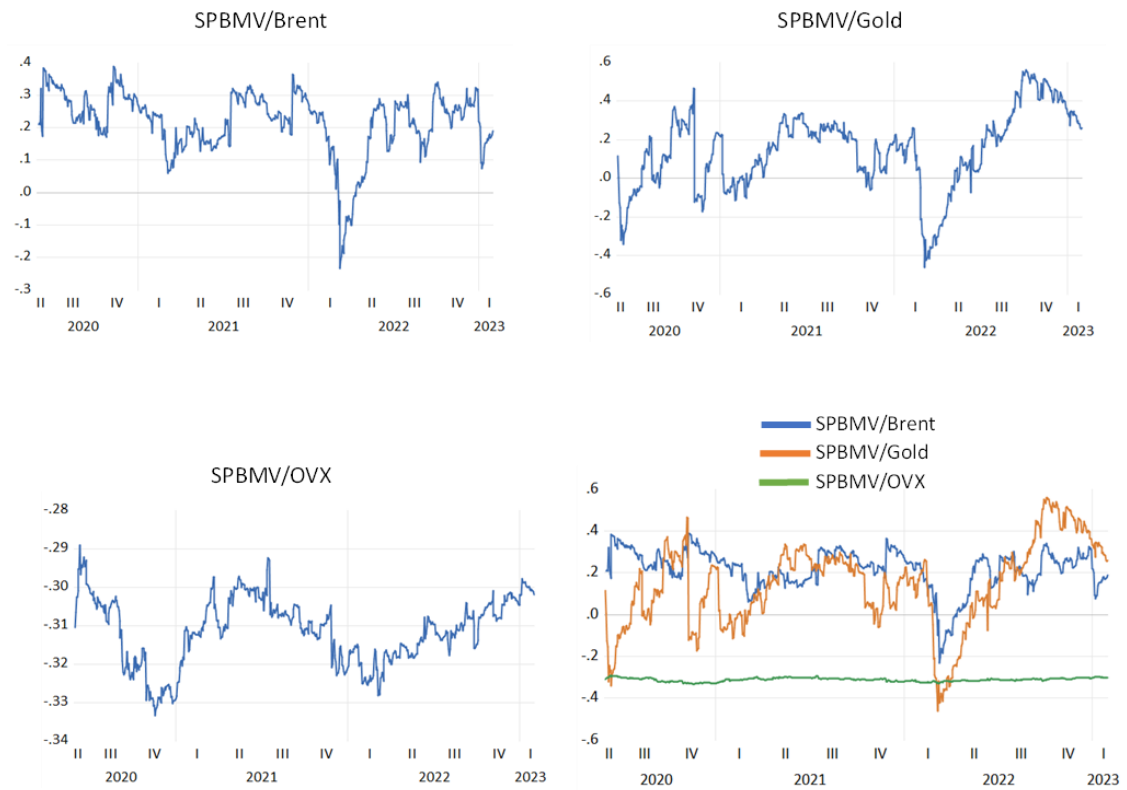
Para confirmar que el modelo empleado en el análisis es el adecuado, en la tabla 4 se presentan los resultados obtenidos para los residuos estandarizados. Podemos observar que en el test de Jarque- Bera se rechaza la hipótesis nula para todos los casos, lo que indica que los rendimientos no siguen una distribución normal, aunque la curtosis se reduce ligeramente en algunos activos y por tanto, sus colas son menos pesadas. En relación con el estadístico Ljung-Box realizado para los 10 primeros retardos, los resultados indican que no existe presencia de autorcorrelación ni heterocedasticidad condicional. Los resultados muestran que el modelo estimado permite capturar la volatilidad condicional dinámica para todos los rendimientos de los activos analizados.

Las correlaciones condicionales dinámicas se ven reflejadas en el gráfico 2 en la que aparecen los gráficos correspondientes a las mismas para cada uno de los pares de activos analizados con respecto al SPBMV. En relación a los resultados obtenidos, el Brent presenta correlaciones positivas con el SPBMV salvo en el primer trimestre del año 2022. El índice socialmente responsable también presenta correlaciones negativas con el oro en determinados momentos del período analizado coincidiendo también en el primer trimestre del año 2022 como lo hace el petróleo (brent) y, sin embargo, se puede observar como la correlación dinámica que presenta con el índice de volatilidad

que recoge las expectativas (OVX) es una correlación negativa para todo el período analizado lo que significa que cuando los rendimientos del índice SPBMV disminuyen los del OVX aumentan.

Las correlaciones más elevadas en términos absoluto se observan entre el SPBMV y el oro llegando a valores de 0,6 sin embargo, estas correlaciones presentan una mayor variabilidad. Por el contrario, el Brent y el SPBMV no llegan a valores positivos tan elevados pero si presentan correlaciones positivas durante prácticamente todo el período analizado. En promedio, el SPBMV y el Brent presentan una correlación positiva más alta : 0.2174, seguido del oro con un valor medio del 0.1429 y finalmente, el OVX presenta la mayor correlación negativa en promedio con un valor de -0.3113. En la última figura del gráfico 2 aparece reflejado las correlaciones dinámicas agrupadas de los tres pares de activos analizados.

Gráfico 2: Correlaciones condicionales dinámicas. Estimación por el modelo DCC



Fuente de elaboración propia

Tabla 3: Resultados de la estimación del modelo DCC-Bivariante.

SPBMV&Brent		SPBMV&Gold		SPBMV&OVX	
<i>Ecuación de la media</i>					
C^S	0.0924*	C^S	0.0773*	C^S	0.1036*
C^B	0.2656*	C^G	0.0378	C^O	-0.3409*
φ^S_{11}	0.0884*	φ^S_{11}	0.0687*	φ^S_{11}	0.0980*
φ^S_{12}	0.0228	φ^S_{12}		φ^S_{12}	
ε^S_{11}	-0.0170	ε^S_{11}	0.0908*	ε^S_{11}	0.0051
ε^S_{12}	-0.0364*	ε^S_{12}		ε^S_{12}	
φ^B_{21}	0.1198*	φ^G_{21}	0.0650*	φ^O_{21}	-0.3461*
φ^B_{22}	0.0450	φ^G_{22}		φ^O_{22}	
ε^B_{21}	-0.0071	ε^G_{21}	-0.0388	ε^O_{21}	-0.0819*
ε^B_{22}	-0.1268*	ε^G_{22}		ε^O_{22}	
<i>Ecuación de la varianza</i>					
w^S	0.2451	w^S	0.2790	w^S	0.2830*
w^B	0.2254*	w^G	0.1212	w^O	5.3942*
α^S_1	0.0922*	α^S_1	0.0963*	α^S_1	0.1209*
α^B_1	0.0993*	α^G_1	0.0119	α^O_1	0.2008*
β^S_1	0.7787*	β^S_1	0.7704*	β^S_1	0.7591*
β^B_1	0.8595*	β^G_1	0.8561*	β^O_1	0.6499*
<i>Ecuación de la correlación</i>					
θ_1	0.0241	θ_1	0.0395*	θ_1	0.00243
θ_2	0.9365*	θ_2	0.9439*	θ_2	0.9813*
ν	4.6518*	ν	4.6518*	ν	4.7568*
Ln L	-2662.9939	Ln L	-2063.4581	Ln L	-3296.6812
AIC	7.715	AIC	5.973	AIC	9.516

Fuente de elaboración propia

Tabla 4: Resultado de los residuos estandarizados.

SPBMV/Brent			SPBMV/Gold	
	SPBMV	Brent	SPBMV	Gold
Skewness	-0.1655	-0.7517	-0.1669	-1.0211
Kurtosis	3.4645	5.7108	3.4644	6.9652
JB	13.0659***	340.094***	14.6588***	1151.9283***
Q(10)	3.3352	3.62014	3.8124	6.5199
Q ² (10)	7.1641	8.8852	8.1111	8.9762
SPBMV/OVX				
	SPBMV	OVX		
Skewness	-0.1425	3.4429		
Kurtosis	3.5326	37.6753		
JB	10.9760***	36768.3666***		
Q(10)	3.6372	9.8354		
Q ² (10)	9.3160	0.5889		

Fuente de elaboración propia

3.2 Ponderación óptima de carteras y cobertura de riesgo.

En este apartado, se analizará la efectividad de la cobertura y la diversificación de las carteras utilizando los resultados de las varianzas y covarianzas estimadas obtenidas a través del modelo de correlación condicional dinámica DCC multivariante. El objetivo de esta sección es determinar cuál de los activos analizados supondría una mejor cobertura para un inversor interesado en incluir en su cartera el índice SPBMV.

En la tabla 5 se muestran los resultados obtenidos para los valores medios de las ponderaciones óptimas de carteras formadas por dos activos, uno de ellos el índice socialmente responsable de México.

Tabla 5: Estadísticos de los pesos de una cartera formada por cada par de activos. Fuente elaboración propia.

Series	Obs.	Media	Desv. Típica	Mínimo	Máximo
SPBMV/Brent	695	0.2272	0.1076	-0.0064	0.6496
SPBMV/Gold	696	0.7661	0.0673	0.5839	0.9778
SPBMV/OVX	696	0.1242	0.0413	0.0206	0.3127

Fuente de elaboración propia

Una de las estrategias utilizadas para la gestión de una cartera de manera eficiente es el cálculo de las ponderaciones de los activos para determinar cuál sería la cantidad adecuada a incluir de cada uno en la cartera. Esta ponderación indica cuantos dólares se debe invertir en un activo (el secundario) para obtener un dólar de otro activo (el primario). En la tabla 5 se puede observar que los resultados obtenidos indican que el peso óptimo del oro es el valor más alto: 0.7661 lo que indica que por cada dólar invertido en la cartera, se deben invertir 0.76 centavos en oro y el resto, 0.2339 en el índice SPBMV. La ponderación más baja es para el índice de volatilidad implícita OVX con un valor de 0.1242 centavos por cada dólar invertido. Es importante señalar que el OVX es el activo que presenta un peso menor dentro de la cartera a pesar de ser el activo que presenta mayores correlaciones negativas. En el gráfico 4 se puede observar la evolución de las ponderaciones para cada par de activos de una cartera.

Otra de las estrategias importantes empleadas en la gestión de la cartera es el cálculo de la ratio óptima de cobertura. Esta ratio se refiere al nivel de cobertura que permite minimizar el riesgo de una inversión en un mercado, mediante la venta de una cantidad específica en otro mercado, de tal manera que se proteja el valor del dólar invertido.

En la tabla 6 se muestran los resultados de las ratios de cobertura. El valor medio de la cobertura del Brent es de 0.13, ligeramente superior es el valor medio de cobertura del oro: 0.1935 y el par que conforman el OVX y el SPBMV da un resultado medio negativo cuyo valor es de -0.0822. La cobertura más cara resulta al comprar SPBMV y vender oro, aun así, con esta combinación de activos es con la que se consigue una mayor reducción del riesgo en la cartera ya que el índice de efectividad de cobertura en esta cartera es el más alto de todos (0.62), como se puede ver en la tabla 7. Es necesario destacar que la volatilidad de la ratio de cobertura del par SPBMV&oro es la más alta, pasando de valores cercanos a 1 a valores negativos de hasta un mínimo de -1.11 en el primer trimestre de 2020 y en el primer trimestre de 2022 coincidiendo con la crisis del COVID en el primer caso y con la guerra de Ucrania y la inestabilidad ocasionada en el segundo, lo que nos indica que en épocas de crisis el oro es un activo que se utiliza como

refugio. En el gráfico 3 se puede ver la evolución de los mismos durante el periodo analizado.

Tabla 6: Estadísticos correspondientes al cálculo de los ratios de cobertura.

Series	Obs.	Media	Desv. Típica	Mínimo	Máximo
SPBMV/Brent	695	0.1394	0.0663	-0.0902	0.3720
SPBMV/Gold	695	0.1935	0.3123	-1.1105	0.9538
SPBMV/OVX	695	-0.0822	0.0230	-0.1763	-0.0182

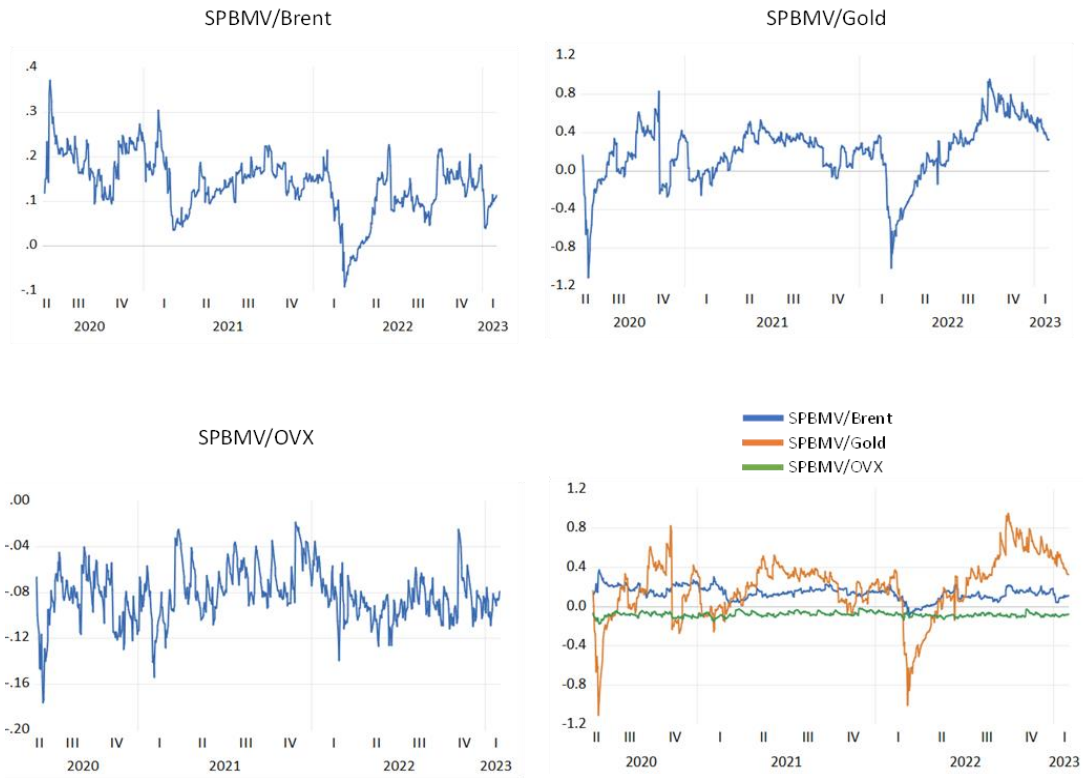
Fuente de elaboración propia

Tabla 7: Efectividad de la cobertura para cada par de activos.

Series	Efectividad de la cobertura
SPBMV/Brent	0.1351
SPBMV/Gold	0.6240
SPBMV/OVX	0.2477

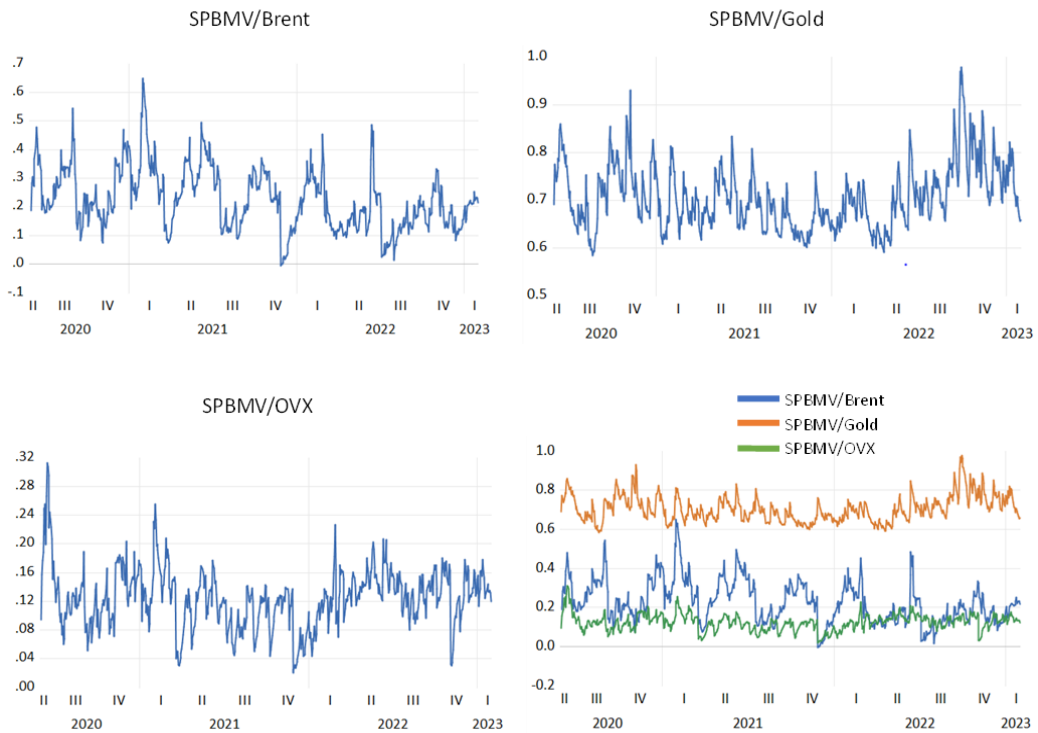
Fuente de elaboración propia

Gráfico 3: Ratios de cobertura para cada par de activos.



Fuente de elaboración propia

Gráfico 4: Ponderaciones de cartera para cada par de activos.



Fuente de elaboración propia

Conclusiones y ampliación

El propósito de esta investigación es analizar el papel del oro, el brent y el índice OVX como cobertura de riesgo en una cartera compuesta por estos índices y por el índice de responsabilidad social de México. Para llevar a cabo este análisis se empleó un modelo de correlaciones condicionales dinámicas que nos permitió estimar las correlaciones entre cada par de activos y ver como fue su evolución durante el periodo analizado.

El modelo estimado permite capturar la persistencia en volatilidades y correlaciones variando en el tiempo entre los distintos activos analizados, proporcionando a los inversores información para el diseño de estrategias óptimas de diversificación y cobertura.

En relación con la asignación óptima de ponderaciones a las carteras y el análisis de cobertura, el estudio nos permite concluir que en las carteras formadas por el SPBMV y el oro, es éste último el que debe recibir una ponderación mayor mientras que en las carteras en las que el SPBMV se combina con los otros activos, será el índice de responsabilidad social mexicano el que deba tener mayor ponderación. Por otro lado, nos permite determinar que el activo que presenta una mayor reducción del riesgo de cartera es el oro.

En definitiva, los resultados del estudio establecen que la inversión en empresas socialmente responsables en un mercado como el mexicano requieren de la utilización del oro como cobertura eficiente siendo el índice de volatilidad implícita del petróleo el que ofrece una cobertura más barata.

Bibliografía

- Argó, V., & Fernández, Á. (2001). Cambios de varianza y modelos GARCH - Bivariantes. Aplicación a la cobertura dinámica. *Universidad Jaume I*.
- Arouri, E. H., Lahiani, A., & Nguyen, K. (2015). World gold prices and stock returns in China: Insights for hedging and diversification strategies. *Economic Modelling*, 273-282. doi:doi.org/10.1016/j.econmod.2014.10.030
- Arouri, E., Jouini, J., & Nguyen, D. (2011). Volatility spillovers between oil prices and stock sector returns: Implications for portfolio management. *Journal of International Money and Finance*, 1387-1405. doi:doi.org/10.1016/j.jimonfin.2011.07.008
- Banco Mundial. (Octubre de 2022). *bancomundial.org*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/country/mexico/overview>
- Batten, J., Kinatader, H., Szilagyi, P., & Wagner, N. (2018). Addressing COP21 using a stock and oil market integration index. *Energy Policy*, 127-136. doi:doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.048
- Bauwens, L., S. Laurent, & Rombouts, J. K. (2006). Multivariate GARCH models: a survey. *Journal of Applied Econometrics* 21, 79-109. doi:https://doi.org/10.1002/jae.842.
- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, vol 3.
- Bollerslev, T. (1990). Modelling the Coherence un Short-Run Nominal Exchange Rates: A Multivariate Generalized Arch Model. *The Review of Economics and Statistics*, 72 (3), 498-505. doi:https://doi.org/10.2307/2109358
- Bollerslev, T., R., E., & Nelson, D. (1994). Chapter 49 Arch Models. *Handbook of Econometrics*, Elsevier, Volume 4, 2959-3038. doi:https://doi.org/10.1016/S1573-4412(05)80018-2.
- Chen, L., Zhang, L., Huang, J., Xiao, H., & Zhou, Z. (2021). Social responsibility portfolio optimization incorporating ESG criteria. *Journal of Management Science and Engineering*. Volume 6., 75-85. doi:https://doi.org/10.1016/j.jmse.2021.02.005.

- Daniel Balsalobre-Lorente, M. S. (2018). How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO2 emissions? *Energy Policy*, 356-367. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517307255>
- De Souza Cunha, F., De Oliveira, E., Orsato, R., Klotzle, M., Oliveira, F., & Caiado, R. (2019). Con sustainable investments outperform traditional benchmarks? Evidence from global stock markets. *Business Strategy and the Environment*, 682-697. doi:<https://doi.org/10.1002/bse.2397>
- Derwall, J., Guenster, N., Bauer, R., & Koedijk, K. (2005). The Eco-Efficiency Premium Puzzle. *Financial Analysts Journal*, 51-63. doi:10.2469/faj.v61.n2.2716
- Díaz Pinzón, J. (2023). Fluctuación del precio del petróleo Brent debido a la guerra entre Rusia y Ucrania. *Revista Economía y Política Nº37- Universidad Nacional de Colombia*.
- Dutta A. (2017). Oil price uncertainty and clean energy stock returns: New evidence from oil crude volatility index. *Journal of Cleaner Production*. vol 164, 1157-1166. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.050>.
- Engle, R. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, 987-1007.
- Engle, R. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50 (4), 987-1007. doi:<https://doi.org/10.2307/1912773>
- Engle, R. (2002). Dynamic conditional correlation: A simple class of multivariate generalized autoregressive conditional heteroskedasticity models. *Journal of Business and Economic Statistics* 20, 339-350. doi:<https://doi.org/10.1198/073500102288618487>
- Engle, R. (2004). Riesgo y Volatilidad: Modelos Econométricos y Práctica Financiera. *Revista Asturiana de Economía Nº 31*.
- Engle, R., & Kroner, K. (1995). Multivariate Simultaneous Generalized Arch. *Econometric Theory*, 11(1), 122-150. doi:<http://www.jstor.org/stable/3532933>
- Engle, R., & Sheppard, K. (2001). Theoretical and Empirical properties of Dynamic Conditional Correlation Multivariate GARCH. *National Bureau of Economic Research*(8554). doi:10.3386/w8554
- Engle, R., Wooldridge, J. M., & Bollerslev, T. (1988). A Capital Asset Pricing Model with Time-Varying Covariances. *Journal of Political Economy* 96(1), 116-131. doi:<https://doi.org/10.1086/261527>
- Fama, E. F. (1965). Behavior of Stock Prices. *Journal of Business*, 383 - 417.

- Flammer, C. (2021). Corporate green bonds. *Journal of Financial Economics*, Pages 499-516. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.01.010>.
- Hamilton, S., Jo, H., & Statman, M. (1993). Doing Well While Doing Good? The Investment Performance of Socially Responsible Mutual Funds. *Financial Analysts Journal*, 49, 6, 62-66. doi:10.2469/faj.v49.n6.62
- Hassan, S. A., & Malik, F. (2007). Multivariate GARCH modeling of sector volatility transmission. *The Quarterly Review of Economics and Finance*. Volime 47 (3), 470-480. doi:<https://doi.org/10.1016/j.qref.2006.05.006>.
- Iglesias Casal, A., López Penabad, M., López Andi6n , C., & Maside Sainz , J. (2020). Diversification and optimal hedges for socially responsible investment in Brazil. *Economic Modelling*, 106-118. doi:doi.org/10.1016/j.econmod.2019.05.010.
- Jouini, J., Nguyen, K., & Arouri, E. M. (2011). Volatility spillovers between oil prices and stock sector returns: Implications for portfolio management. *Journal of International Money and Finance*, 1387-1405. doi:doi.org/10.1016/j.jimonfin.2011.07.008
- Kroner, K., & Ng, V. (1998). Modeling Asymmetric Comovements of Assent Returns. *The Review of Financial Studies*, vol. 11 N64, 817-844. doi:<https://doi.org/10.1093/rfs/11.4.817>
- Kroner, K., & Sultan, J. (1993). Time-Varying Distributions and Dynamic Hedging with Foreign Currency Futures. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 28(4), , 535-551. doi:[doi:10.2307/2331164](https://doi.org/10.2307/2331164)
- Levine, R. (1997). Desarrollo financiero y crecimiento econ6mico: Enfoques y temario. *Journal Of Economic Literature*, vol XXXV, 688-726. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/72886339/Desarrollo_financiero_Levine-libre.pdf?1634458845=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDesarrollo_financiero_y_crecimiento_econ.pdf&Expires=1677579434&Signature=giNPRgrni6k8ZU2Y3MRSD-0P7PdoPl10i
- Ley de Desarrollo Social para el Distrito Federal. (21 de febrero de 2018). Ciudad de M6xico .
- Li, H., & Majeowska, E. (2008). Testing stock market likages for Poland and Hungary: a multivariate GARCH approach. *International Business and Finance*. Volume 22 (3), 247-266. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2007.06.001>.
- Mandelbrot, B. (1963). The Variation of Certain Speculative Prices. *Journal of Business*, 394-419.
- Markowitz H. (1952). Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, 7(1), 77-91. doi:<https://doi.org/10.2307/2975974>
- Naciones Unidas. (2022). *Pacto Mundial de Naciones Unidas*. Obtenido de <https://www.pactomundial.org/noticia/criterios-esg-y-su-relacion-con-los-ods/>

- Novales, A. (2013). Modelos ARCH univariantes y multivariantes. *Universidad Complutense. (Versión preliminar).*
- Novales, A. (2013). Volatilidad. *Universidad Complutense.*
- Otero, J. M. (1993). *Econometría. Series temporales y predicción.* Editorial AC.
- Pardo de Santayana, J. (13 de mayo de 2020). Coronavirus y petróleo: consecuencias geopolíticas. *Instituto Español de Estudios Estratégicos.*
- Pereira, P., Cortez, M., & Silva, S. (2019). Socially responsible investing and the performance of Eurozone corporate bond portfolios. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management. Vol.26,* 1407-1422. doi: <https://doi.org/10.1002/csr.1756>
- Reboredo J C. (2011). How do crude oil prices co-move? A copula approach. *Energy Economics Vol.33 Cap. 5,* 948-955. doi:<https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.04.006>.
- Reboredo Juan C., U. A. (2020). Price connectedness between green bond and financial markets. *Economic Modelling,* 25.38. doi:doi.org/10.1016/j.econmod.2019.09.004.
- Sadorsky, P. (2006). Modeling and forecasting petroleum futures volatility. *Energy Economics,* 467-488. doi:doi.org/10.1016/j.eneco.2006.04.005
- Sadorsky, P. (2014). Modelin volatility and conditional correlations between socially responsible investments, gold and oil. *Economic Modelling,* 609-618. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264999314000571>
- Secretaría de Energia. (2022). Balance Nacional de Energia. Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/805509/BNE-2021.pdf>
- Shahbaz, M. (2018). Is natural resource abundance a stimulus for financial development in the USA? *Resources Policy,* 223-232. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420717304658>
- Statman, M. (2000). Socially Responsible Mutual Funds. *Financial Analysts Journal,* 30-39. doi:[10.2469/faj.v56.n3.2358](https://doi.org/10.2469/faj.v56.n3.2358)
- Unidas, N. (2021). *Naciones Unidas, Acción por el Clima.* Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/cop26>
- Van de Velde, E., & Vermier, W. y. (2005). Corporate Governance, Vol. 5 No. 3. *Corporate Governance,* 129-138. Obtenido de <https://doi.org/10.1108/14720700510604760>