



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

FACULTAD DE DERECHO

**MODELIZANDO LA VOLATILIDAD DEL
COBRE**

Ignacio Vargas Velasco

5º E3 Analytics

Business Analytics

Tutor: Prof. Elena María Díaz Aguiluz

Madrid

Marzo 2025

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. FACTORES QUE AFECTAN EL PRECIO DEL COBRE	7
2.1. Introducción	7
2.2. Factores macroeconómicos	7
2.2.1. <i>El crecimiento económico</i>	7
2.2.2. <i>El tipo de cambio del dólar estadounidense</i>	8
2.2.3. <i>El tipo de interés</i>	9
2.2.4. <i>Tasas de inflación</i>	9
2.2.5. <i>Los precios del petróleo</i>	10
2.2.6. <i>La actividad bursátil</i>	11
2.3. Oferta y demanda	11
2.3.1. <i>La producción de cobre de las grandes empresas</i>	12
2.3.2. <i>Los inventarios en la Bolsa de Metales de Londres</i>	12
2.3.3. <i>Interrupciones en la cadena de suministro</i>	13
2.3.4. <i>Tendencias en energías renovables y electrónica</i>	14
2.4. Indicadores financieros y de mercado	14
2.4.1. <i>Volatilidad de los contratos de opciones y futuros del cobre</i>	14
2.4.2. <i>Índices de las materias primas</i>	15
2.4.3. <i>La ratio cobre-oro</i>	16
3. METODOLOGÍA	18
3.1. Descripción de datos	18
3.1.1. <i>Índice de riesgo climático</i>	18
3.1.2. <i>Índice de riesgo geopolítico</i>	19
3.1.3. <i>Índice de riesgo económico</i>	19
3.1.4. <i>VIX</i>	20
3.1.5. <i>Volatilidad de los tipos de interés</i>	20
3.1.6. <i>Volatilidad del dólar</i>	20
3.1.7. <i>Volatilidad del petróleo</i>	21
3.1.8. <i>Volatilidad del precio del cobre</i>	21
3.2. Modelo GARCH	22
3.3. Vector autorregresivo	23
4. RESULTADOS	25
4.1. Análisis del riesgo climático	25
4.1.1. <i>Descomposición histórica</i>	25

4.1.2.	<i>Impacto en la volatilidad del cobre</i>	26
4.2.	Análisis del riesgo geopolítico	27
4.2.1.	<i>Descomposición histórica</i>	27
4.2.2.	<i>Impacto en la volatilidad del cobre</i>	28
4.3.	Análisis del riesgo económico	29
4.3.1.	<i>Descomposición histórica</i>	29
4.3.2.	<i>Impacto en la volatilidad del cobre</i>	30
4.4.	Análisis del impacto del VIX	31
4.4.1.	<i>Descomposición histórica</i>	31
4.4.2.	<i>Impacto en la volatilidad del cobre</i>	32
4.5.	Análisis del impacto de los tipos de interés	33
4.5.1.	<i>Descomposición histórica</i>	33
4.6.	Análisis del impacto del precio del dólar	35
4.6.1.	<i>Descomposición histórica</i>	35
4.6.2.	<i>Impacto en la volatilidad del cobre</i>	36
4.7.	Análisis del impacto de la volatilidad del petróleo	37
4.7.1.	<i>Descomposición histórica</i>	37
4.7.2.	<i>Impacto en la volatilidad del petróleo</i>	38
4.8.	Análisis del impacto de la volatilidad del cobre	39
4.8.1.	<i>Descomposición histórica</i>	39
4.8.2.	<i>Impacto en la volatilidad del cobre</i>	41
5.	CONCLUSIONES	42
	BIBLIOGRAFÍA	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Histórico precio del cobre</i>	8
<i>Ilustración 2: Mayores productores de cobre</i>	13
<i>Ilustración 3: Comparación del histórico de los índices de materias primas</i>	16
<i>Ilustración 4: Comparación ratio cobre-oro con Bonos del Tesoro estadounidense a 10 años</i>	17
<i>Ilustración 5: Descomposición histórica del Índice de Riesgo Climático</i>	26
<i>Ilustración 6: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en el riesgo climático</i>	27
<i>Ilustración 7: Descomposición histórica del Índice de Riesgo Geopolítico</i>	28
<i>Ilustración 8: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en el riesgo geopolítico</i>	29
<i>Ilustración 9: Descomposición histórica del Índice de Incertidumbre en la Política Económica</i>	30
<i>Ilustración 10: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en la incertidumbre de la política económica</i>	31
<i>Ilustración 11: Descomposición histórica del Índice VIX</i>	¡Error! Marcador no definido.
<i>Ilustración 12: Respuesta de la volatilidad del cobre ante un cambio en el Índice VIX</i>	33
<i>Ilustración 13: Descomposición histórica del Índice MOVE</i>	34
<i>Ilustración 14: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en el índice MOVE.</i>	35
<i>Ilustración 15: Descomposición histórica de la volatilidad del precio del dólar</i>	36
<i>Ilustración 16: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en el precio del dólar</i>	37
<i>Ilustración 17: Descomposición histórica del Índice de incertidumbre del precio del petróleo crudo</i>	38
<i>Ilustración 18: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en el precio del petróleo crudo.</i>	39
<i>Ilustración 19: Descomposición histórica de la volatilidad del precio del cobre</i>	40

1. INTRODUCCIÓN

El cobre es uno de los metales más importantes a nivel mundial debido a su papel clave en sectores como la construcción, la electrónica, las infraestructuras y, cada vez más, en la transición hacia energías limpias. Esta relevancia estratégica lo convierte en un recurso de gran interés económico, cuyo precio influye directamente en los costes de producción de muchas industrias y en las políticas económicas, especialmente en países exportadores. Sin embargo, su valor ha mostrado históricamente una alta volatilidad, influenciada por una compleja interacción de factores económicos, geopolíticos y financieros.

Este estudio tiene como objetivo identificar y medir los principales factores que generan esta volatilidad en el precio del cobre, utilizando modelos empíricos de GARCH (1,1) y vector autorregresivo. La investigación se basa en un análisis exhaustivo de los elementos teóricos que afectan la oferta y la demanda del metal, incluyendo variables como el crecimiento económico global, las fluctuaciones del dólar estadounidense, las tasas de interés, la inflación, los precios del petróleo y los movimientos en los mercados bursátiles.

A partir de una base de datos que incluye indicadores relacionados con riesgos climáticos, geopolíticos y económicos, así como medidas de incertidumbre financiera como el VIX o el MOVE, se analiza la volatilidad del precio del cobre durante más de dos décadas. Esto permite identificar los factores con impacto estadísticamente significativo y comprender cómo reacciona el mercado del cobre frente a eventos inesperados.

Con este enfoque, se busca proporcionar una herramienta útil tanto para inversores como para responsables de políticas económicas, facilitando la toma de decisiones estratégicas. Además, se contribuye al estudio académico sobre la relación entre los mercados de materias primas y los factores globales de incertidumbre.

2. FACTORES QUE AFECTAN EL PRECIO DEL COBRE

2.1. Introducción

Para comenzar este trabajo es fundamental conocer aquellos factores que afectan la volatilidad del precio del cobre desde una perspectiva más teórica. El cobre es una materia prima clave en las infraestructuras, la electrónica, la construcción y la industria en general por lo que el cambio en su precio afecta múltiples sectores y es de vital importancia para muchas compañías y gobiernos poder realizar predicciones sobre dicho precio.

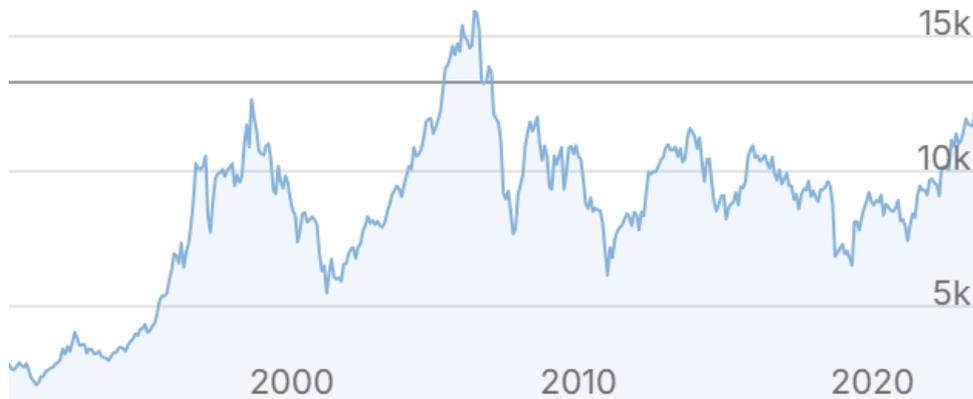
Ahora bien, es preciso enumerar y analizar minuciosamente los factores que efectivamente afectan la volatilidad del cobre y algunos son la relación entre el crecimiento económico y la demanda del cobre, los tipos de cambio del dólar estadounidense, la fluctuación de los tipos de interés, las tasas de inflación, los precios de la energía y la actividad en los mercados bursátiles. Todos estos factores influyen enormemente la oferta y la demanda del cobre, teniendo un enorme impacto en la volatilidad del precio de este.

2.2. Factores macroeconómicos

2.2.1. El crecimiento económico

Como he mencionado anteriormente el cobre es una materia prima esencial en la construcción, las infraestructuras y la electrónica por lo que el aumento de actividad económica a nivel mundial determina en gran medida el precio del cobre. Un buen indicador para medir este crecimiento económico es el Producto Interior Bruto de las grandes economías mundiales como la de China o Estados Unidos. En los periodos de aceleración económica la demanda del cobre se dispara y los precios suben rápidamente, en cambio, en momentos de recesión o deceleración económica el precio suele bajar por la falta de demanda (Vivanco y Ponce, 2021).

Esta tendencia se puede observar en la gráfica histórica del precio del cobre ya que en momentos de bonanza económica a nivel global como los principios de la década de los 2000 el precio experimenta una subida constante mientras que al llegar a la crisis financiera del 2008 o la pandemia del coronavirus de 2020 vemos como colapsa el precio debido a la recesión económica mundial. El carácter cíclico del precio del cobre provoca constantes cambios en su precio convirtiéndolo en una materia prima de gran volatilidad.



Fuente: Investing.com

Ilustración 1: Histórico precio del cobre

2.2.2. *El tipo de cambio del dólar estadounidense*

El cobre se comercializa en dólares estadounidenses por lo que el valor del mismo es muy importante para poder predecir el precio del cobre dado que afecta tanto a la demanda como a la oferta del cobre. Las transacciones de cobre son en dólares lo que implica que todos los compradores de fuera de Estados Unidos tengan que cambiar su divisa por USD. Por ejemplo, analicemos el caso de China que es el mayor comprador de cobre en el mundo. Si el yuan chino está en una posición de debilidad frente al dólar a las empresas y el gobierno chino les costará más cara cada tonelada de cobre que quieran comprar por lo que la demanda caerá y con ella los precios. Si, al contrario, el yuan se fortalece frente al dólar, ya sea por apreciación de este o por depreciación del dólar, la demanda aumentará y con ella los precios (Kristjanpoller y Sierra, 2014).

Además, la especulación tiene mucha importancia respecto a este factor pues los fondos de cobertura y los operadores realizan distintas operaciones según consideren que va a aumentar o disminuir el tipo de cambio del USD. Si consideran que va a subir el

valor de dicha moneda, empiezan a comprar futuros de cobre, provocando una subida en los precios. En cambio, si prevén una bajada en el valor del USD venderán contratos de cobre, impulsando el precio a la baja.

2.2.3. *El tipo de interés*

Los tipos de interés que determinan la Reserva Federal, y en menor medida, el Banco Central Europeo tienen mucha importancia en la demanda de cobre a nivel mundial. Las empresas necesitan préstamos para realizar grandes construcciones o proyectos que necesiten cantidades considerables de cobre por lo que si hay subida de los tipos de interés y los préstamos se encarecen, bajará la inversión y, por tanto, la demanda del cobre. La bajada de demanda provoca una bajada en el precio, aumentando así su volatilidad.

También hay que estudiar el factor de los tipos de interés desde el punto de la vista de la oferta del cobre. La industria de la producción de cobre es una industria minera que necesita de mucha inversión en capital para funcionar adecuadamente. Si dicha financiación se encarece la oferta disminuye por lo que el precio, si la demanda no desciende a la misma velocidad, se encarecerá (Frankel, 2008). Como podemos ver este factor suele neutralizar la oferta y la demanda, porque, a pesar de que la oferta y la demanda no se mueven al mismo ritmo, las tendencias son muy parecidas y la volatilidad no aumenta excesivamente.

2.2.4. *Tasas de inflación*

Anteriormente, ya indicaba que la producción de cobre es una industria intensiva de capital por lo que el aumento de la inflación lleva consigo un aumento de costes para los productores que deriva en un aumento del precio de dos maneras distintas. La primera es una menor producción debido a la subida de los costes y la segunda es un traspaso de costes a los clientes, encareciendo así el precio.

Este factor va estrechamente ligado a los dos anteriores. En primer lugar, los bancos centrales suelen aumentar los tipos de interés para combatir la inflación tal y como ocurrió en el año 2022 debido a la subida de precios de la energía que provocó el bloqueo económico a Rusia. Al subir los tipos de interés para combatir la inflación baja la demanda y, por ende, el precio tal y como hemos visto en el apartado anterior. En segundo lugar, una mayor inflación en Estados Unidos encarece el dólar y causa fluctuaciones al alza en el precio del cobre por un tipo de cambio más alto.

De todos modos, este factor tiene su mayor exponente en la demanda especulativa a la que da lugar. En los periodos en los que aumenta la inflación, los inversores buscan activos físicos como el oro o el cobre para protegerse ante la pérdida de valor del dinero. Dicha protección provoca un aumento de demanda del cobre y los precios se disparan. Sin embargo, si la inflación no frena y provoca una deceleración económica y una subida de los tipos de interés, el precio bajará de todos modos (Silva, 2023).

2.2.5. *Los precios del petróleo*

El petróleo es vital en la producción minera del cobre por lo que un aumento en su precio conlleva un grave aumento de costes y una disminución de producción o un traspaso de costes como el que explicábamos en el anterior apartado. Este aumento en el precio del petróleo también afecta a los compradores de cobre que al ser esencialmente industriales también precisan de enormes cantidades de petróleo para poder realizar su actividad. Por lo tanto, un aumento del precio del petróleo frena tanto la oferta como la demanda de cobre.

También tiene importancia en este apartado la especulación de los inversores pues consideran que el petróleo y el cobre son indicadores del crecimiento o decrecimiento económico a nivel global. Si aumenta el precio del petróleo (significa que ha aumentado la demanda), los inversores pueden predecir una subida del cobre y aumentarán las compras de la materia prima encareciendo su precio. Sin embargo, la transición energética hacia energías más limpias fomenta el consumo de cobre y castiga el de petróleo por lo que puede que dentro de unos años este factor disminuya su importancia en el ámbito especulativo. En la producción de cobre seguirá teniendo gran influencia ya que no se han

encontrado aún alternativas rentables al petróleo para impulsar la explotación minera del cobre (Koitsiwe y Adachi, 2018).

2.2.6. *La actividad bursátil*

La actividad bursátil es un reflejo de la confianza que tienen los expertos económicos en los mercados. Si el mercado de acciones comienza a bajar bruscamente indica que la confianza es baja y que los inversores intuyen una recesión. Esto causa miedo en los compradores de cobre y la demanda empieza a caer bruscamente porque los inversores cambian a activos más seguros como los bonos gubernamentales. Si, por otro lado, hay mucha confianza en un periodo alcista en la bolsa, los inversores prefieren arriesgar más y lanzarse a la compra de acciones de empresas tecnológicas o financieras ya que estas le otorgarán una mayor rentabilidad que las materias primas. Por lo tanto, las materias primas como el cobre tienen mayor demanda en momentos en los que existe incertidumbre, pero no impera un pesimismo que provoque la compra en masa de bonos. Sería un punto medio en el que los inversores no son tan optimistas como para lanzarse a comprar activos de alto riesgo ni tan pesimistas como para confiar únicamente en bonos (Wang y Li, 2021).

Algunos ejemplos son la caída del precio del cobre en la crisis financiera del 2008, momento de bajadas históricas en los índices bursátiles, o en la pandemia del coronavirus de 2020. Desde el punto de vista alcista, los máximos históricos alcanzados en la primera mitad de la década de los 2000 ilustran como el optimismo del mercado afecta positivamente al precio del cobre.

2.3. Oferta y demanda

La oferta y la demanda existentes en el mercado del cobre es, evidentemente, un componente fundamental en la volatilidad de los precios del cobre por lo que es importante analizar los indicadores que más información nos ofrecen acerca de estos factores. Los indicadores que analizaremos son la producción de las grandes empresas de

cobre, los inventarios en la Bolsa de Metales de Londres, las interrupciones en la cadena de suministro y las tendencias en energías renovables y electrónica a nivel global.

2.3.1. La producción de cobre de las grandes empresas

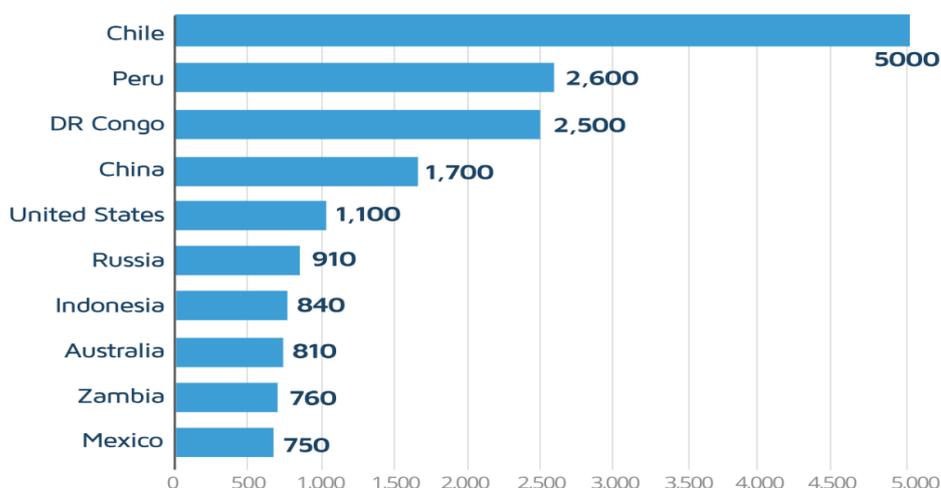
La oferta del cobre a nivel mundial está determinada por la actividad de las grandes empresas productoras de cobre que son la chilena Codelco, la australiana BHP, la estadounidense Freeport McMoRan y la, actualmente mexicana, Southern Copper Corporation. La actividad de estas compañías juega un gran papel en la volatilidad de los precios dado que un aumento de producción y, por tanto, de oferta iniciará una tendencia bajista en los precios (Khan, 2023). Al contrario, si la producción disminuye, como la de Codelco en 2023, los precios aumentarán como consecuencia de la bajada en la oferta.

Además, las proyecciones futuras de estas empresas juegan un papel importante en el mercado del cobre pues conllevan especulación por parte de los inversores (Hume, 2025). Si las proyecciones predicen un aumento de producción sería el momento de vender ya que el precio disminuirá con el aumento de oferta y viceversa.

2.3.2. Los inventarios en la Bolsa de Metales de Londres

La Bolsa de Metales de Londres es la principal bolsa global en la que se negocian los metales industriales como el aluminio, el plomo o el propio cobre. En esta bolsa se establecen los precios de referencia para los metales y existe un mercado líquido en el que se negocian contratos de opciones y futuros de los metales en cuestión (London Metal Exchange, 2025).

Los niveles de inventarios de la Bolsa de Metales de Londres es un buen indicador sobre el estado del mercado del cobre y afecta a la volatilidad. Si los inventarios existentes en la mencionada bolsa son altos, eso significa que la demanda ha bajado o que está habiendo un exceso de oferta por lo que el precio del metal comenzará una tendencia descendente. Si los inventarios son bajos, el efecto será el contrario ya que significará que estamos ante un mercado más ajustado que impulsará los precios hacia arriba.



Fuente: Statista

Ilustración 2: Mayores productores de cobre

2.3.3. Interrupciones en la cadena de suministro

Las interrupciones en la cadena de suministro pueden alterar profundamente el equilibrio en el mercado del cobre por lo que todos los inversores, productores y compradores deben atender a los factores políticos y sociales de los lugares de mayor producción, las políticas arancelarias de grandes economías y a los problemas de logística que pueden influir en el transporte del metal.

En primer lugar, es preciso detenernos en la gravedad que puede tener sobre el mercado del cobre los factores políticos y sociales al igual que una crisis sanitaria. En Chile, mayor productora mundial de cobre, las revueltas sociales de octubre de 2019 junto al estallido de la pandemia en el año 2020 provocaron una disminución enorme en la producción de cobre reduciendo la oferta a nivel mundial y aumentando el precio del mismo por el temor fundado al cierre de minas y a la huelga de mineros (Stott, 2019).

Otro punto vital para el mercado del cobre son las políticas arancelarias y los conflictos comerciales globales. Actualmente, los aranceles impuestos por Donald Trump sobre el acero y el aluminio aumentan la incertidumbre en el mercado del cobre al ser un metal utilizado en la industria (Home, 2025). El pesimismo se puede apoderar del mercado y reducir la demanda.

Por último, los problemas de transporte, especialmente en los países productores, puede dañar la confianza del mercado del cobre. Por ello, es muy importante para los gigantes de la industria asegurar unas redes de transporte y logística fiables para no tener problemas que reduzcan la oferta.

2.3.4. Tendencias en energías renovables y electrónica

La demanda del cobre se está viendo fuertemente aumentada por la transición hacia energías más limpias. Por ejemplo, la energía solar y la eólica necesita de enormes cantidades de cobre en sus infraestructuras debido a la excelente conductividad y durabilidad del metal (S&P Global, 2022). Si la demanda aumenta a mayor ritmo que la oferta, el precio del cobre se dispara tal y como está ocurriendo.

Además de las energías, la electrónica actual precisa de una altísima demanda de cobre. Los teléfonos móviles inteligentes, ordenadores y otros dispositivos necesitan de cobre para su cableado interno. La proliferación del vehículo eléctrico es, también, un enorme impulso para la demanda del cobre ya que, según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2024), utilizan aproximadamente el doble de cobre que los vehículos de combustión interna.

2.4. Indicadores financieros y de mercado

Los inversores y la especulación son un factor indispensable a tener en cuenta la volatilidad del precio del cobre ya que determinan la demanda del metal a nivel mundial. Ahora bien, para poder saber aproximadamente cómo está la confianza en el mercado del cobre existen ciertos indicadores a los que nos podemos referir que son la volatilidad de los contratos de opciones y futuros del cobre, los índices de las materias primas y la ratio oro cobre.

2.4.1. Volatilidad de los contratos de opciones y futuros del cobre.

La volatilidad implícita de las opciones del cobre es una medida que se extrae de los precios actuales del cobre. Se calcula haciendo uso del modelo Black-Scholes que despeja la variable de la volatilidad implícita conociendo variables como el precio del activo subyacente, el precio del ejercicio, o el tiempo hasta el vencimiento de la opción. Si la volatilidad es alta, significa que se vaticinan movimientos bruscos en el precio del cobre aumentando la prima de las acciones. Por el contrario, una volatilidad baja implica estabilidad futura en los precios del cobre y una disminución en las primas de las opciones.

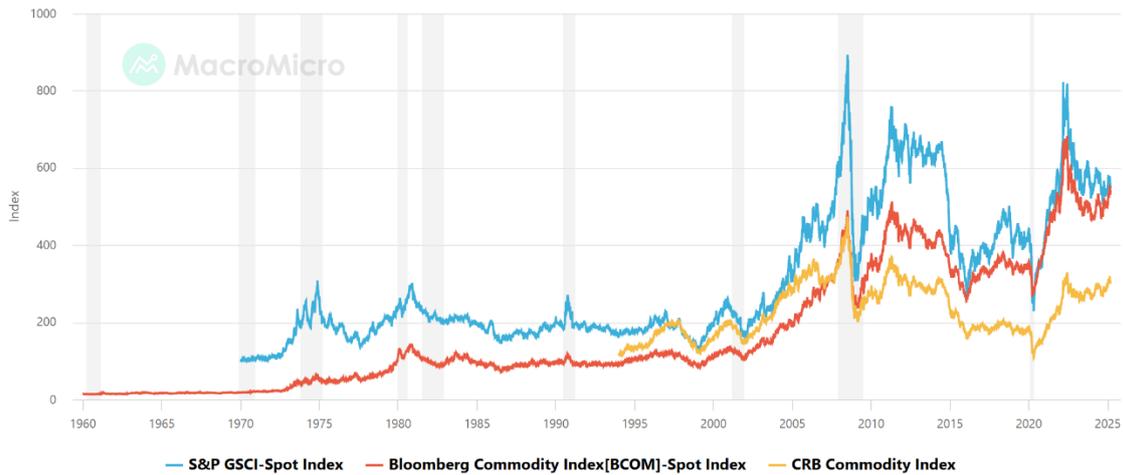
Otra circunstancia que incumbe al mercado del cobre es las posiciones que toman los inversores en cobre respecto a sus posiciones. Si los *traders* deciden posicionarse en largo, es decir, que esperan un aumento de precios en el cobre, los precios probablemente aumenten debido a la especulación. Por el contrario, los precios disminuirán si los inversores optan por posicionarse en corto respecto al precio del metal. Se puede encontrar información sobre estas posiciones en los informes semanales que publica la Commodity Futures Trading Commission de Estados Unidos (2025).

2.4.2. *Índices de las materias primas*

Los índices de materias primas más conocidos son el Bloomberg Commodity Index (BCOM), el S&P GSCI Spot Index y el Commodity Research Bureau Index (CRB) que agrupan varias materias primas y sirven de referencia para conocer cómo es el desempeño del mercado de las materias primas. Si los índices siguen una tendencia alcista indican que los precios de las materias primas y, por tanto, la actividad económica global está aumentando. Esto suele aumentar la confianza del resto de inversores que seguirán la tendencia e invertirán en materias primas aumentando la demanda y, con ello, el precio (Carmona, 2014).

En el apartado referente a los factores macroeconómicos hicimos hincapié en cómo las tasas de inflación y los tipos de interés afectaban a las decisiones que tomaban los inversores sobre el mercado del cobre. Los índices de materias primas, en consecuencia, también se ven afectados por estos elementos macroeconómicos y es preciso atender a las tendencias de estos elementos para entender el comportamiento del índice.

Por último, los índices también son un indicador de extrema utilidad para las empresas productoras de cobre. Si los directivos de estas empresas observan una tendencia alcista en los índices que indica un aumento considerable de los precios, tratarán por todos los medios posibles de aumentar su producción con la finalidad de aprovechar la subida de precios en el mercado del cobre.



Fuente: MacroMicro

Ilustración 3: Comparación del histórico de los índices de materias primas

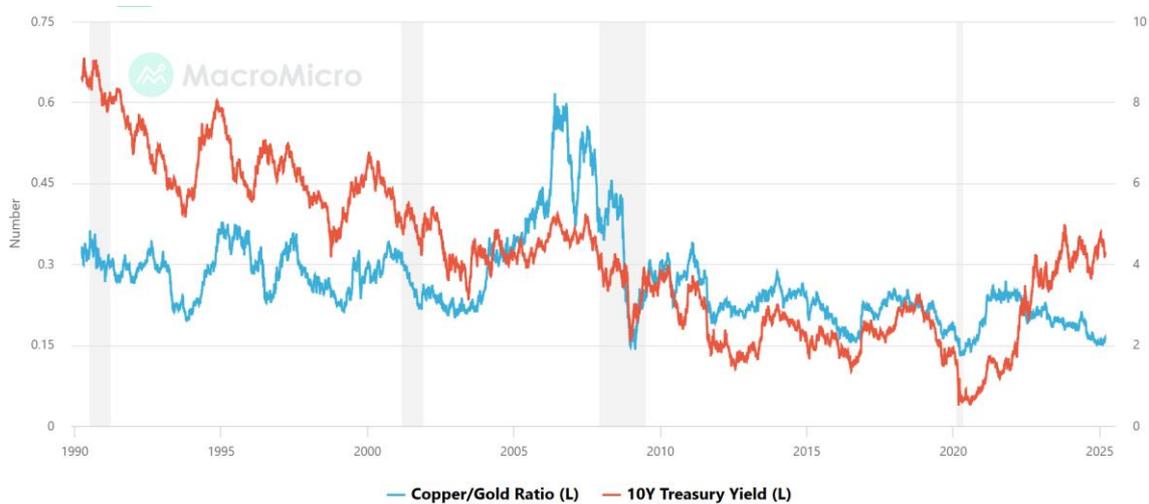
2.4.3. *La ratio cobre-oro*

La ratio entre el cobre y el oro se utiliza cómo un indicador de la actividad económica global y del sentimiento de los mercados globales ya que el oro se utiliza como activo refugio en tiempos de incertidumbre y el cobre, al ser uno de los metales industriales por excelencia, refleja una expansión económica creciente (Parnes, 2024). En el apartado referente a la macroeconomía, se explicaba cómo la actividad económica es uno de los indicadores más potentes para hacer predicciones sobre el precio del cobre.

Si la ratio cobre-oro baja significa que el precio del oro está experimentando una subida mayor que el precio del cobre. Esto implica que nos encontramos ante una situación en la que el mercado está optando por refugiarse en el valor del oro. Esto ocurre en momentos de crisis o recesión económica porque la demanda industrial y la del cobre se desvanecen y los inversores huyen hacia el oro para refugiarse de la recesión. Si, al

contrario, la ratio es alta, nos encontramos ante una situación de aceleración económica y de enorme demanda industrial (Mayberry, 2019).

En la gráfica adjuntada se puede observar el hundimiento de la ratio en los periodos de mayor crisis económica como la explosión de la burbuja tecnológica, la crisis del 2008 o la pandemia del coronavirus mientras que la ratio se dispara en los periodos de crecimiento económico como la primera mitad de la década de los 2000 (mínimos de este siglo) o en los años posteriores al coronavirus por el retorno a una actividad económica saludable. También observamos como se relacionan inversamente la ratio y los bonos del tesoro que ven cómo aumenta su demanda en los tiempos de incertidumbre.



Fuente: MacroMicro

Ilustración 4: Comparación ratio cobre-oro con Bonos del Tesoro estadounidense a 10 años

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción de datos

Los datos utilizados para el trabajo son los datos históricos desde abril de 2002 a diciembre de 2023 de ocho medidas de volatilidad distintas. Con estos datos de alrededor de 20 años, podemos realizar una predicción acerca de la volatilidad del cobre. Estas medidas son el índice de riesgo climático, el índice de riesgo geopolítico, el índice de riesgo económico, la medida histórica de la volatilidad de los tipos de interés en Estados Unidos, la medida histórica de la volatilidad del dólar, la medida histórica de la volatilidad del petróleo y la medida histórica de la volatilidad del cobre. A continuación, se analizará cada variable individualmente. Por último, es preciso mencionar que todos los datos con los que trabaja el modelo han sido previamente deflactados para que la inflación no trastorne los resultados.

3.1.1. Índice de riesgo climático

Este índice mide cómo afectan los fenómenos meteorológicos extremos a la población mundial a lo largo del tiempo. Es publicado anualmente por Germanwatch, una ONG alemana que lucha contra el cambio climático y mide la debilidad de los distintos países ante los desastres climáticos. Esta medida de volatilidad se forma a partir del número de muertes causadas por eventos climáticos, de las pérdidas a nivel económico generadas por estos eventos en relación con el PIB del país y de la frecuencia con la que ocurren dichos fenómenos (Eckstein, Künzel y Schäfer, 2021).

Los datos para formar el índice se extraen de la base NatCarSERVICE y se clasifican los países del 1 hacia abajo siendo el 1 el mayor nivel de afectación posible. El índice muestra que los países más afectados en líneas generales son los situados al sur a nivel global como Birmania, Cuba o Filipinas. Aunque el índice no puede medir el impacto del hombre en estos desastres climáticos sí que se puede apreciar un aumento de la vulnerabilidad a nivel mundial.

3.1.2. *Índice de riesgo geopolítico*

Es bien conocida la influencia que tienen los conflictos y las tensiones geopolíticas en la deriva de las finanzas y la economía a nivel mundial. El ejemplo más reciente fue la inflación producida a nivel mundial por el comienzo de la guerra de Ucrania en 2022. El índice de riesgo geopolítico mide esta incertidumbre a través de cinco datos que son los conflictos militares y guerras, los ataques terroristas, las tensiones diplomáticas, las amenazas de comenzar una guerra o utilizar armas nucleares y las sanciones internacionales.

Este índice, creado por Caldara y Iacoviello (2018) se forma mediante la suma de artículos de prensa de periódicos internacionales de gran importancia como *The Guardian*, el *Financial Times* o *The Wall Street Journal* y es de enorme utilidad para que los agentes económicos puedan realizar predicciones futuras sobre posibles incidentes que afecte gravemente su situación.

3.1.3. *Índice de riesgo económico*

El índice de riesgo económico (*Economic Policy Uncertainty Index*) es un indicador de volatilidad que se formula a partir de todas las noticias, decisiones y eventos que afectan la política económica mundial o de un país en concreto. Para formar el índice se analizan el número de artículos de prensa y de documentos oficiales que hablen acerca de incertidumbre en el contexto económico (Baker, Bloom y Davis, 2016).

Este índice, aparte del global que se utiliza en el presente trabajo, también existe a nivel de país y a nivel de sector. Es muy importante porque permite realizar predicciones a nivel financiero como, por ejemplo, una futura bajada del PIB de un país si su índice de incertidumbre se está disparando. Además, tiene una correlación muy importante con otras variables como la inflación o los tipos de interés.

3.1.4. VIX

El VIX es uno de los índices más populares de los mercados financieros y examina la volatilidad implícita de las opciones de las empresas del S&P 500. Por lo tanto, refleja los cambios esperados en el índice del S&P 500 de acuerdo con la actividad de los inversores en el mercado de opciones. Es un índice calculado por el Chicago Board Options Exchange (Hortúa y Mora-Valencia, 2024).

Un VIX alto es aquel que tiene un valor superior a 30 e indica que hay o que se espera un suceso desafortunado en el mercado generando así inseguridad en los mercados. Un nivel bajo de VIX es un valor de 15 o menos y establece que existe un período de calma en el mercado. Además de su utilidad como magnitud de riesgo del índice S&P 500, tiene un gran componente macroeconómico debido a la importancia del mercado bursátil estadounidense en la economía mundial (Hortúa y Mora-Valencia, 2024).

3.1.5. *Volatilidad de los tipos de interés*

Para medir la volatilidad de los tipos de interés hemos seleccionado una métrica de los tipos estadounidenses llamada MOVE (Merrill Option Volatility Estimate) que incluye la volatilidad implícita de los bonos del Tesoro estadounidenses. Según la explicación del Intercontinental Exchange (2018), para calcular este índice utiliza los precios de opciones sobre bonos con vencimiento a 2, 5, 10 y 30 años.

Es una medida muy útil para bancos centrales, inversores institucionales y analistas macroeconómicos en general ya que un valor alto de MOVE indica mucha incertidumbre en los mercados internacionales mientras que un valor bajo significa que hay relativa tranquilidad en este ámbito. Se correlaciona con los eventos clave de los tipos de interés como las subidas y bajadas decretadas por la Reserva Federal y sirve para predecir movimientos de los tipos.

3.1.6. *Volatilidad del dólar*

La volatilidad del dólar sirve para analizar cuánto varía el valor de dicha moneda respecto a las demás. En este caso no existía una medida adecuada que analizara particularmente esta volatilidad por lo que se han extraído los datos referentes al tipo de cambio del dólar respecto a la libra y se ha utilizado el modelo GARCH, que se explicará más adelante en este apartado, para generar un dato de volatilidad.

La volatilidad del dólar es fundamental para el análisis del riesgo cambiario que pueden sufrir empresas y naciones que exporten a Estados Unidos o importen del mismo país. Una alta volatilidad implica que estos agentes económicos deben asegurar su situación cubriéndose mediante *hedges* (De Gregorio, González y Jaque, 2005). También es un dato de extrema ayuda para la Reserva Federal ya que pueden decidir qué política económica aplicar para influir en el tipo de cambio del dólar.

3.1.7. *Volatilidad del petróleo*

Para examinar la volatilidad del petróleo hemos utilizado el índice OPU (Oil Price Uncertainty Index). Este índice captura la incertidumbre que existe en las variaciones del precio del petróleo crudo. Al igual que el índice de riesgo geopolítico se basa en la repercusión mediática de la incertidumbre calculándose a través del conteo de noticias a nivel internacional de los principales periódicos (Zhan, 2024).

El petróleo, además de su influencia en el precio del cobre explicada anteriormente, influye en otros factores macroeconómicos como la inflación o el PIB por su papel fundamental en la industria (Krauss, 2025). El índice se ve afectado por la oferta y la demanda a nivel general y, muy específicamente, por los eventos de tensión geopolítica en Oriente Medio. Un ejemplo sería la subida del índice provocada por el bombardeo de Israel sobre Irán en octubre de 2024.

3.1.8. *Volatilidad del precio del cobre*

La predicción de la volatilidad del precio del cobre es el objeto de este trabajo por lo que es necesario tener estos datos para poder realizar las comparaciones. Al igual que

con el dólar, en vez de seleccionar un indicador espontáneo de la volatilidad del precio del cobre se han extraído los datos del precio del cobre y se han introducido en el modelo GARCH para generar una medida de volatilidad.

Este indicador es la clave del trabajo ya que mediante la comparación con el resto de los indicadores que se han explicado, nos permitirá llegar a una conclusión sobre la volatilidad de este factor. Todos estos datos se incluirán en el vector autorregresivo, que se explicará más adelante en este apartado, para explicar la influencia de cada factor en el precio del cobre.

3.2. Modelo GARCH

Como ya se ha mencionado en el subapartado anterior, se ha utilizado un modelo GARCH (1,1) para extraer la volatilidad de dos de las variables utilizadas en el trabajo que son el precio del cobre y el precio del dólar. El modelo estima la incertidumbre de una serie de datos a lo largo del tiempo y genera un Excel con las unidades de volatilidad para las mismas fechas del fichero que se cargo con la serie temporal del precio del cobre y del dólar.

El proceso del modelo comienza con la carga de una serie de datos desde un archivo Excel en el que aparece una serie temporal (mensual en este caso) de los precios del cobre y del dólar. Una vez introducido, las fechas se analizan correctamente y el modelo selecciona la columna de precios para trabajar con ella. En primer lugar, analiza si existe alguna dependencia temporal a través del cálculo de autocorrelaciones y autocorrelaciones parciales identificando las tendencias temporales de los datos.

Tras este análisis, se estima un modelo autorregresivo de orden 1. Este modelo indica que el valor de una serie depende del valor anterior de la serie por lo que cada valor se consigue a partir del término anterior y un término de error aleatorio. Este tipo de modelos son fundamentales antes de realizar el modelo GARCH (1,1) ya que captura patrones simples que estiman la media que luego facilitan el cálculo de la varianza. Que mide cómo evoluciona la media de la serie. Tras haber calculado el modelo, el código busca los residuos, es decir, aquellos datos, que el modelo autorregresivo mencionado no es capaz de explicar. Se analizan dichos residuos para comprobar si existe algún tipo de

correlación, que, de existir, derivaría en un nuevo modelo para estimar la volatilidad de estos residuos.

Finalmente, se aplica el modelo GARCH (1,1) al modelo autorregresivo que extrae la varianza condicional de la serie. Esto nos permite observar cómo cambia la volatilidad del dato en cuestión (o bien precio del cobre, o bien precio del dólar) a lo largo de la secuencia temporal (abril de 2002 a diciembre de 2023). Para terminar, se aplica una función de verosimilitud y el algoritmo *fmincon* para restringir los parámetros que genera el modelo. Esta función de verosimilitud se realiza con la función *likelihood_GARCH* que compara la varianza estimada con la observada y penaliza las combinaciones de parámetros que generen una volatilidad inadecuada. Por su parte, la función *fmincon* optimiza el conjunto de parámetros para que tengan una mayor verosimilitud. Se realiza una acotación negativa y positiva que implica que los números generados estén entre el 0 y el 1 y de esta manera se consigue una estimación de alta fiabilidad sobre la volatilidad implícita.

Tras aplicar todo el modelo, MATLAB genera un Excel con la volatilidad de los datos que inicialmente se introdujeron para las mismas fechas que aparecían en el Excel original. Dicho Excel, se introducirá más adelante en el vector autorregresivo, que se explicará en el siguiente apartado, junto a las medidas de volatilidad de las otras variables mencionadas para poder alcanzar el objetivo del trabajo.

3.3. Vector autorregresivo

Tras aplicar el modelo GARCH (1,1) a todos los datos de las variables para las que no se encontró una medida de volatilidad concreta, se aplica el vector autorregresivo a todos los datos de volatilidad para que examine las interacciones dinámicas existentes entre las variables económicas y financieras expuestas que son el riesgo climático, el riesgo geopolítico, la incertidumbre de la política económica, la incertidumbre del índice S&P 500 (VIX), la incertidumbre de las Letras del Tesoro estadounidenses (MOVE), la volatilidad del precio del dólar, la volatilidad del precio del petróleo crudo y, por supuesto, la volatilidad del precio del cobre que es la variable con la que se examinarán las interacciones con el resto ya que el objetivo es extraer la volatilidad implícita del mismo.

El código comienza con la definición de la matriz de datos YYY , que representa una serie de observaciones mensuales, y se especifica el número de rezagos lags a incluir, por defecto 12, lo cual permite capturar efectos dinámicos de hasta un año. A continuación, se estima el modelo VAR usando la función `estimate`, lo que genera un conjunto de ecuaciones que describen cómo evolucionan las variables en función de sus valores pasados.

Una parte central del análisis es la estimación de funciones impulso-respuesta (IRF), que permiten evaluar cómo responde cada variable a un "shock" (una perturbación inesperada) en otra. Por ejemplo, se puede observar cómo un shock en el riesgo económico afecta la volatilidad del cobre en los meses siguientes. El script también representa estas respuestas junto con bandas de confianza, lo que permite evaluar la significancia estadística de los efectos.

Finalmente, se realiza una descomposición histórica que permite cuantificar cuánto de la evolución de cada variable puede explicarse por los diferentes shocks identificados a lo largo del tiempo. Esto se representa mediante gráficos de áreas apiladas que muestran, mes a mes, la contribución de cada tipo de shock al comportamiento observado de cada variable. Así, el modelo VAR permite no solo prever dinámicas futuras, sino también entender retrospectivamente los factores que impulsaron los cambios en las variables clave.

4. RESULTADOS

Los resultados del vector autorregresivo nos permiten realizar una primera conclusión del trabajo. En este apartado analizaremos la descomposición histórica de cada una de las variables y su impacto en la volatilidad del precio del cobre que es el objetivo último de este trabajo.

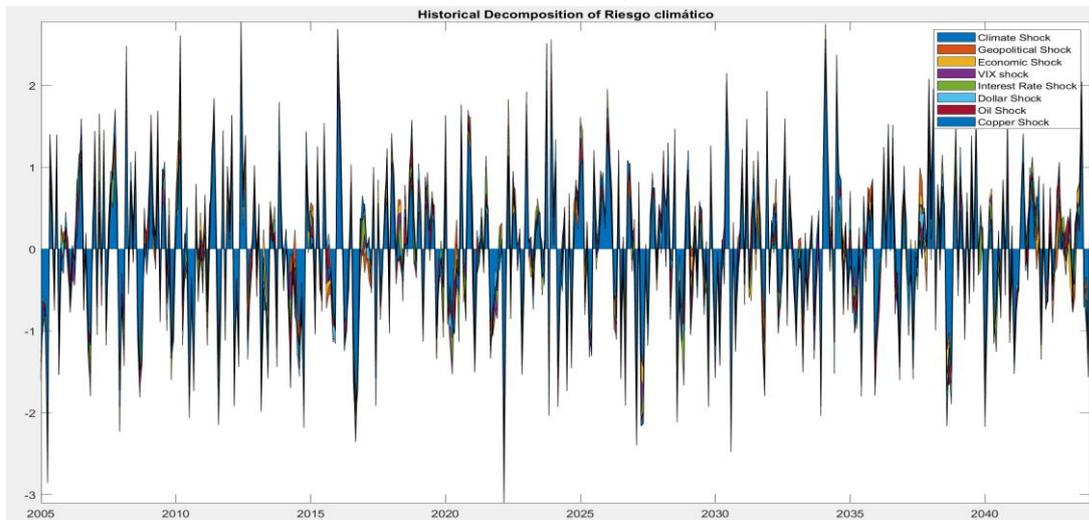
4.1. Análisis del riesgo climático

4.1.1. Descomposición histórica

Empezamos con la primera variable que se introduce en el vector autorregresivo que es la de riesgo climático. En primer lugar, analizaremos su descomposición histórica de acuerdo con la gráfica adjuntada más abajo y generada por Matlab. Cada color representa qué impacto provoca el aumento o disminución del riesgo climático. Como es lógico, la mayor parte de los cambios en el riesgo climático la producen los propios fenómenos meteorológicos. A lo largo del periodo que describe el gráfico ha habido verdaderos desastres climáticos como el maremoto y posterior tsunami de Japón en 2011, el terremoto de Haití de 2010 o el devastador terremoto de Turquía y Siria de 2023 (Parra y Gómez, 2021).

Aun así, la tendencia está más marcada por el propio aumento del riesgo climático en la primera parte del gráfico (2004-2014). Por lo que evidentemente, los accidentes meteorológicos tuvieron más influencia sobre el índice en ese periodo. Hacia la mitad del gráfico vemos cómo actúan más los componentes de riesgo geopolítico y el riesgo económico y más tarde con el riesgo del VIX y de los tipos de interés. Esto está principalmente ocasionado por el aumento de las dos primeras variables por la guerra de Ucrania que dio lugar a un aumento excesivo del riesgo geopolítico y económico que derivó en un mayor riesgo del VIX y de los tipos de interés debido a la crisis energética acontecida en Europa. La crisis energética trajo consigo una alta inflación que elevó el riesgo del VIX y los tipos de interés. Estos factores influyen en el riesgo climático por el

aumento de riesgo de un desastre nuclear que derive en una situación climática de extrema gravedad.



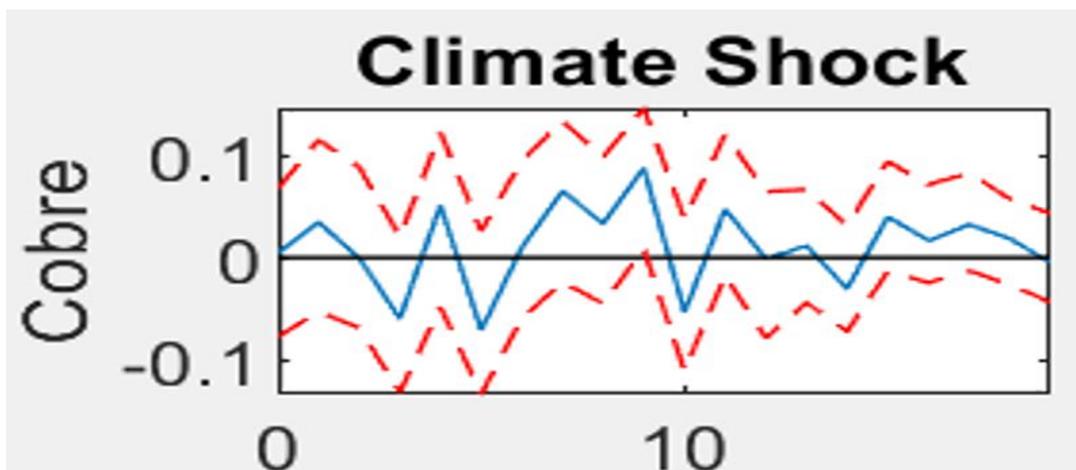
Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Ilustración 5: Descomposición histórica del Índice de Riesgo Climático

4.1.2. Impacto en la volatilidad del cobre

Examinamos la función impulso-respuesta para cuantificar el impacto del riesgo climático en la volatilidad del cobre. Se infiere que un repentino aumento del riesgo climático sí que tiene influencia en la volatilidad de los mercados del cobre. Esto se debe a que un desastre natural puede generar inseguridad sobre si se va a interrumpir la cadena de suministro y, por tanto, si va a verse reducida la oferta de cobre aumentando la volatilidad.

Más adelante, comprobamos como el efecto sobre la volatilidad del cobre decae y se aproxima a cero. El impacto, por lo tanto, no es muy persistente ni significativo a un nivel muy alto de confianza. A pesar de que se ha indicado que el aumento del riesgo climático provoca el paso a las energías renovables que incrementa considerablemente la demanda de cobre por el uso de esta materia para estas tecnologías, no podemos afirmar que sea un efecto muy contundente en la volatilidad del precio del cobre.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

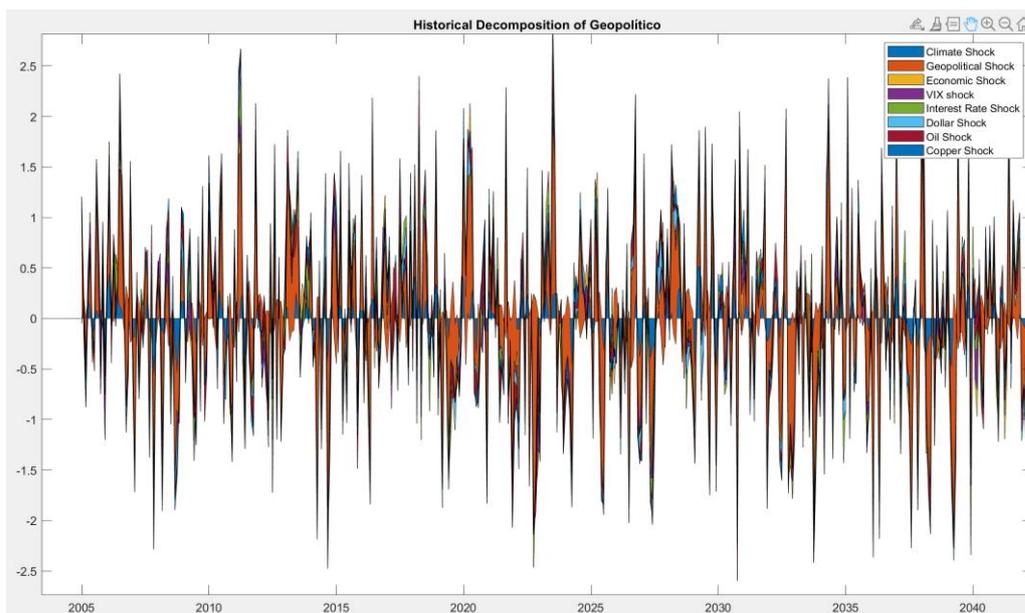
Ilustración 6: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en el riesgo climático

4.2. Análisis del riesgo geopolítico

4.2.1. Descomposición histórica

La progresión histórica del riesgo geopolítico está, como es obvio, principalmente influenciada por la propia variación de factores geopolíticos. Se puede observar por como se alcanzan picos de riesgo geopolítico en momentos como la Primavera Árabe de 2011 que provocó altas tensiones en el Norte de África y Oriente Medio, la guerra de Ucrania de 2022 y la escalada de tensión entre Estados Unidos e Irán por el ataque de petroleros en Ormuz o las protestas en Hong Kong de 2019 (Pasupuleti, 2024).

En lo referente a las demás variables podemos comprobar como los efectos de las materias primas sobre el riesgo climático es bastante pequeña ya que los cambios en estas variables son más consecuencia que causa de conflictos geopolítico. Sin embargo, el informe del Fondo Monetario Internacional (2023) muestra que variables económicas como cambios en el precio del dólar o en el VIX sí que pueden correlacionarse con repuntes del riesgo geopolítico. La incertidumbre económica siempre lleva a periodos de inestabilidad tanto interna como externa que produce, casi siempre, tensiones internacionales de carácter político. Se puede comprobar en el 2023 con la crisis inflacionaria y en el pequeño repunte del 2008 provocado por la crisis financiera mundial.



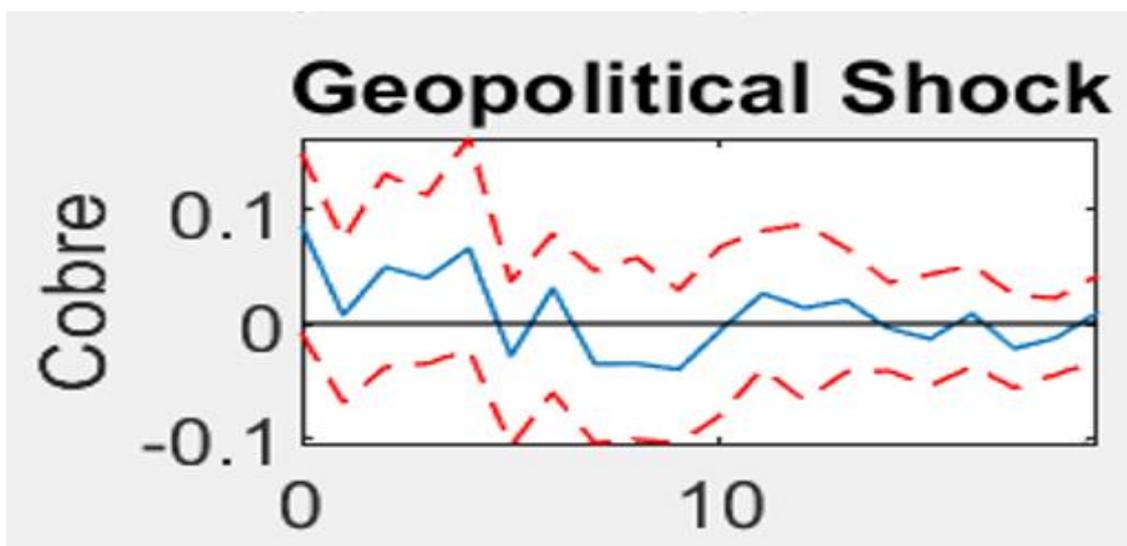
Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Ilustración 7: Descomposición histórica del Índice de Riesgo Geopolítico

4.2.2. Impacto en la volatilidad del cobre

Al igual que en el caso del riesgo climático, el aumento repentino del riesgo climático provoca un efecto positivo inicial en la volatilidad del cobre. De todos modos, este efecto se disipa entre dos y cuatro periodos por lo que podemos concluir que el riesgo geopolítico no supone un gran impacto sobre la volatilidad del cobre a un nivel bastante alto de confianza. Este *shock* inicial es lógico pues el aumento de tensiones políticas a nivel internacional puede generar mucha incertidumbre en el mercado del cobre por varias razones. Los mercados de materias primas se ven influenciados enormemente por estas tendencias ya que tanto las rutas comerciales como la producción de estas puede verse afectada. Un ejemplo, puesto por Faigelbaum y Khandelwal (2021) es el aumento de la volatilidad en estos mercados en el año 2019 ocasionada por las tensiones entre Estados Unidos e Irán y la guerra comercial entre el país norteamericano y China.

De todos modos, se puede ver perfectamente cómo en la gráfica adjunta la línea azul que representa la respuesta del cobre ante el impacto geopolítico se va estabilizando a lo largo del tiempo por lo que no podemos decir que sea una variable muy significativa en la volatilidad del cobre a nivel estadístico.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Ilustración 8: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en el riesgo geopolítico

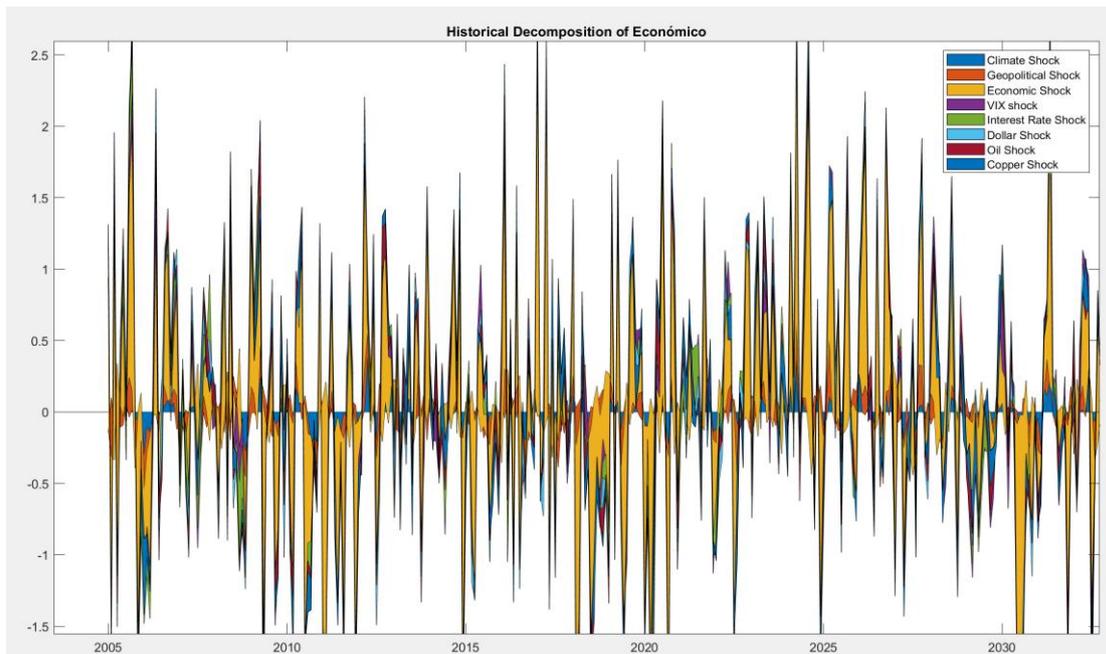
4.3. Análisis del riesgo económico

4.3.1. Descomposición histórica

Como en todas las variables el riesgo económico medido por el Índice de Incertidumbre de Política Económica se ve principalmente afectado por factores puramente económicos. El mayor ejemplo es el repunte de la gráfica que se observa hacia el año 2018, momento en el que inicia la guerra comercial entre China y Estados Unidos con los aranceles impuestos por la administración del primer mandato de Trump. El otro gran ejemplo es el pico existente entre los años 2012 y 2013. Estos años estuvieron caracterizados por una gran incertidumbre económica en la Eurozona. Las consecuencias de la crisis financiera del 2008 aún eran palpables y muchos países, especialmente del sur de Europa como Grecia o Italia, entraron en *default* o estuvieron muy cerca de hacerlo (Ocampo, 2013). Esto disparó el índice en cuestión junto a una crisis fiscal en Estados Unidos que exigía una inminente subida de impuestos o de recorte del gasto público.

El impacto del resto de variables es moderado, pero destacan la influencia del riesgo geopolítico y de los tipos de interés en la descomposición histórica presente. El de los

tipos de interés es muy lógico ya que el aumento de noticias acerca de política económica suele conllevar un cambio en los tipos de interés por lo que no es de extrañar la correlación entre estos dos factores. En cuanto al riesgo geopolítico, se infiere una tendencia ligera, pero persistente, sobre la inseguridad en las políticas económicas como se puede ver en los aumentos de 2022 coincidentes con la crisis en Oriente Medio entre Israel y Palestina (Alkhazali, Naeem, Shahzad y Vo, 2025).



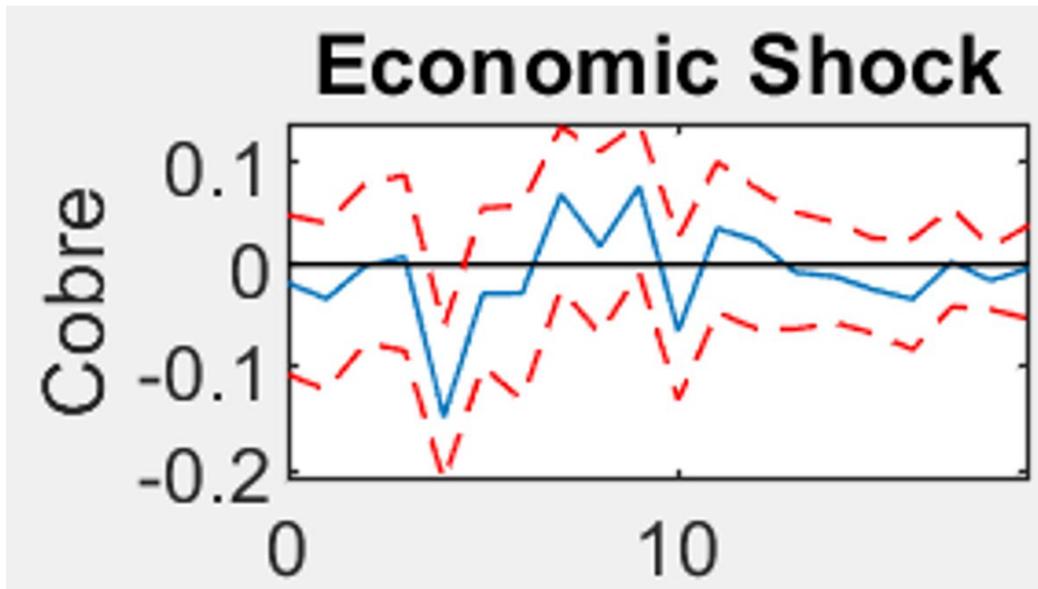
Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Ilustración 9: Descomposición histórica del Índice de Incertidumbre en la Política Económica

4.3.2. Impacto en la volatilidad del cobre

En la gráfica se puede advertir cómo hay una respuesta negativa del precio del cobre ante un aumento de la incertidumbre económica, especialmente en los primeros periodos, posteriormente la línea azul se estabiliza lo que significa que el efecto va disminuyendo paulatinamente. Sin embargo, la bajada tan brusca de los primeros periodos sugiere que la incertidumbre en la política económica es un fenómeno significativo en el impacto del precio del cobre ya que la línea azul se acerca mucho al extremo del intervalo de confianza.

Este *shock* es coherente con la explicación dada en el primer apartado del trabajo. La incertidumbre económica frena la inversión y un activo tan relacionado con el crecimiento económico como el cobre ve su demanda caer y, por consiguiente, su precio. Además, los inversores huyen hacia activos de mayor seguridad como Letras del Tesoro o activos refugio como el oro.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Ilustración 10: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en la incertidumbre de la política económica

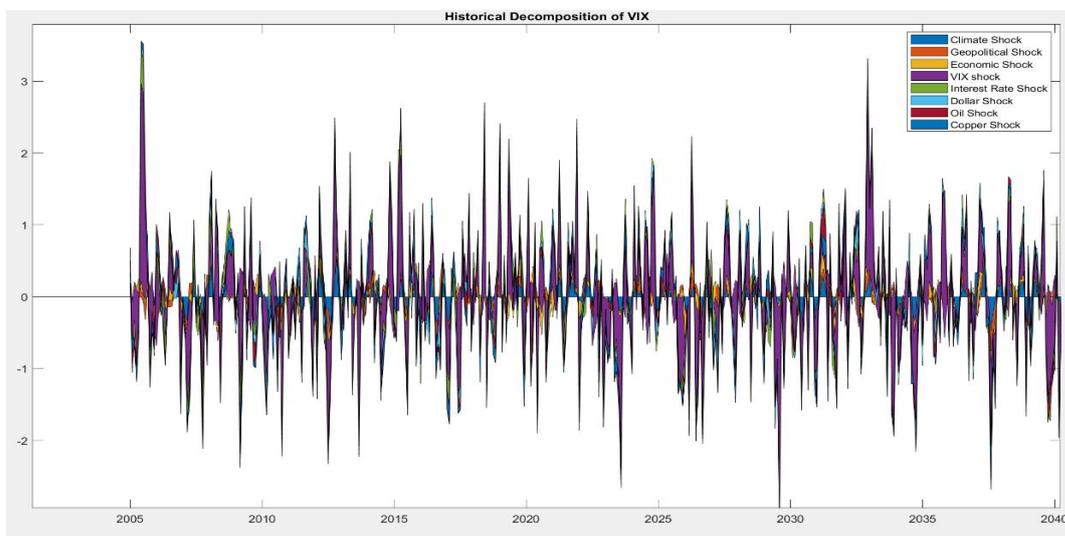
4.4. Análisis del impacto del VIX

4.4.1. Descomposición histórica

El índice VIX explica la volatilidad implícita de las opciones del S&P 500 y es utilizado en el mercado como una medida que ayuda a inferir las tendencias de los mercados bursátiles al representar el mercado estadounidense que es el de mayor peso a nivel global. A pesar de que la gente asocia la crisis financiera al 2008, en la gráfica el pico de mayor altura es de finales del año 2006. Esto se debe a que la crisis ya se infería en aquellos momentos. Los impagos de préstamos hipotecarios habían comenzado y algunos gurús financieros ya habían pronosticado la futura caída ya que este índice es conocido en el mundo financiero como el índice del miedo. Posteriormente, podemos ver

picos del VIX por motivos como las guerras comerciales iniciadas en 2018 ya mencionadas o el “Taper Tantrum” de 2013, explicado por el *Financial Times* (2019) que fue el anuncio de la Reserva Federal de su política de compra de activos que había iniciado para combatir la crisis de 2008.

Las variables exógenas que más afectan al VIX son el riesgo geopolítico y la incertidumbre en la política económica. El riesgo geopolítico siempre provoca un aumento en la percepción del riesgo y una política económica imprevisible siempre genera miedo en los inversores de renta variable por lo que es plausible esta correlación observada.



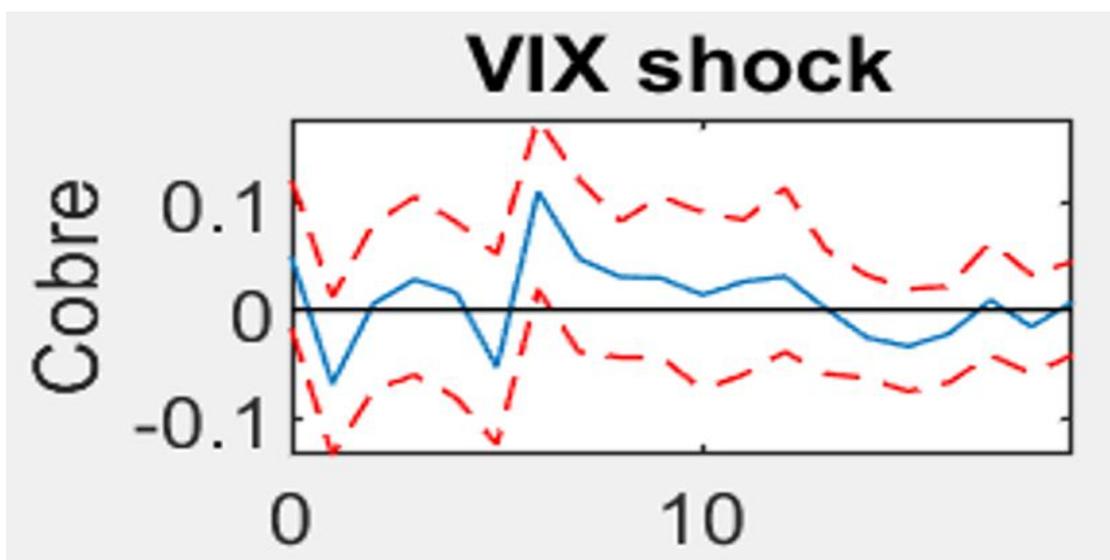
Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Ilustración 11: Descomposición histórica del Índice VIX

4.4.2. Impacto en la volatilidad del cobre

El impacto del VIX es bastante similar al de la incertidumbre en la política económica. Un aumento de la volatilidad del VIX origina una caída en el precio del cobre por una caída en la demanda de esta. Más adelante, se estabiliza el precio con una subida por lo que no es un efecto constante, pero sí de gran relevancia durante los primeros periodos. Por lo tanto, podemos concluir que el VIX es un elemento de gran significación estadística sobre el precio del cobre tanto por la bajada inicial como por la potente subida posterior una vez se recupera la confianza en los mercados.

Esta caída está originada por la aversión al riesgo que experimentan los inversores cuando la volatilidad de los mercados bursátiles aumenta. Las empresas frenan sus programas de inversión de capital y expansión debido a las posibles penurias futuras y los inversores profesionales huyen a activos de mayor seguridad o activos refugios. Esto provoca una caída de demanda considerable en el mercado del cobre que deriva en la subsiguiente bajada de precios.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Ilustración 12: Respuesta de la volatilidad del cobre ante un cambio en el Índice VIX

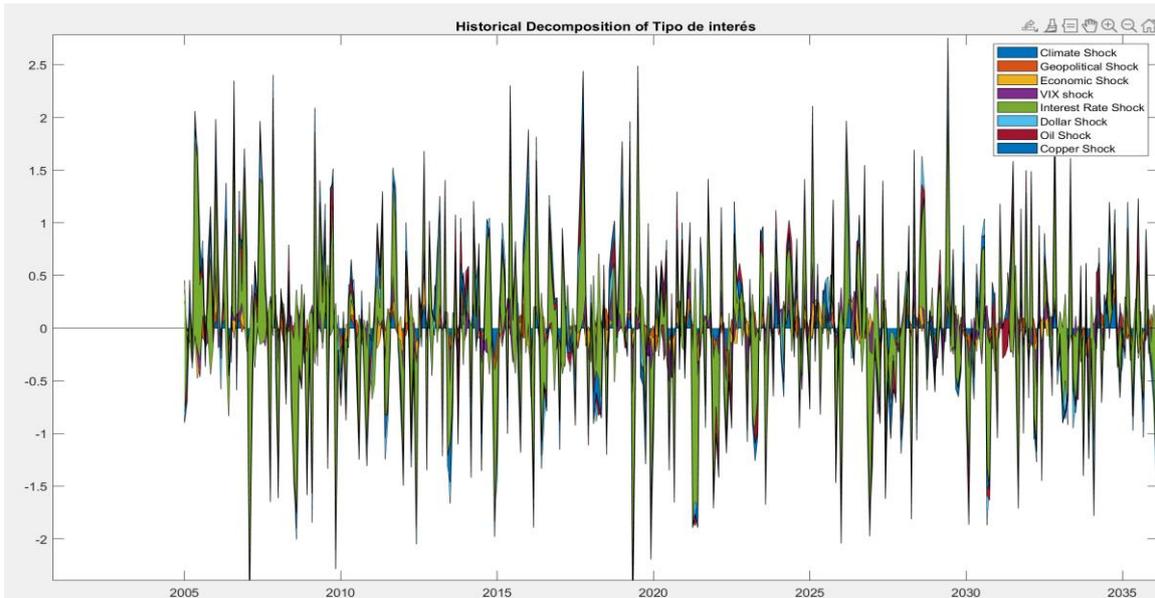
4.5. Análisis del impacto de los tipos de interés

4.5.1. Descomposición histórica

La volatilidad de los tipos de interés en el periodo que comprende el modelo está caracterizada por sus constantes altibajos. Aparte de la causada por los propios tipos de interés, podemos ver multitud de cambios por el impacto de la incertidumbre de la política económica. Esta correlación se debe a que una de las herramientas que suele utilizar la política económica es cambiar el tipo de interés. Por ello, cuando aumenta la inseguridad en la política económica también lo hace en los tipos de interés ya que las probabilidades de que se muevan son muy altas.

Tras examinar los picos de volatilidad a lo largo del periodo comprendido entre 2002 y 2023 podemos concluir que las decisiones que más afectan al comportamiento del

índice MOVE son las decisiones de la Reserva Federal, los aumentos de riesgo en mercados bursátiles representados por el VIX y las crisis económicas mundiales. La prueba fehaciente de esto son los picos de la gráfica histórica en momentos como la crisis mundial de 2008 o el año 2016, año en el que la Reserva Federal dejó los tipos estancados mientras ocurrían eventos como el Brexit (Ahir, Bloom y Furceri, 2024) o la primera victoria electoral de Donald Trump que elevaron considerablemente la sensación de incertidumbre económica en el mundo (Potter y Senyuz, 2016).



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

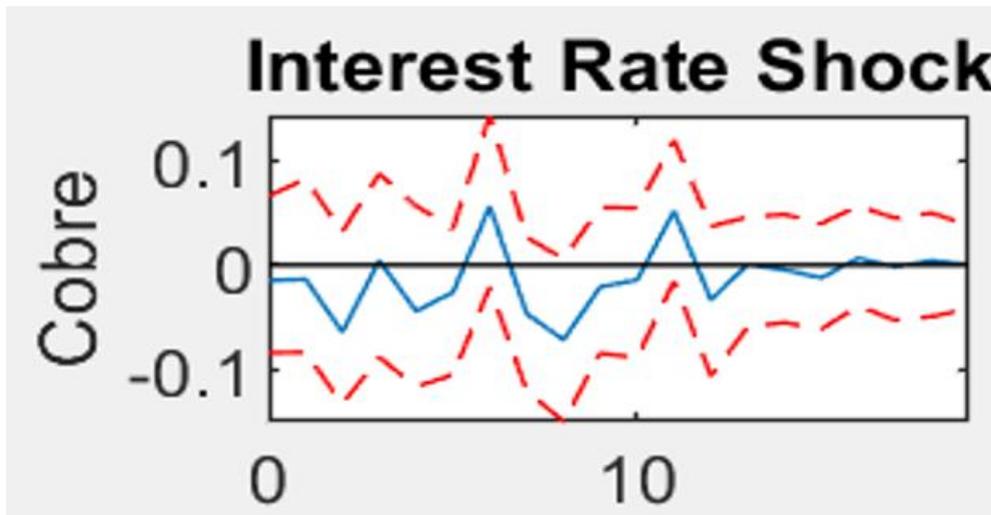
Ilustración 13: Descomposición histórica del Índice MOVE

4.5.2. Impacto en la volatilidad del cobre

La línea azul experimenta una subida empinada en los primeros periodos tras un cambio en los tipos de interés lo que quiere decir que la subida en tipos de interés tiene un impacto, aunque no muy considerable, a nivel estadístico en la volatilidad del cobre. Tras este *shock* inicial la línea experimenta una bajada que significa la regulación del mercado del cobre después de la subida de volatilidad experimentada al principio.

Este impacto inicial se debe a que un aumento de volatilidad en los tipos de interés tiene gran importancia en las expectativas de inversión. Si los tipos de interés bajan, la demanda de cobre aumentará considerablemente ya que la inversión en capital también

lo hará y el cobre es un material muy utilizado en el desarrollo industrial. Los inversores también buscarán activos en materias primas para aprovecharse de este *boom*. Ante esta subida en la demanda los precios aumentarán. Por el contrario, si hay expectativa de una subida en los tipos de interés se crea una expectativa de desaceleración en la inversión. Esta expectativa provoca una bajada de demanda que representa una reducción en la demanda y en el precio del cobre. Con el tiempo, el mercado se adapta a la nueva situación en los tipos de interés y la volatilidad del cobre disminuye.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

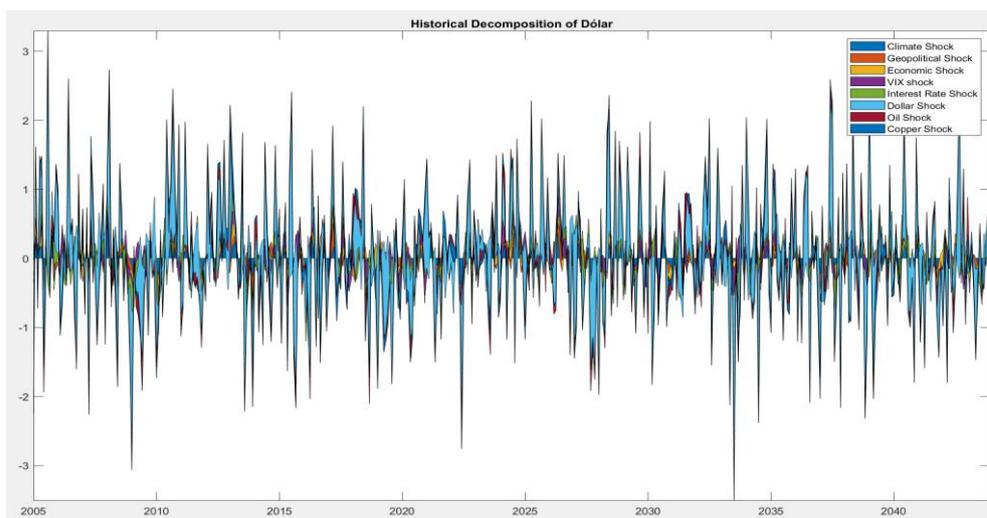
Ilustración 14: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en el índice MOVE.

4.6. Análisis del impacto del precio del dólar

4.6.1. Descomposición histórica

La volatilidad del dólar no presenta ningún tipo de estabilidad y es susceptible a numerosos factores exógenos, especialmente los de índole económica como el VIX o el tipo de interés. Un aumento de volatilidad en el S&P 500 representado por el VIX puede tener un gran papel en la inquietud del precio del dólar ya que la caída de las grandes empresas estadounidenses afectaría enormemente a la fiabilidad del dólar como moneda. En cuanto a los tipos de interés, estos son fundamentales para la entrada y salida de flujos de capital que determinan el precio del dólar respecto al resto de monedas.

En lo referente a los picos de la volatilidad del dólar en el periodo que estudia el modelo se puede advertir el desasosiego en 2008 y 2022 por la crisis económica global y la crisis inflacionaria de la guerra de Ucrania. Luego existen picos en los años 2006 y 2011. El primer pico se debe al aumento de tipos de interés que realizó la Reserva Federal en aquel momento y que dejó el valor del dólar en suspenso (Andrews, 2006). En cuanto al del año 2011, este tuvo su causa en la crisis de deuda soberana que existió en Europa y que hizo surgir dudas también en Estados Unidos llegando incluso a provocar una bajada en la calificación crediticia (National Public Radio, 2011).



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

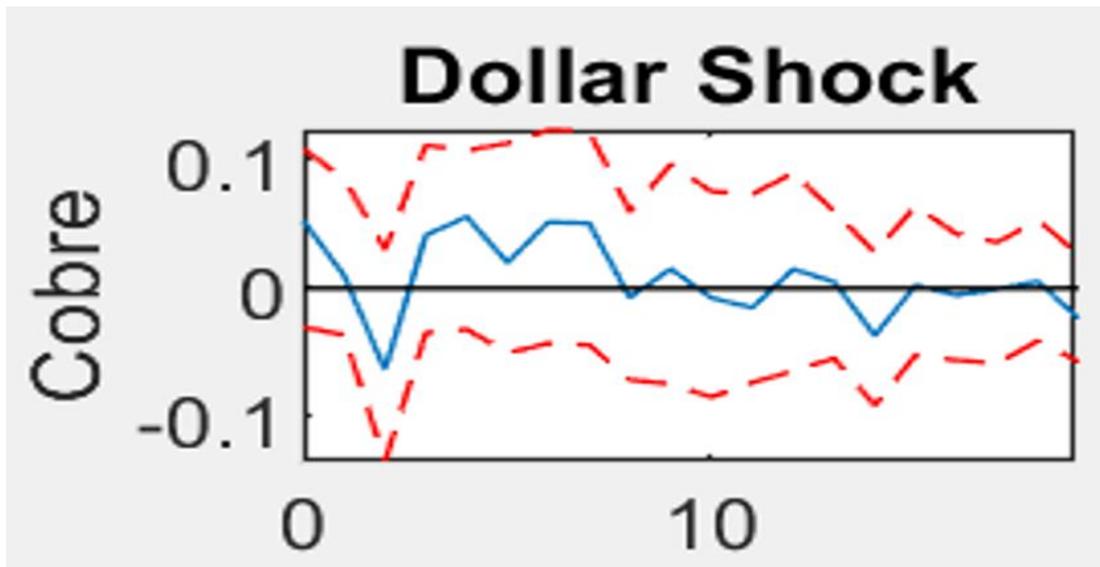
Ilustración 15: Descomposición histórica de la volatilidad del precio del dólar

4.6.2. Impacto en la volatilidad del cobre

Revisando la actuación de la línea azul (volatilidad del cobre) frente a un cambio en la volatilidad del dólar se puede afirmar que no tiene esta variable un impacto estadísticamente significativo en el precio del cobre. A pesar de que sí que hay una respuesta inicial positiva, esta respuesta se disipa muy rápidamente lo que indica que no existe una influencia muy persistente ni importante del precio del dólar en el mercado del cobre.

Es normal que los mercados de materias primas sufran un aumento de volatilidad cuando se produzca un cambio en el valor de los dólares ya sea por la influencia de políticas económicas cambiarias o por un sentimiento de recelo acerca del mercado

estadounidense. Sin embargo, basándonos en los datos de Statista (2024) el mercado del cobre está afectado por muchos otros países como Chile (mayor productora) o China (mayor consumidora) por lo que estos efectos son rápidamente absorbidos por el propio mercado. Por lo tanto, la volatilidad del precio del cobre está más marcada por cambios en la oferta o en la demanda que en el valor del dólar o cualquier otra moneda.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

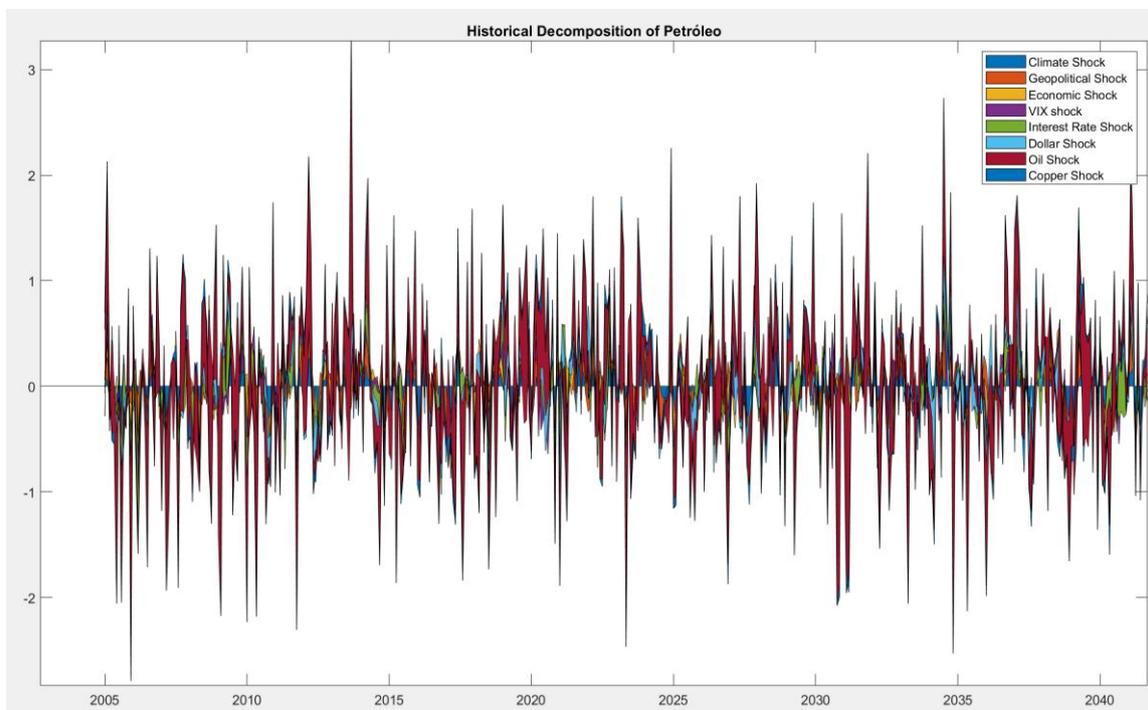
Ilustración 16: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en el precio del dólar

4.7. Análisis del impacto de la volatilidad del petróleo

4.7.1. Descomposición histórica

En esta gráfica histórica se repara en que las variables exógenas que tienen mayor influencia en la agitación del precio del petróleo son el factor del VIX y del riesgo geopolítico. Esto indica que si la inseguridad acecha a las grandes empresas estadounidenses los inversores se alejan de un activo arriesgado como el petróleo y las expectativas de demanda bajan considerablemente disparando la vacilación en el mercado del petróleo. Por otra parte, eventos geopolíticos que afecten a países con un papel contundente en la oferta y demanda de petróleo afectan enormemente la volatilidad de esta materia prima.

El principal ejemplo es el pico de la gráfica en el año 2014. Según el informe del Fondo Monetario Internacional (2015), en este año la oferta incrementó de manera cuantiosa debido al *fracking* en Estados Unidos y la demanda en Europa y en China se debilitó. Aparte, la Organización de Países Exportadores de Petróleo decidió no recortar la producción lo que aumentó más aún la volatilidad. Para terminar de crear una inseguridad histórica en el mercado del petróleo se produjo la invasión rusa de Crimea (Ucrania). En este momento, había hipótesis de que los países occidentales podían imponer sanciones a Rusia, que es una de las principales productoras de petróleo, lo que provocaría un *shock* total en el mercado del petróleo. Acción que los países occidentales sí tomaron en el año 2022 con el intento de invasión total de Ucrania por el gobierno de Putin y que representa otro pico importante de volatilidad en la gráfica.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

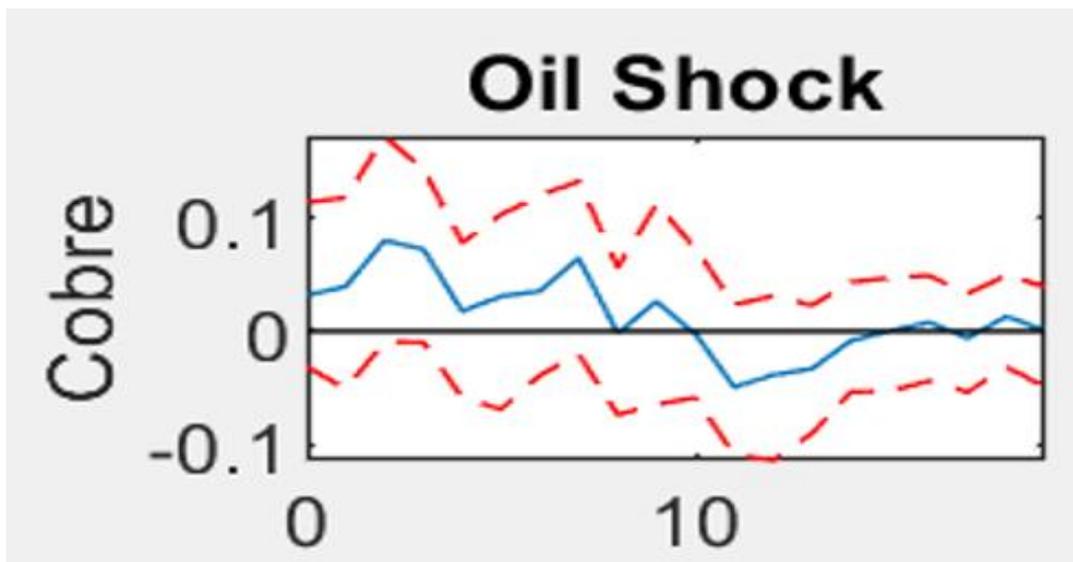
Ilustración 17: Descomposición histórica del Índice de incertidumbre del precio del petróleo crudo

4.7.2. Impacto en la volatilidad del petróleo

En los primeros periodos se ve como la incertidumbre en el precio del petróleo tiene una influencia notable en la incertidumbre del cobre estabilizándose más tarde. De todos modos, el cambio que se produce nos hace ver cómo el petróleo tiene un efecto a tener en cuenta desde el punto de vista estadístico en el mercado del cobre. Estas dos

materias primas son cíclicas por lo que los dos mercados tienen un comportamiento similar ya que están ligadas al crecimiento industrial y a la actividad económica. Además, los inversores agrupan los activos por riesgos y un aumento de riesgo en el mercado energético conlleva un ajuste en el mercado de los metales industriales como el cobre o el aluminio.

En el subapartado anterior (impacto del precio del dólar) explicábamos como los factores que afectan a la oferta y demanda del cobre son los que más importancia tienen para su volatilidad. Los productores de cobre precisan de energía para poder realizar adecuadamente la explotación por lo que es evidente que una subida en la incertidumbre del mercado del petróleo provoca una subida en la incertidumbre de la oferta del cobre y, por consiguiente, del cobre en general. Esto ligado a la conexión entre los dos mercados de materias primas que se explicaba en el párrafo anterior ocasiona una gran influencia del petróleo en el mercado del cobre.



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Ilustración 18: Respuesta de la volatilidad del cobre a un cambio en el precio del petróleo crudo.

4.8. Análisis del impacto de la volatilidad del cobre

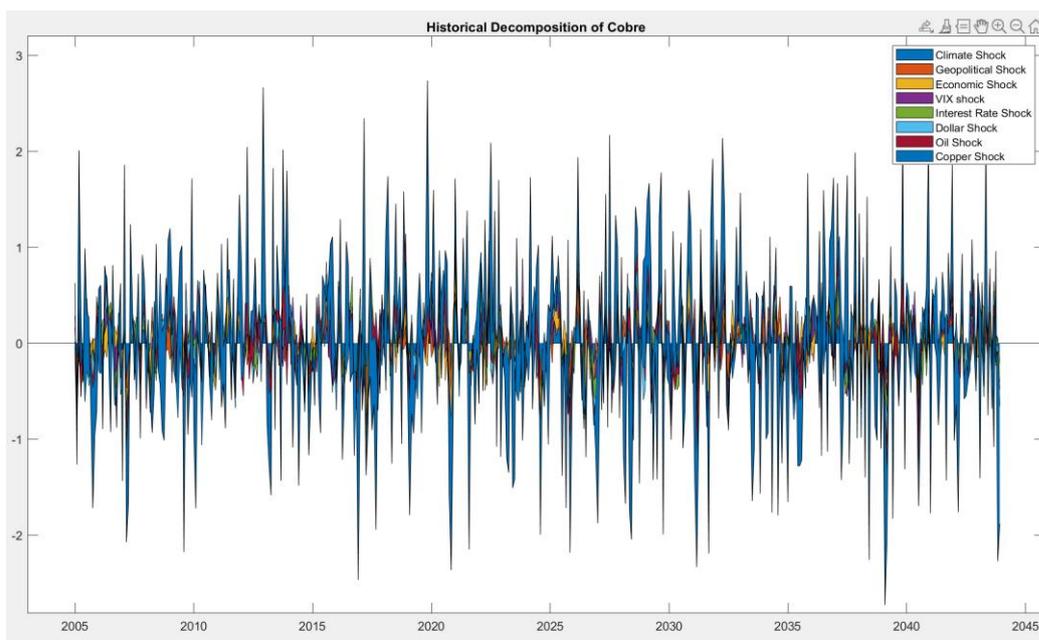
4.8.1. Descomposición histórica

En el análisis de la volatilidad en el mercado del cobre, podemos resumir lo que hemos ido explicando a lo largo de todo este apartado. Tras haber analizado cómo afectan

las demás variables a la que estudiamos ahora podemos concluir con el análisis previo y la gráfica específica de este mercado que las variables que más afectan al precio del cobre son la incertidumbre en los mercados de petróleo y las tendencias de la política económica y los mercados bursátiles en Estados Unidos.

Respecto al primer factor citado se debe a la conexión que existe entre los mercados de materias primas ligados a la actividad económica y a la influencia del petróleo en la producción de cobre. En cuanto a la política económica, la inseguridad acerca del futuro de la misma provoca un frenazo en la inversión que disminuye la demanda de cobre a nivel global. Lo mismo ocurre con el VIX ya que el conocido índice del miedo sugiere una crisis financiera que reduciría la demanda del cobre de manera notable.

Como ya hemos explicado varias veces, los mayores *shocks* que recibe el mercado del cobre son aquellos que afectan la demanda y la oferta. Por ello, los mayores picos que experimenta la volatilidad son en 2013 por la desaceleración de la demanda China (The Economist, 2013) que es la mayor compradora de cobre, en 2017 por las revueltas y huelgas en las grandes minas chilenas como Mina Escondida (Cooperativa.cl, 2017) ya que Chile es la mayor productora, y, por último, el pico experimentado en el año 2020 por el colapso de la actividad económica en todo el mundo por la pandemia del coronavirus (Investing News Network, 2020).



Fuente: Elaboración propia (Matlab)

Ilustración 19: Descomposición histórica de la volatilidad del precio del cobre

4.8.2. *Impacto en la volatilidad del cobre*

A lo largo de la descomposición histórica, se advierte como la mayoría de los cambios en el mercado del cobre los producen variables endógenas. Estas variables son aquellas que afectan la oferta, la demanda y la estructura del mercado del cobre. La importancia de estas variables hace que el cobre responda a su dinámica interna y se comporte de un modo idiosincrático.

Algunos ejemplos específicos de estas variables propias del mercado del cobre son la interrupción en la producción por huelgas o fallos técnicos, los cambios de inventarios en la Bolsa de Metales de Londres, la expectativa de demanda en China que es el principal comprador de cobre con cierta diferencia, o la especulación que existe por parte de los inversores respecto a este metal. Por último, hay que tener en cuenta los beneficios que propicia a la industria del cobre la transición energética y la revolución tecnológica debido al uso de este metal en los bienes de capital de estas industrias.

5. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se ha realizado un análisis exhaustivo de los factores que afectan la volatilidad del precio del cobre, tanto desde un enfoque teórico como empírico. Partiendo de una revisión de la literatura económica y financiera, y mediante la implementación de modelos estadísticos avanzados como GARCH y VAR, se han identificado los principales elementos que explican las oscilaciones en el precio de esta materia prima estratégica. La volatilidad del cobre, lejos de ser aleatoria, responde a patrones identificables relacionados con factores macroeconómicos, financieros, estructurales y geopolíticos.

El cobre, al ser un activo fundamental en la industria global y especialmente en sectores ligados al crecimiento económico como la construcción, la electrónica, las infraestructuras o la transición energética, está estrechamente relacionado con el ciclo económico. Por ello, variables como el crecimiento del PIB mundial, la evolución de los tipos de interés y la inflación juegan un papel clave en la determinación de su precio. Cuando la economía global entra en fases expansivas, aumenta la demanda de cobre y, en consecuencia, su precio tiende al alza. Por el contrario, en periodos de recesión o incertidumbre macroeconómica, la demanda cae y el precio del cobre suele caer.

Uno de los hallazgos más relevantes del trabajo es que los factores relacionados con la incertidumbre macroeconómica y financiera, medidos a través de índices como el VIX (volatilidad implícita del S&P 500), el MOVE (volatilidad de los tipos de interés) y el índice de incertidumbre en la política económica, tienen un impacto significativo en la volatilidad del cobre, especialmente en los primeros periodos tras un shock. Esta relación evidencia que el cobre es percibido por los inversores como un activo estrechamente vinculado a las expectativas económicas globales: cuando estas se deterioran, el cobre sufre una caída de demanda por parte de las industrias y una retirada de capital por parte de los inversores. Esto genera una respuesta inmediata en su volatilidad, aunque en muchos casos los efectos tienden a diluirse a medio plazo.

En cuanto a los factores estructurales de oferta y demanda, como la producción de las grandes empresas mineras, los niveles de inventarios en la Bolsa de Metales de Londres, y las interrupciones en la cadena de suministro, estos continúan siendo los principales determinantes endógenos del comportamiento del mercado del cobre. Estos factores no

solo afectan directamente la oferta disponible, sino que también generan expectativas entre los inversores, lo que alimenta la especulación y contribuye a la volatilidad. Casos como las huelgas en minas chilenas, los problemas logísticos en zonas de extracción, o las decisiones de expansión o recorte por parte de grandes productoras como Codelco o BHP, tienen efectos inmediatos en la cotización del metal.

Además, el análisis ha evidenciado que el precio del cobre también reacciona, aunque de manera más moderada, a factores **geopolíticos y climáticos**. Acontecimientos como guerras, tensiones internacionales, desastres naturales o fenómenos meteorológicos extremos generan perturbaciones que pueden afectar a las rutas de suministro, al funcionamiento de las minas o a las expectativas del mercado. Sin embargo, en términos estadísticos, su efecto en la volatilidad del cobre no es tan persistente ni significativo como el de los factores financieros o estructurales. Esto no implica que deban ser ignorados, ya que su impacto puede ser puntual pero severo, como se vio durante la pandemia del COVID-19 o la guerra en Ucrania.

Un factor especialmente interesante y que cobra creciente relevancia es el de la **transición energética**. El auge de las energías renovables y de la movilidad eléctrica está generando una demanda estructuralmente creciente de cobre, debido a su excelente conductividad y durabilidad. Esta nueva tendencia podría estar introduciendo una componente de presión alcista en los precios del cobre, pero también una fuente adicional de volatilidad en la medida en que los avances tecnológicos, las políticas públicas y la evolución del precio de la energía inciden sobre la demanda. Este fenómeno merece un seguimiento específico en el futuro, dado que el cobre podría convertirse en uno de los grandes protagonistas del cambio hacia una economía baja en carbono.

Desde un punto de vista metodológico, la combinación de modelos GARCH y VAR ha permitido no solo medir con precisión la volatilidad histórica del precio del cobre, sino también identificar las respuestas dinámicas del mercado ante diferentes tipos de shocks. El modelo VAR, en particular, ha sido útil para analizar las **funciones impulso-respuesta** y la **descomposición histórica** de la volatilidad del cobre, lo cual ha proporcionado una visión detallada y diferenciada del papel de cada variable. Estos modelos permiten entender, por ejemplo, que aunque ciertos factores pueden tener un efecto inicial fuerte (como el riesgo económico o el VIX), otros como el petróleo o los tipos de interés pueden tener un efecto más persistente en el tiempo, condicionando las expectativas y el comportamiento de los agentes del mercado.

En cuanto a las implicaciones prácticas, este trabajo ofrece herramientas valiosas para distintos agentes económicos. Los inversores institucionales y gestores de fondos pueden utilizar estos hallazgos para anticipar movimientos en el precio del cobre y gestionar mejor sus riesgos de cartera. Las empresas mineras y manufactureras, por su parte, pueden utilizar esta información para planificar sus operaciones de cobertura (*hedging*) y ajustar su producción en función de las previsiones de volatilidad. Por último, los responsables de política económica, especialmente en países exportadores como Chile o Perú, pueden extraer lecciones importantes para estabilizar sus ingresos fiscales y diseñar políticas económicas basadas en la macroeconomía.

De cara a investigaciones futuras, sería recomendable ampliar el análisis con variables adicionales que capturen de forma más directa las decisiones de política monetaria, la evolución de los mercados emergentes, o los cambios en la regulación ambiental. También sería interesante replicar el modelo con series de alta frecuencia (diarias o semanales) para capturar mejor los movimientos especulativos de corto plazo que no se reflejan completamente en datos mensuales. Por último, la incorporación de técnicas de aprendizaje automático (*machine learning*) o redes neuronales podría enriquecer el análisis predictivo y permitir la detección de patrones no lineales complejos en la dinámica del precio del cobre.

En definitiva, este trabajo confirma que el precio del cobre no responde únicamente a la lógica de la oferta y la demanda, sino que está influido por un entramado complejo de factores macroeconómicos, geopolíticos, financieros y estructurales. Su análisis exige, por tanto, una perspectiva multidimensional y herramientas econométricas robustas que permitan comprender y anticipar los cambios en su comportamiento. La volatilidad del cobre, más que un fenómeno aislado, es un reflejo de las tensiones y transformaciones de la economía global. Entenderla es, por tanto, una vía privilegiada para entender también los ciclos de inversión, las expectativas de crecimiento y los riesgos sistémicos del mercado internacional.

Declaración de Uso de Herramientas de Inteligencia Artificial Generativa en Trabajos Fin de Grado.

ADVERTENCIA: Desde la Universidad consideramos que ChatGPT u otras herramientas similares son herramientas muy útiles en la vida académica, aunque su uso queda siempre bajo la responsabilidad del alumno, puesto que las respuestas que proporciona pueden no ser veraces. En este sentido, NO está permitido su uso en la elaboración del Trabajo fin de Grado para generar código porque estas herramientas no son fiables en esa tarea. Aunque el código funcione, no hay garantías de que metodológicamente sea correcto, y es altamente probable que no lo sea. Por la presente, yo, Ignacio Vargas Velasco, estudiante de E3 Analytics de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado "Modelizando la volatilidad del cobre", declaro que he utilizado la herramienta de Inteligencia Artificial Generativa ChatGPT u otras similares de IAG de código sólo en el contexto de las actividades descritas a continuación:

1. **Brainstorming de ideas de investigación:** Utilizado para idear y esbozar posibles áreas de investigación.
2. **Crítico:** Para encontrar contra-argumentos a una tesis específica que pretendo defender.
3. **Referencias:** Usado conjuntamente con otras herramientas, como Science, para identificar referencias preliminares que luego he contrastado y validado.
4. **Interpretador de código:** Para realizar análisis de datos preliminares.
5. **Corrector de estilo literario y de lenguaje:** Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
6. **Revisor:** Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.
7. **Traductor:** Para traducir textos de un lenguaje a otro.

Afirmo que toda la información y contenido presentados en este trabajo son producto de mi investigación y esfuerzo individual, excepto donde se ha indicado lo contrario y se han dado los créditos correspondientes (he incluido las referencias adecuadas en el TFG y he explicitado para que se ha usado ChatGPT u otras herramientas similares). Soy consciente de las implicaciones académicas y éticas de presentar un trabajo no original y acepto las consecuencias de cualquier violación a esta declaración.

Fecha: 10 de abril de 2025

Firma: IGNACIO VARGAS VELASCO

BIBLIOGRAFÍA

Adil, L., Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2025). *Índice de Riesgo Climático 2025: ¿Quién sufre más por eventos climáticos extremos?* Germanwatch. Recuperado de <https://www.germanwatch.org/sites/default/files/202502/Climate%20Risk%20Index%202025%20Summary%20ES.pdf>

Ahir, H., Bloom, N., & Furceri, D. (2024). *Deciphering Delphic Guidance: The Bank of England and Brexit*. IMF Working Papers. Recuperado de <https://www.elibrary.imf.org/view/journals/001/2024/160/article-A001-en.xml>

Alkhazali, N. E. M., Naeem, M. A., Shahzad, S. J. H., & Vo, X. V. (2025). *Analyzing financial market reactions to the Palestine-Israel conflict*. International Review of Financial Analysis, 89, 102874. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1059056025000279>

Andrews, E. L. (2006, 11 de mayo). Fed Raises Key Rate to 5%, but Hints at a Pause. *The New York Times*. <https://www.nytimes.com/2006/05/11/business/11fed.html>

Baker, S. R., Bloom, N., & Davis, S. J. (s.f.). *Economic Policy Uncertainty Index*. Recuperado el 3 de abril de 2025, de <https://www.policyuncertainty.com/FRED+1FRED+1>

Baker, S. R., Bloom, N., & Davis, S. J. (2016). *Measuring Economic Policy Uncertainty*. The Quarterly Journal of Economics, 131(4), 1593–1636. Recueperado de <https://doi.org/10.1093/qje/qjw024>

Banco Mundial. (s.f.). *Mercados de productos básicos*. Recuperado el 3 de abril de 2025, de <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>

Board of Governors of the Federal Reserve System (US). (s.f.). *U.S. Dollars to Euro Spot Exchange Rate (DEXUSEU)*. Recuperado el 3 de abril de 2025, de <https://fred.stlouisfed.org/series/DEXUSE>

Caldara, D., & Iacoviello, M. (2022). *Geopolitical Risk Index (GPR)*. Recuperado de <https://www.matteoiacoviello.com/gpr.htm>

Carmona, R. (2014). *Financialization of the Commodities Markets*. Princeton University. Recuperado de <https://carmona.princeton.edu/document/91>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2024). *Minerales críticos para la transición energética y la electromovilidad: oportunidades de desarrollo*. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/enfoques/minerales-criticos-la-transicion-energetica-la-electromovilidad-oportunidades-desarrollo>

Commodity Futures Trading Commission. (2025, marzo 25). *Commitments of Traders Report: Copper - #1 - Commodity Exchange Inc*. Recuperado de <https://www.cftc.gov/dea/futures/deacmxf.htm>

Cooperativa.cl. (2017, 23 de marzo). *Luego de 43 días terminó la huelga en Minera Escondida*. Recuperado de <https://cooperativa.cl/noticias/pais/trabajo/negociaciones-colectivas/luego-de-43-dias-termino-la-huelga-en-minera-escondida/2017-03-23/125744.html>

- De Gregorio, J., González, H., & Jaque, F. (2005). *Fluctuaciones del dólar, precio del cobre y términos de intercambio* (Documento de Trabajo N° 310). Banco Central de Chile. Recuperado de https://www.bcentral.cl/documents/33528/133326/DTBC_310.pdf/2475a91f-436f-7451-7e0d-b76a7bf95aa9?t=1693497897360
- Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2021). *Global Climate Risk Index 2021: Who Suffers Most from Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2019 and 2000–2019*. Germanwatch. <https://germanwatch.org/en/cri>
- Engle, R., & V-Lab. (s.f.). *Análisis de Volatilidad GARCH del Índice de Volatilidad CBOE (VIX)*. Laboratorio de Volatilidad (V-Lab), Escuela de Negocios Stern de la Universidad de Nueva York. Recuperado el 3 de abril de 2025, de <https://vlab.stern.nyu.edu/volatility/VOL.VIX%3AVIND-R.GARCH>
- Engle, R., Capellini, R., Reis, B., DeNard, G., & Campos-Martins, S. (s.f.). *Análisis de Riesgo Climático (CRISK)*. Laboratorio de Volatilidad (V-Lab), Escuela de Negocios Stern de la Universidad de Nueva York. Recuperado el 3 de abril de 2025, de <https://vlab.stern.nyu.edu/climat>
- Fajgelbaum, P. D., & Khandelwal, A. K. (2021). *The economic impacts of the US-China trade war* (NBER Working Paper No. 29315). National Bureau of Economic Research. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w29315/w29315.pdf
- Financial Times. (2013, 6 de agosto). *Taper tantrums*. Financial Times. Recuperado de <https://www.ft.com/content/c795963e-066a-11e3-ba04-00144feab7de>
- Fondo Monetario Internacional. (2015). *Informe anual 2015: Enfoque especial sobre el petróleo*. Recuperado de <https://www.imf.org/external/spanish/pubs/ft/ar/2015/html/spotlight-oil.htm>
- Fondo Monetario Internacional. (2023). *Perspectivas de la economía mundial, octubre de 2023: Navegando transiciones mundiales*. <https://www.imf.org/es/Publications/WEO/Issues/2023/10/10/world-economic-outlook-october-2023>
- Frankel, J. A. (2008). *The effect of monetary policy on real commodity prices*. En J. Y. Campbell (Ed.), *Asset Prices and Monetary Policy* (pp. 291–327). University of Chicago Press.
- Home, A. (2025, 1 de abril). *Copper market grows wary of what follows its US tariff rush*. Reuters. Recuperado de <https://www.reuters.com/markets/commodities/copper-market-grows-wary-what-follows-its-us-tariff-rush-andy-home-2025-04-01/>
- Hortúa, H. J., & Mora-Valencia, A. (2024). Forecasting VIX using Bayesian Deep Learning. *arXiv preprint arXiv:2401.17042*. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2401.1704>
- Hume, N. (2025, January 21). BHP boosts copper production as miners race to meet growing demand. *Financial Times*. Recuperado de: <https://www.ft.com/content/9d671aab-9751-482f-9c64-039057afb88c>
- Intercontinental Exchange (ICE). (2023). *ICE BofA MOVE Index Overview*. Retrieved from <https://www.theice.com/products/219/ICE-Bank-of-America-MOVE-Index>

Investing.com. (s.f.). *Datos históricos - Cobre*. <https://es.investing.com/commodities/copper-historical-data>

Investing News Network. (2020, December 22). *Copper trends 2020: COVID-19 impacts fundamentals, prices recover*. Recuperado de <https://investingnews.com/daily/resource-investing/base-metals-investing/copper-investing/copper-trends-2020/>

Khan, Y. (2023, junio 1). A 'Dirty' Job That Few Want: Mining Companies Struggle to Hire for the Energy Transition. *The Wall Street Journal*. Recuperado de <https://www.wsj.com/articles/a-dirty-job-that-few-want-mining-companies-struggle-to-hire-for-the-energy-transition-7d62d2ae>

Koitsiwe, K., & Adachi, T. (2018). The Role of Financial Speculation in Copper Prices. *Applied Economics and Finance*, 5(4), 87–94. Recuperado de <https://doi.org/10.11114/aef.v5i4.3462>

Krauss, C. (2025, abril 3). *Oil slumps as Trump's higher-than-expected tariffs expected to crimp demand*. Reuters. Recuperado de <https://www.reuters.com/business/energy/oil-sinks-nearly-3-after-trump-announces-sweeping-new-tariffs-2025-04-03/Reuters>

Kristjanpoller, W., & Sierra, A. (2014). Relación entre el dólar, el precio del cobre y el IPSA en distintas escalas de tiempo: Una aproximación a través de wavelet. *Revista Economía Chilena*, 17(3), 56–85. Recuperado de <https://repositoriodigital.bcentral.cl/xmlui/handle/20.500.12580/3612>

London Metal Exchange. (2025, 2 de abril). *Stocks Summary: March 2025*. Recuperado de <https://www.lme.com/Market-data/Reports-and-data/Warehouse-and-stocks-reports/Stocks-summary>

MacroMicro. (s.f.). *Comparación de los principales índices de materias primas (GSCI, BCOM, CRB)*. MacroMicro. Recuperado el 3 de abril de 2025, de <https://en.macromicro.me/charts/71431/major-commodities-index-comparison-gsci-bcom-crb>

MacroMicro. (s.f.). *Relación cobre/oro frente al rendimiento del bono del Tesoro estadounidense a 10 años*. MacroMicro. Recuperado el 3 de abril de 2025, de <https://en.macromicro.me/collections/51/us-treasury-bond/2272/coppergoldbond>

Mayberry, P. (2019). The Power of Copper-Gold: A Leading Indicator for the 10-Year Treasury Yield. *DoubleLine Capital*. Recuperado de <https://doubleline.com/wp-content/uploads/2022/06/The-Power-of-Copper-Gold-Mayberry-2019.pdf>

NPR. (2011, August 6). *S&P downgrades U.S. credit rating*. NPR. <https://www.npr.org/sections/thetwo-way/2011/08/06/139038762/s-p-lowers-united-states-long-term-rating>

Ocampo, J. A. (2013). Economía Política de la crisis de deuda en Europa. *Economía UNAM*, 10(29), 11-36. Recuperado de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S018516672013000400002&script=sci_arttext

Parnes, D. (2024). *Copper-to-gold ratio as a leading indicator for the 10-Year Treasury yield*. *The North American Journal of Economics and Finance*, 69, 102016.

- Parra, J. L., & Gómez, M. (2021). *Desastres naturales y su impacto: Una revisión metodológica*. *Revista Visión de Futuro*, 25(1), 47–65. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1668-87082021000100002
- Pasupuleti, M. K. (2024). *Global power struggles: Geopolitical tensions and resource conflicts in the 21st century*. *International Journal of Academic and Industrial Research Innovations*, 4(11). <https://www.researchgate.net/publication/385048750>
- Potter, S., & Senyuz, Z. (2016). What happened in money markets after the Fed's December rate increase. *FEDS Notes*. Recuperado de <https://www.federalreserve.gov/econresdata/notes/feds-notes/2016/what-happened-in-money-markets-after-the-feds-december-rate-increase-20160222.html>
- Statista. (2024). *Países líderes en la producción de cobre a nivel mundial en 2024*. Statista. Recuperado el 3 de abril de 2025, de <https://es.statista.com/estadisticas/635359/paises-lideres-en-la-produccion-de-cobre-a-nivel-mundial/>
- Stott, M. (2019, November 14). Chilean businesses count cost of riots. *Financial Times*. Recuperado de <https://www.ft.com/content/25fdbdc4-0672-11ea-a984-fbbacad9e7dd>
- Silva, J. (2023). *Beyond energy: Inflationary effects of metals price shocks*. Centre for Economic Policy Research. Recuperado de <https://cepr.org/voxeu/columns/beyond-energy-inflationary-effects-metals-price-shocks>
- S&P Global. (2022). *The Future of Copper: Will the looming supply gap short-circuit the energy transition?* Recuperado de https://cdn.ihsmarkit.com/www/pdf/0722/The-Future-of-Copper-Full-Report_14July2022.pdf
- The Economist. (2013, July 27). *The great deceleration*. The Economist. Recuperado de <https://www.economist.com/leaders/2013/07/27/the-great-deceleration>
- U.S. Bureau of Labor Statistics. (s.f.). *Consumer Price Index for All Urban Consumers: All Items in U.S. City Average (CPIAUCSL)*. Recuperado el 3 de abril de 2025, de <https://fred.stlouisfed.org/series/CPIAUCS>
- Vivanco, D., & Ponce, D. (2021). El rol del cobre en el crecimiento económico de economías exportadoras: Un análisis empírico para Chile. *Revista de Estudios Económicos*, 38(2), 45–67.
- Wang, Z., & Li, X. (2024). COMEX copper futures volatility forecasting: Econometric models and deep learning. *arXiv preprint arXiv:2409.08356*. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2409.08356>
- Wang, Z., & Li, X. (2024). *On the macroeconomic fundamentals of long-term volatilities and dynamic correlations in COMEX copper futures*. Recuperado de <https://arxiv.org/abs/2409.08355>
- Zhan, Y. (2024). International oil price uncertainty and enterprise investment efficiency: Empirical research of listed companies in China. *PLoS ONE*, 19(10), e0299084. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299084>