

## **Nexo agua-energía-alimentos: rentabilidad y riesgo en portafolio de inversión escenario pospandemia**

### **Water-energy-food nexus: profitability and risk in investment portfolio post-pandemic scenario**

Yazmid Adriana CARRILLO BARBOSA<sup>1\*</sup>  , William MORENO LÓPEZ<sup>2</sup>  , y Alfredo GUZMÁN RINCÓN<sup>3</sup>  

1 Docente investigador, Corporación Universitaria de Asturias. Bogotá. Colombia.

2 Docente investigador, Corporación Universitaria de Asturias. Bogotá. Colombia.

3 Director de investigación, Corporación Universitaria de Asturias. Bogotá, Colombia.

\* Autor de correspondencia.

Email: [yazmid.carrillo@asturias.edu.co](mailto:yazmid.carrillo@asturias.edu.co); [william.moreno@asturias.edu.co](mailto:william.moreno@asturias.edu.co); [direccion.investigacion@asturias.edu.co](mailto:direccion.investigacion@asturias.edu.co).

#### **Resumen**

El objetivo principal de este estudio es evaluar la rentabilidad y los riesgos asociados al portafolio del nexo agua, energía y alimentos (AEA) en el escenario pospandemia. Para ello, se empleó una metodología cuantitativa y transversal, basada en el análisis de una variedad de commodities que representan estos sectores, tales como bonos de agua de California; petróleo crudo Brent, gas natural, maíz, soja y café. El análisis se realizó mediante un algoritmo desarrollado en Python, enfocado en evaluar la rentabilidad, el riesgo del portafolio y la Frontera de Eficiencia de Markowitz. Los resultados mostraron que, aunque existen oportunidades de rentabilidad en el portafolio del nexo AEA, también se presentan riesgos significativos para la obtención de dicha rentabilidad. Un hallazgo clave del estudio es que, a pesar de la creciente demanda de recursos eficientes y sostenibles, la inversión en estos sectores requiere una gestión estratégica y considerada. Se sugiere la necesidad de una cuidadosa selección y diversificación del portafolio, alineando las inversiones con principios de sostenibilidad para garantizar su viabilidad a largo plazo. El estudio concluye destacando la importancia de desarrollar modelos predictivos más robustos y aboga por investigaciones futuras para un análisis más integral de las dinámicas entre agua, energía y alimentos y su impacto en los mercados financieros.

#### **Palabras clave**

Nexo, agua, alimentos, energía, commodities, frontera de eficiencia.

#### **Abstract**

The primary objective of this study is to evaluate the profitability and risks associated with the Water-Energy-Food (WEF) nexus portfolio in the post-pandemic scenario. For this purpose, a quantitative and cross-sectional methodology was employed, based on the analysis of a variety of commodities representing these sectors, such as California water bonds, Brent crude oil, natural gas, corn, soy, and coffee. The analysis was conducted using a Python-developed algorithm, focused on assessing the portfolio's profitability, risk, and Markowitz's Efficient Frontier. The results indicate that, although there are profitability opportunities in the WEF nexus portfolio, significant risks are also present for achieving such profitability. A key finding of the study is that, despite the increasing demand for efficient and sustainable resources, investment in these sectors requires strategic and considered management. The need for careful portfolio selection and diversification is suggested, aligning investments with sustainability principles to ensure their long-term viability. The study concludes by highlighting the importance of developing more robust predictive models and advocates for future research for a more comprehensive analysis of the dynamics between water, energy, and food and their impact on financial markets.

#### **Keywords**

Nexus, Water, Food, Energy, Commodities, Efficiency Frontier.

## Introducción

El nexo agua, energía y alimentos (AEA) representa un campo de estudio multidisciplinar donde se entrelazan aspectos vitales para la sostenibilidad global. Este nexo ha sido objeto de numerosas investigaciones, destacando la interdependencia de estos recursos críticos y sus implicaciones económicas (Chen et al., 2010; Du et al., 2011; Serra, 2011; Nazlioglu y Soytaş, 2011; Nazlioglu et al., 2013; Gardebroek y Hernandez, 2013; Nicola et al., 2018; Shahzad et al., 2018; Yip et al., 2020; Naeem et al., 2022; Farid et al., 2022); sin embargo, los estudios anteriormente referenciados se han centrado únicamente en la relación energía-alimentos. Así, Le y Do (2023) enfatizan la importancia de incorporar el agua en este nexo, dada la interdependencia de estos recursos, lo cual es fundamental para un análisis integrado y completo.

Los sectores de agua, energía y alimentos guardan un intrincado vínculo, lo que genera que la vulnerabilidad de uno sea visible en todos, dada la fuerte dependencia (Calder et al., 2021; Teotónio et al., 2020), por ejemplo, la agricultura representa el 72 % de las extracciones mundiales de agua (FAO, 2020), y al mismo tiempo la producción de combustibles fósiles, que forma parte importante de la matriz energética mundial, presenta un marcado consumo de agua (Spang et al., 2014). Igualmente, algunos productos agrícolas como el maíz y la soja, que pueden surtir roles tanto de recursos alimentarios como de insumos para la producción de biocombustibles (energía) representan altos consumos de agua en su producción. Es así como, las prácticas insostenibles en un sector pueden causar volatilidad y crisis en otro, ejemplo de ello es la volatilidad de los precios de los alimentos inducida por la escasez de agua (FAO, 2013).

En el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el nexo AEA ha ganado relevancia mundial, especialmente por su relación con la demanda insostenible de recursos, en particular del agua (Calder et al., 2021; Le y Do, 2023). La presión sobre estos recursos se intensifica debido al crecimiento demográfico, la urbanización acelerada, el desarrollo económico y los cambios en los patrones de consumo (Le y Do, 2023). Además, la vulnerabilidad en uno de estos sectores suele repercutir en los demás debido a su estrecha conexión (Teotónio et al., 2020). Ejemplo de lo anterior es el cambio climático, con sus fenómenos extremos como sequías e inundaciones, que impacta significativamente el nexo AEA, alterando la disponibilidad de estos recursos esenciales (Teotónio et al., 2020). Estudios como los de Teotónio et al. (2020) y Le y Do (2023) han investigado los efectos económicos de estos cambios, incluyendo la escasez de agua y sus implicaciones en los mercados de agua, energía y alimentos.

Frente al caso puntual de la pandemia de COVID-19, esta ha generado cambios profundos en el nexo AEA y en los mercados relacionados (Weller, 2020; Calder et al., 2021; Al-Saidi y Hussein, 2021). Esta crisis sanitaria, que desencadenó una recesión económica sin precedentes, ha expuesto la fragilidad de las interconexiones del nexo AEA. La pandemia de COVID-19 demostró que los sistemas alimentarios modernos pueden perturbar la sociedad global, pero las interacciones con sistemas de agua y energía estrechamente acoplados han sido poco exploradas (Calder et al., 2021). La investigación ha mostrado que mientras la mayoría de los estudios se han centrado en los impactos individuales de la pandemia de COVID-19 en los sectores de agua, alimentos y energía, existe una necesidad imperante de una evaluación más integrada que considere las interacciones entre estos

sectores en el contexto pospandemia (Calder et al., 2021; Al-Saidi y Hussein, 2021).

El confinamiento global y las interrupciones en la cadena de suministro han evidenciado la interdependencia del nexo AEA, con un aumento significativo en los precios globales de los alimentos, energía y agua, lo que resalta la importancia de una gestión sostenible y resiliente de estos recursos (Yin et al., 2022). En este contexto, el presente estudio busca evaluar la rentabilidad y los riesgos asociados al portafolio del nexo AEA en el escenario pospandemia. La combinación de factores climáticos, económicos y de salud pública hace que esta evaluación sea crucial para entender la resiliencia y sostenibilidad de este nexo en un mundo en constante evolución, especialmente desde la data y comportamientos de los mercados financieros.

Dicho estos, el presente artículo se estructuró en cuatro secciones. La primera presenta el marco teórico; la segunda la metodología usada para la evaluación del riesgo; la tercera los resultados y la cuarta la discusión y conclusiones.

## Marco teórico

### Descripción del Nexus AEA

El término *nexo* denota las conexiones e interacciones entre diferentes elementos, siendo especialmente utilizado para las relaciones entre los sectores del agua, la energía y los alimentos (De Laurentiis et al., 2016). Este concepto enfatiza las interdependencias y los resultados sinérgicos o conflictivos que surgen de la gestión de estos recursos vitales para la sociedad (Le y Do, 2023). En líneas generales, existe una notable falta de acuerdo sobre el significado preciso del nexo AEA, con diferentes autores presentando definiciones superpuestas (Benson et al., 2015; Al-Saidi y Elagib, 2017). El término ha sido criticado por tener un sig-

nificado ambiguo (Cairns y Krzywoszynska, 2016). Esta ambigüedad se ejemplifica aún más con diferentes sectores refiriéndose al nexo en varios órdenes, específicamente en la literatura inglesa, como energy-water-food (EWF), water-energy-food (WEF), y food-energy-water (FEW), priorizando cada uno el sector de mayor relevancia para quienes lo utilizan (Liu et al., 2018; Bazilian et al., 2011).

Inicialmente, el enfoque del Foro Económico Mundial era principalmente en la seguridad del agua dentro del nexo AEA, que más tarde evolucionó para abarcar temas más amplios como la sostenibilidad y la gestión integrada del agua con los recursos relacionados con la energía y la alimentación (Pahl-Wostl, 2019). Esta evolución marcó un cambio de un enfoque singular a abordar las interdependencias complejas que definen los desafíos de la gestión del agua, la energía y los alimentos.

El nexo AEA es un concepto en evolución que refleja la naturaleza dinámica de las discusiones académicas y políticas en torno al desarrollo sostenible (Allouche et al., 2015). Dicho esto, se lo conceptualiza, según la FAO (2014) y Simpson y Jewitt (2019), como la interconexión y la gestión de los recursos de agua, energía y alimentos, destacando su naturaleza compleja y entrelazada. Este enfoque aborda las sinergias, conflictos y compensaciones que surgen de la interacción entre estos sectores, enfatizando la importancia de una gobernanza eficiente y políticas públicas que regulen tanto el clima como el medioambiente.

A pesar del destacado interés y crecimiento en la evaluación del nexo AEA, su aplicación se ha enfrentado a varios desafíos. La coordinación multidimensional y enfoque interdisciplinario son esenciales para abordar los desafíos, requiriendo una colaboración efectiva entre diversos sectores (Moreschi et al., 2024). El nexo AEA se presenta como una herramienta crucial para facilitar la coo-

peración intersectorial y la gobernanza, al reconocer la interdependencia global, nacional, regional y local de la oferta y demanda de estos recursos esenciales (Simpson y Jewitt, 2019).

En la era pospandemia, es crucial centrarse en la integración de los ODS y lograr sinergias entre estos; el nexo AEA se erige como un componente clave en la implementación efectiva de los ODS, siendo imperante una aproximación más holística y coordinada que considere la relación intrínseca de estos elementos. Esto implica fortalecer el multilateralismo proporcionar datos confiables y enfoques para la evaluación de impacto en tiempo real y el monitoreo de procesos (Cheng et al., 2021).

### **Importancia del Nexus AEA en el ámbito de las inversiones**

La relevancia del nexo AEA trasciende el campo ambiental y de políticas públicas, incursionando significativamente en el mundo de las inversiones financieras, más puntualmente las bursátiles. Este enfoque interconectado ofrece oportunidades únicas para los inversores del mercado de valores, subrayando la importancia de considerar las sinergias y las interdependencias de estos sectores para tomar decisiones de inversión más informadas y sostenibles. Invertir en empresas que operan dentro del nexo AEA permite a los inversores bursátiles diversificar sus carteras y reducir riesgos operacionales y de suministro. La alineación del nexo AEA con tendencias como el cambio climático y la sostenibilidad es clave para inversiones a largo plazo. El interés de centros de investigación de prestigio en el nexo AEA (Chen et al., 2019; Wang et al., 2022) subraya su potencial como área de crecimiento y retorno sostenible.

Las innovaciones en eficiencia de uso de agua, energías renovables y prácticas

agrícolas sostenibles representan sectores emergentes con gran potencial (Endo et al., 2017). Invertir en estas áreas puede ofrecer a los inversores bursátiles la oportunidad de capitalizar en el crecimiento de mercados emergentes. Las inversiones en empresas que priorizan el nexo AEA se alinean con principios de inversión socialmente responsable. Este enfoque responde a una demanda creciente por opciones de inversión éticas y sostenibles.

Invertir en empresas que contribuyen a los ODS relacionados con el nexo AEA puede proporcionar beneficios tangibles en términos de impacto social y ambiental, además de retornos financieros (Simpson et al., 2022). La investigación y los datos generados en torno al nexo AEA son valiosos para guiar las decisiones de inversión en el mercado bursátil (Li et al., 2019). Los inversores que utilizan estos datos pueden identificar oportunidades de inversión emergentes y empresas bien posicionadas para enfrentar desafíos futuros.

Las inversiones bursátiles en el nexo AEA ofrecen un equilibrio entre sostenibilidad, impacto social y retorno financiero. Estas inversiones se posicionan como una elección inteligente para inversores que buscan resiliencia, sostenibilidad y alineación con tendencias globales y necesidades futuras (Endo et al., 2017; Zhang et al., 2018; Chen et al., 2019; Wang et al., 2022; Simpson et al., 2022; Li et al., 2019). La creciente conciencia sobre la importancia de la sostenibilidad y el impacto de las interdependencias en el nexo WEF hacen que estas inversiones sean no solo una opción estratégica, sino también un imperativo para los inversores en el futuro.

### **Metodología**

El objetivo de esta investigación fue evaluar la rentabilidad y los riesgos asociados con el portafolio del nexo AEA en el contexto pos-

panadémico. Se buscó proporcionar una comprensión detallada de la reacción y adaptación de estos sectores interconectados ante las condiciones cambiantes del mercado, así como su impacto en su valor como inversión, especialmente tras la pandemia. Se adoptó una metodología cuantitativa, empleando análisis estadístico y financiero para interpretar los datos del mercado, lo que permitió una evaluación objetiva y cuantificable de la rentabilidad y los riesgos del portafolio.

El portafolio incluyó bonos de agua de California para representar la inversión en recursos hídricos, petróleo crudo Brent y gas natural para el sector energético, y *commodities* de maíz, soja, harina de soja, avena, arroz y café para el sector alimentario. Estos sectores de *commodities* fueron seleccionados debido a su interdependencia y su relevancia crítica en el contexto pospandémico.

## Datos

Los datos seleccionados fueron extraídos de Yahoo Finance para el periodo del 1 de enero de 2022 hasta el 31 de diciembre de 2023. La elección de este portal obedeció a que este ofrece datos financieros y noticias sobre acciones, índices, divisas, materias primas (*commodities*), bonos y otros instrumentos financieros. Yahoo Finance es reconocida a nivel mundial como una popular fuente de información financiera, con un gran número de usuarios que la utilizan para realizar inversiones y monitorear el rendimiento de los mercados financieros.

Los tickers de los *commodities* usados en el presente estudio correspondieron a H<sub>2</sub>O=F, BZ=F, NG=F, ZW=F, ZC=F, ZS=F, ZM=F, ZO=F, ZR=F y KC=F.

## Algoritmo

Para el cumplimiento del objetivo se desarrolló un algoritmo haciendo uso en el lenguaje

de programación de Python que permita: la importación de la información bursátil de los tickers objeto de estudio, la normalización de los datos, la evaluación del retorno de los *commodities*, la evaluación del riesgo del portafolio y el cálculo de la Frontera de Eficiencia de Markowitz. A continuación, se presenta la descripción de los pasos.

### Importación de la información bursátil

Se realizó la importación de las librerías e instalación de Yahoo Finance, así como la importación de la información de los tickers para los periodos de tiempo definidos. A continuación, se presenta el código:

#### # 1. Instala e importa las librerías a ejecutar.

```
!pip install yfinance
import pandas as pd
import yfinance as yf
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
%matplotlib inline
```

#### #2. Traer la información de las acciones que conforman el portafolio.

```
commodities = ['H2O=F', 'BZ=F', 'NG=F', 'ZW=F', 'ZC=F',
               'ZS=F', 'ZM=F', 'ZO=F', 'ZR=F', 'KC=F']
tickers = yf.Tickers(commodities)
tickers_hist = tickers.history(period='max',
                               start="2022-01-01", start="2023-12-31")['Close']
tickers_hist
```

### Normalización de la información bursátil

La normalización de datos en el ámbito de las inversiones bursátiles es un proceso crítico que tiene un impacto sustancial en la toma de decisiones de inversión. Este proceso implica ajustar valores de distintos parámetros financieros a una escala común, eliminando así las distorsiones causadas por variacio-

nes en magnitudes, unidades o rangos. La importancia de la normalización radica en su capacidad para proporcionar una comparación precisa y significativa entre diferentes activos financieros. Esto es esencial para identificar tendencias, patrones y correlaciones ocultas que no son aparentes en los datos brutos. Además, la normalización facilita la aplicación de algoritmos de análisis técnico y modelos predictivos, mejorando la precisión de las predicciones y estrategias de inversión. Para este proceso se ejecutó el siguiente código:

**#3. Presenta los valores de las acciones y sus discrepancias antes de la normalización.**

```
tickers_hist.iloc[0]
```

**#4. Se procede a graficar el portafolio, para evaluar comportamientos con normalización de los datos**

```
(tickers_hist / tickers_hist.iloc[0] * 100).plot(figsize = (10,10))
```

### *Evaluación del retorno de los commodities*

El cálculo del retorno de la inversión en un portafolio es esencial para evaluar su desempeño y efectividad. Matemáticamente, el retorno de la inversión (ROI) se puede calcular como el porcentaje de cambio en el valor del portafolio en un periodo determinado. La fórmula general para calcular el ROI de un portafolio se describe en la ecuación 1:

#### **Ecuación 1**

$$\frac{\text{Valor del commodity en } t}{\text{Valor del commodity en } t-1}$$

Para efectos del presente estudio se definió como días promedio de operación del mercado bursátil 250, el código usado fue:

**#5 Se calcula la tasa de retorno para cada commodity.**  

```
returns = (tickers_hist / tickers_hist.shift(1))-1  

returns.head()
```

**#6. Se procede a graficar la tasa de cada commodity.**  

```
returns.plot(figsize = (10,10))
```

**#7. Se calcula la tasa de retorno promedio para los días de operación.**

```
returns_annual = returns.mean()*250  

returns_annual
```

### *Evaluación del riesgo del portafolio*

La evaluación del riesgo en un portafolio de inversiones, utilizando la covarianza y la correlación entre los rendimientos de los activos, es un aspecto fundamental para una gestión eficaz del portafolio. La covarianza proporciona una medida del grado en que dos activos se mueven juntos: un valor de covarianza positivo indica que los activos tienden a moverse en la misma dirección, mientras que una covarianza negativa sugiere movimientos opuestos. Por otro lado, el coeficiente de correlación normaliza esta medida, permitiendo una comprensión más clara de la relación relativa entre los rendimientos de dos activos, independientemente de sus varianzas individuales.

En la construcción y el análisis del portafolio, el uso de la covarianza y la correlación es vital para entender cómo la combinación de diferentes activos puede afectar el riesgo total del portafolio. Una diversificación efectiva, buscando activos con bajas correlaciones, puede reducir el riesgo no sistemático del portafolio, permitiendo a los inversores alcanzar un equilibrio más favorable entre el riesgo y el retorno.

**#8. Cálculo de la covarianza**  

```
returns_annual_cov = returns.cov()*250  

returns_annual_cov
```

### #9. Cálculo de la correlación returns.corr()

#### *Frontera de eficiencia de Markowitz*

La eficiencia de frontera es un concepto crucial en el ámbito de las inversiones, por su papel en la conformación de carteras de inversión optimizadas, como lo destacan Gonçalves et al. (2022). Este principio busca un balance ideal entre el riesgo asumido y los rendimientos esperados según lo indican Gonçalves et al. (2022) y Fang et al. (2008). En este contexto, la eficiencia de frontera se inspira en la teoría moderna de portafolios formulada por Harry Markowitz. Así, los inversores al ser racionales aspiran a maximizar su patrimonio minimizando riesgos. Esto se logra a través de carteras diversificadas que incluyen una variedad de activos, tales como acciones, bonos y fondos mutuos, logrando así reducir el riesgo global mediante la compensación entre diferentes tipos de activos.

Cada activo, ponderado por su respectiva participación en la cartera. Matemáticamente, se expresa como  $E(Rp) = \sum w_i \times ER_i$ , donde  $w_i$  representa el porcentaje de cada activo en la cartera y  $ER_i$  es su rendimiento esperado. La varianza del portafolio, un indicador clave del riesgo, se calcula mediante la suma ponderada de las varianzas individuales de los activos, más el doble del producto de sus covarianzas. Se formula como  $Var(p) = \sum \sum w_i w_j \times COV(R_i, R_j)$ , donde  $Var(p)$  es la varianza del portafolio, y  $COV(R_i, R_j)$  denota la covarianza entre los rendimientos de los activos  $i$  y  $j$ .

La Frontera de Eficiencia de Markowitz surge de resolver un problema de optimización, que consiste en maximizar  $E(Rp)$  sujeto a un riesgo específico  $\sigma^2$ . Este proceso resulta en una serie de carteras eficientes adaptadas a diferentes niveles de riesgo. Gráficamente, se representa como una curva en la que cada punto refleja una combina-

ción eficiente de riesgo y rendimiento. A continuación, se presenta el algoritmo utilizado.

```
#10 Simulación de 5000 escenarios
port_returns = []
port_volatility = []
stock_weights = []
# Se establece la cantidad de simuladores
num_assets = len(commodities)
num_portfolios = 5000
# Se crean las simulaciones
for single_portfolio in range(num_portfolios):
    weights = np.random.random(num_assets)
    weights /= np.sum(weights)
    returns = np.dot(weights, returns_annual)
    volatility = np.sqrt(np.dot(weights.T, np.dot(returns_
annual_cov, weights)))
    port_returns.append(returns)
    port_volatility.append(volatility)
    stock_weights.append(weights)
# Se crea la tabla que muestra los retornos y la
volatilidad.
portfolio = {'Returns': port_returns,
            'Volatility': port_volatility}
# Se trae la información relacionada con los pesos
para cada una de las simulaciones.
for counter, symbol in enumerate(commodities):
    portfolio[symbol+' weight'] = [weight[counter] for
weight in stock_weights]

# Se crea la tabla.
df = pd.DataFrame(portfolio)

# Se establece el orden de las columnas.
column_order = ['Returns', 'Volatility'] + [stock+'
weight' for stock in commodities]

# Se presenta el data frame
df = df[column_order]
df.head()
```

```
#11. Portafolio de volatilidad mínima.
min_vol_port = df.iloc[(df['Volatility']).idxmin()]
min_vol_port
```

```
#12. Portafolio óptimo, mediante el método de Sharpe
(ratio)
rf = 0.01 #corresponde al factor de riesgo
optimal_risk_report = df.iloc[((df['Returns']-rf)/
df['Volatility']).idxmax()]
optimal_risk_report
```

## Análisis de los resultados

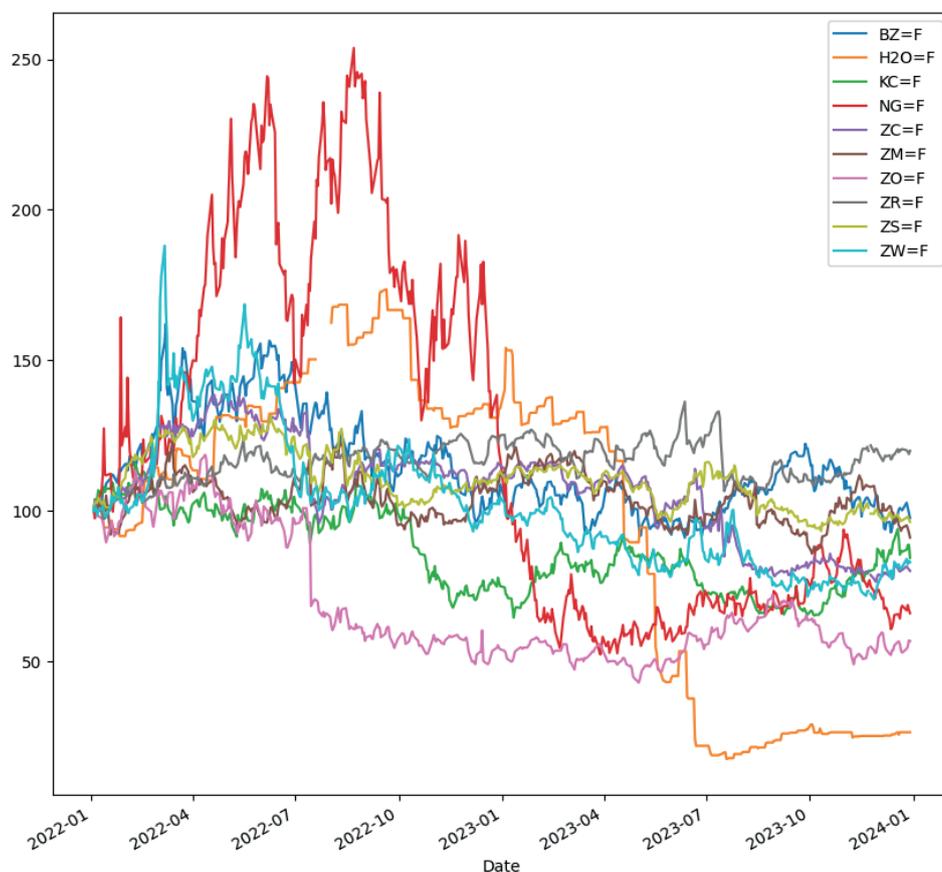
Los datos generados por el algoritmo fueron sometidos a un análisis inductivo descriptivo. Esto implica una exploración detallada de los datos para identificar patrones y tendencias emergentes, sin la influencia de teorías o hipótesis preexistentes. La adopción de una perspectiva inductiva facilita el descubrimiento de nuevos conocimientos o conexiones en los datos, que podrían no haberse anticipado. Por otro lado, el método descriptivo utilizado asegura una representación objetiva de los hallazgos.

## Resultados

En un análisis inicial de los activos del portafolio del nexo AEA, se observan valores significativos en diversas *commodities* antes de la normalización de los datos. Por ejemplo, el activo  $H_2O=F$  (agua) muestra un valor alto de USD 732.00, reflejando posiblemente su creciente importancia en el mercado pospandemia. Por otro lado,  $BZ=F$  (petróleo Brent) se sitúa en USD 78.98, lo que podría indicar fluctuaciones relacionadas con los mercados energéticos globales. Entre los productos agrícolas,  $ZC=F$  (maíz) y  $ZW=F$  (trigo) muestran valores de USD 589.25 y USD 758,00 respectivamente, destacando la relevancia

de los bienes agrícolas en este portafolio. Por otro lado, el valor de  $NG=F$  (gas natural) es relativamente más bajo, en USD 3.815, sugiriendo una dinámica de mercado diferente o una menor ponderación en el portafolio.

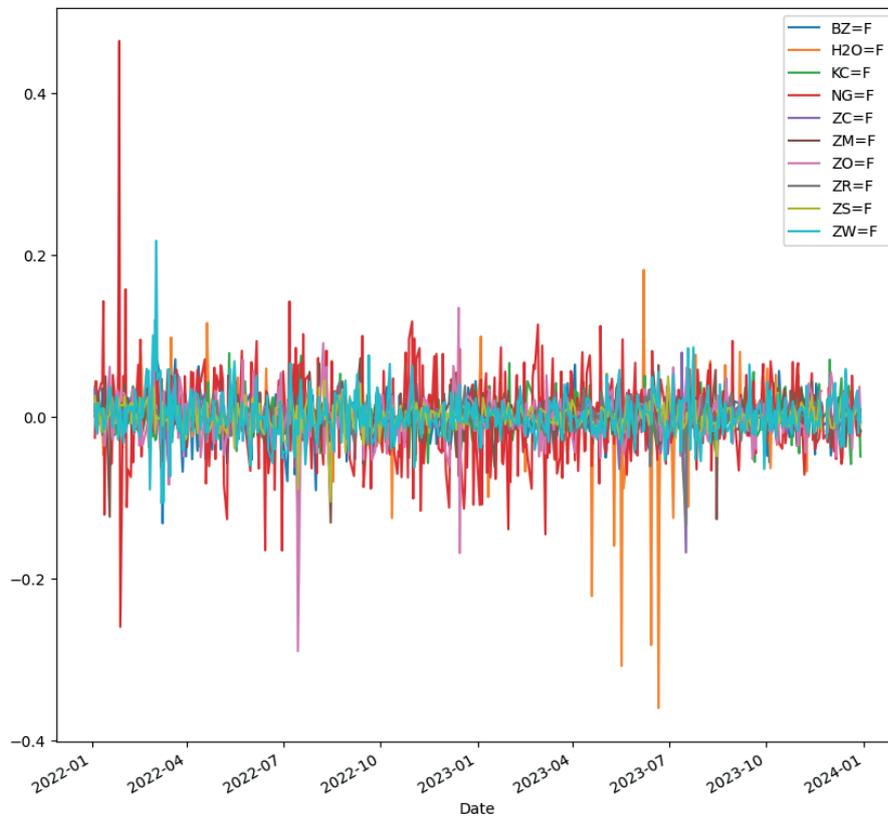
La Figura 1 representa la evolución temporal de los valores normalizados para cada *commodity* incluido en el portafolio del nexo AEA desde enero de 2022 hasta enero de 2024. Tras la normalización de los datos, es decir, ajustando los precios iniciales a 100 para una comparación equitativa del rendimiento, se observan distintas trayectorias que reflejan la volatilidad y tendencias del mercado en el período pospandémico. El petróleo Brent ( $BZ=F$ ) muestra picos significativos de volatilidad, lo que podría interpretarse como una respuesta a los eventos geopolíticos y a las fluctuaciones en la demanda energética global, especialmente por la crisis desatada por la guerra Rusia-Ucrania y por los conflictos en medio oriente. El agua ( $H_2O=F$ ), aunque comenzó con el valor más alto, muestra una tendencia decreciente a lo largo del tiempo, lo que sugiere una posible sobrevaloración inicial o un ajuste del mercado. En contraste, los *commodities* agrícolas como el maíz ( $ZC=F$ ) y el trigo ( $ZW=F$ ) exhiben una tendencia más estable, lo que podría indicar una demanda constante o una menor susceptibilidad a *shocks* económicos.

**Figura 1.** Normalización de los commodities en el portafolio

Nota: Elaboración propia a partir del procesamiento de datos de Yahoo Finance.

Al calcular la tasa de retorno promedio anual de los activos que componen el portafolio del nexo AEA, se observa un panorama diversificado en términos de rendimiento. La tasa de retorno anual para BZ=F (petróleo Brent) es del 6.73 %, lo que puede reflejar una recuperación robusta en el sector energético pospandemia. En contraste, H<sub>2</sub>O=F (agua) muestra una disminución significativa, con una tasa de retorno promedio de -53.22 % anual, lo que señala una potencial sobrevaloración pre-

via o un reajuste del mercado a una nueva valoración. Por otro lado, NG=F (gas natural) muestra un incremento de 15.62 % anual, posiblemente debido a su creciente demanda en la transición energética. Los activos agrícolas como ZC=F (maíz) y ZW=F (trigo) presentan tasas de retorno anuales ligeramente negativas y positivas respectivamente, lo que podría sugerir una menor volatilidad en estos mercados. En la Figura 2 se presenta el retorno diario de cada uno de los *commodities* del portafolio.

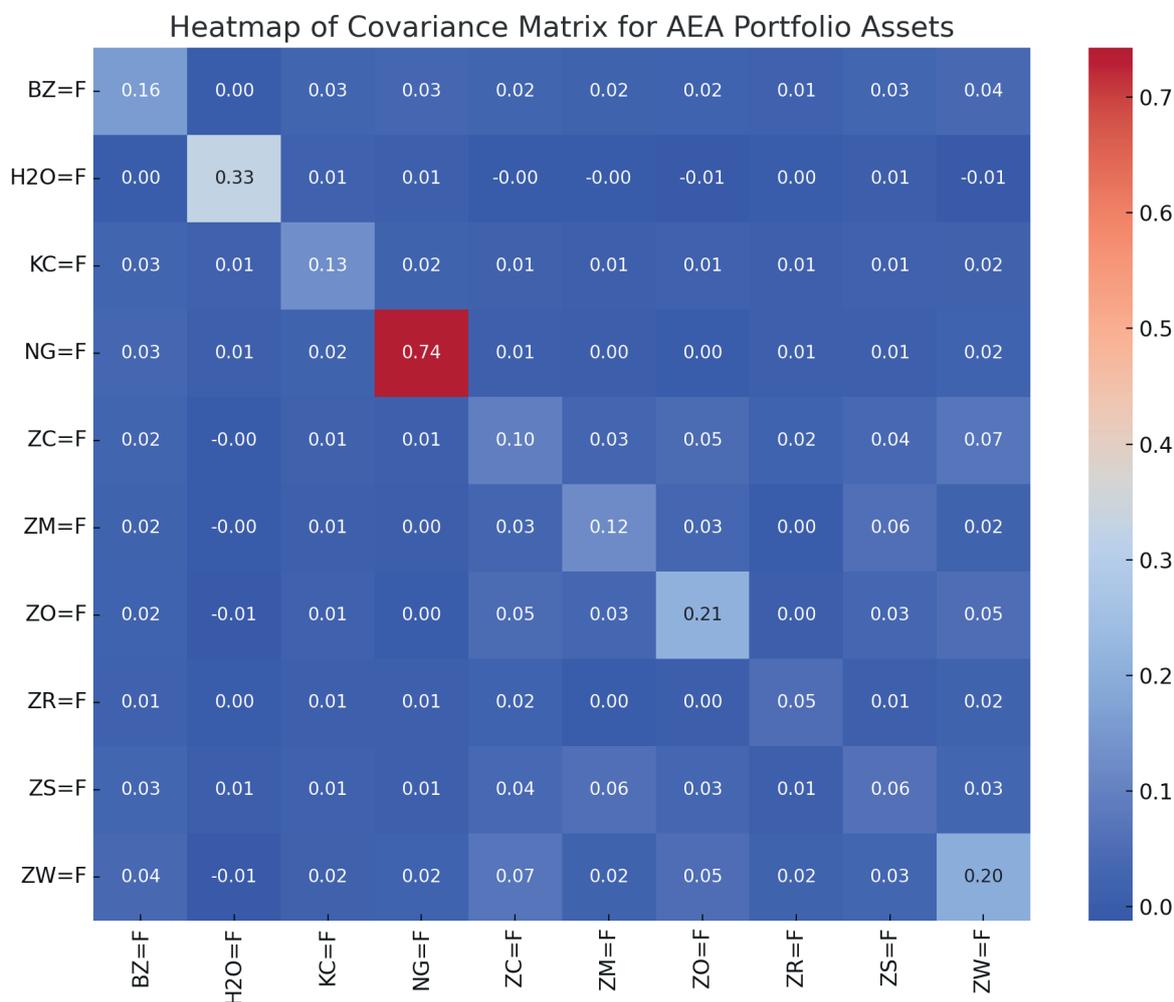
**Figura 2.** Retorno diario de los commodities en el portafolio

*Nota: por efectos del sistema el "." en la figura representa la "." de decimal. Elaboración propia a partir del procesamiento de datos de Yahoo Finance*

La matriz de covarianza (Figura 3) de los activos del portafolio del nexo AEA revela patrones de volatilidad y correlación que son fundamentales para entender la dinámica de riesgo interno. Específicamente, el gas natural (NG=F) exhibe la covarianza individual más alta, lo que indica una volatilidad considerable y, por ende, un riesgo potencialmente mayor asociado a este activo. Además, la correlación relativamente alta entre el gas natural y el petróleo Brent (BZ=F) sugiere que estos energéticos comparten factores de mercado que afectan simultáneamente sus precios, posiblemente vinculados a cambios en las políticas energéticas o fluctuaciones en la demanda global. Por otro lado, el agua (H<sub>2</sub>O=F) muestra

una variabilidad pronunciada con respecto a sí misma, pero tiene pocas correlaciones fuertes con otros activos, lo que podría interpretarse como un comportamiento más aislado de factores específicos del mercado de agua. Curiosamente, los activos agrícolas (ZC=F, ZM=F, ZO=F, ZR=F, ZS=F, y ZW=F) presentan una serie de covarianzas moderadas entre sí, lo que refleja una posible conexión en sus movimientos de precios debido a factores comunes como las condiciones climáticas, políticas comerciales, y tendencias de consumo. Este entendimiento de las interdependencias y la diversificación de riesgos es crucial para optimizar la asignación de activos en la gestión de portafolios pospandemia.

Figura 3. Matriz de covarianza



Nota: por efectos del sistema el "." en la figura representa la "," de decimal. Elaboración propia a partir del procesamiento de datos de Yahoo Finance

En el contexto de la evaluación pospandemia del portafolio del nexo AEA, la matriz de correlaciones de los *commodities* seleccionados revela hallazgos notables (ver Tabla 1). La correlación más elevada se identificó entre ZC=F y ZW=F (0.493687), indicando una relación significativamente positiva que podría implicar una interdepen-

dencia en términos de movimientos de precios y, por ende, un potencial aumento en el riesgo de concentración para el portafolio. Por otro lado, la correlación mínima observada entre H<sub>2</sub>O=F y BZ=F (0.000656) sugiriendo una independencia casi total, lo cual podría ser estratégicamente ventajoso para la diversificación del riesgo.

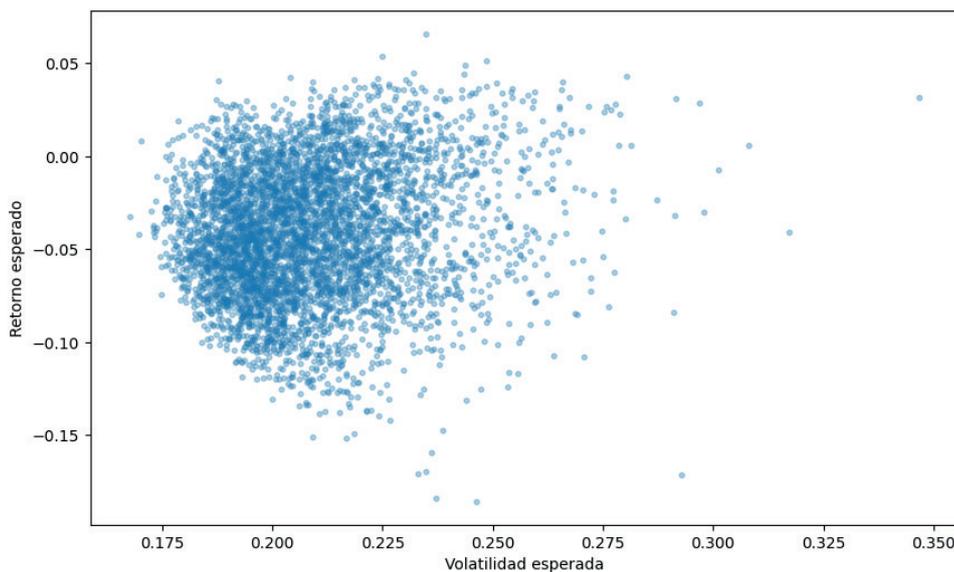
**Tabla 1.** Matriz de correlaciones entre commodities.

	BZ=F	H <sub>2</sub> O=F	KC=F	NG=F	ZC=F	ZM=F	ZO=F	ZR=F	ZS=F	ZW=F
BZ=F	1.00									
H <sub>2</sub> O=F	0.00	1.00								
KC=F	0.18	0.07	1.00							
NG=F	0.10	0.02	0.07	1.00						
ZC=F	0.20	-0.02	0.13	0.04	1.00					
ZM=F	0.13	0.00	0.09	0.01	0.30	1.00				
ZO=F	0.12	-0.04	0.07	0.01	0.32	0.21	1.00			
ZR=F	0.13	0.02	0.14	0.05	0.32	0.02	0.03	1.00		
ZS=F	0.28	0.04	0.14	0.03	0.46	0.66	0.29	0.15	1.00	
ZW=F	0.22	-0.03	0.09	0.05	0.49	0.13	0.25	0.20	0.25	1.00

La Figura 4 exhibe la nube de puntos que representan diferentes portafolios en el espacio de retorno esperado versus volatilidad esperada. La forma de la distribución sugiere una correlación positiva típica entre el retorno y la volatilidad esperados; a medida que aumenta la volatilidad, también lo hace el retorno potencial. La configuración del portafolio de volatilidad mínima, tal como se evidencia en la asignación dada de los activos H<sub>2</sub>O=F 4 %, BZ=F 8 %, NG=F 17 %, ZW=F 3 %, ZC=F 6 %, ZS=F 5 %, ZM=F 11 %, ZO=F 23 %, ZR=F 22 % y KC=F 0 %, demuestra una táctica de inversión diseñada para reducir el riesgo global a través de la diversificación estratégica. Aunque el retorno esperado es negativo, situado en -3.22 %, este resultado podría ser una consecuencia aceptable dentro de la estrategia de minimización de riesgos, especialmente en un clima de mercado pospandémico potencialmente volátil. La volatilidad de este portafolio se sitúa en 16.75 %, reflejando una menor variabilidad en los retornos comparada con opciones más riesgosas.

ZR=F 22 % y KC=F 0 %, demuestra una táctica de inversión diseñada para reducir el riesgo global a través de la diversificación estratégica. Aunque el retorno esperado es negativo, situado en -3.22 %, este resultado podría ser una consecuencia aceptable dentro de la estrategia de minimización de riesgos, especialmente en un clima de mercado pospandémico potencialmente volátil. La volatilidad de este portafolio se sitúa en 16.75 %, reflejando una menor variabilidad en los retornos comparada con opciones más riesgosas.

**Figura 4.** Frontera de eficiencia de Markowitz



Nota: por efectos del sistema el "." en la figura representa la "." de decimal. Elaboración propia a partir del procesamiento de datos de Yahoo Finance

El portafolio óptimo tuvo un retorno esperado del 6.60 % con una volatilidad del 23.48 %. La asignación de pesos a los *commodities* en este portafolio sugiere una preferencia por la avena (ZO=F) con un peso significativo del 32.35 %, lo que indica una fuerte confianza en su desempeño o en su papel de diversificación dentro del portafolio. La segunda mayor asignación se observa en el trigo (ZW=F) con un 20.78 %, resaltando su importancia estratégica, posiblemente debido a sus fundamentales de mercado o a su papel en la cobertura de riesgos relacionados con los productos básicos. El agua (H<sub>2</sub>O=F) recibe una asignación considerable de 13.06 %, reflejando su valor como un activo potencialmente estable y esencial. El gas natural (NG=F) y el arroz (ZR=F), con pesos de 8.15 % y 10.78 % respectivamente, podrían ser vistos como componentes importantes para la gestión de riesgos y la generación de retornos. Es notable la baja ponderación asignada al petróleo Brent (BZ=F) de solo 0.41 %, lo cual podría interpretarse como una postura cautelosa ante la volatilidad de los precios del petróleo o una menor previsión de rendimientos.

Los productos agrícolas como el maíz (ZC=F, 1.70 %), la soja (ZS=F, 4.11 %) y la harina de soja (ZM=F, 5.09 %) mantienen pesos moderados, que en conjunto pueden proporcionar una base sólida en el sector de *commodities*, manteniendo la exposición a movimientos de precios debido a factores como la demanda global y las condiciones climáticas. El café (KC=F), aunque con una menor ponderación (3.53 %), aún desempeña un papel en la diversificación general del portafolio.

## Conclusiones

El presente estudio ha explorado la interconexión del nexo agua-energía-alimentos (AEA) y su impacto en la rentabilidad y riesgos de un portafolio de inversión en el con-

texto pospandemia. A través de un análisis cuantitativo detallado, se ha identificado varias tendencias clave que resaltan la complejidad y la interdependencia de estos sectores, que ya se señalaban en estudios previos (ej.: [Weller, 2020](#); [Calder et al., 2021](#); [Al-Saidi y Hussein, 2021](#)). En este sentido, los sectores de agua, energía y alimentos están estrechamente vinculados, y esta interdependencia influye significativamente en la dinámica del mercado. Esto se reflejó en la correlación entre los movimientos de precios de los diferentes *commodities* y su impacto en la rentabilidad del portafolio.

El nexo AEA presenta oportunidades de inversión en la pospandemia debido a la creciente demanda global de recursos eficientes y sostenibles ([Calder et al., 2021](#); [Teotónio et al., 2020](#)). Las innovaciones en tecnologías de energías renovables, la gestión eficiente del agua y las prácticas agrícolas sostenibles ofrecen potencial para un crecimiento significativo, no obstante, estos sectores también están sujetos a una variedad de riesgos. Entre los riesgos a los que se enfrenta están los climáticos y geopolíticos, cambios regulatorios y la incertidumbre en el desarrollo tecnológico. Además, la interdependencia de estos sectores significa que los problemas en uno pueden afectar a los otros, aumentando así el riesgo sistémico. Para mitigar estos riesgos, es esencial realizar una cuidadosa selección y diversificación del portafolio. Esto implica invertir en una gama de activos dentro del nexo AEA, así como en otros sectores no correlacionados, para equilibrar el portafolio.

Es importante tener en cuenta que las inversiones en el nexo AEA deben alinearse con los principios de sostenibilidad para asegurar su viabilidad a largo plazo, conforme lo detallaron la FAO ([2020](#)), Spang et al. ([2014](#)), Le y Do ([2023](#)). Invertir en empresas y tecnologías que promueven la eficiencia de los recursos y reducen el impacto ambiental

puede ofrecer retornos estables y contribuir a la resiliencia del portafolio, por lo cual se debe ampliar la visión del nexo AEA relacionada con *commodities*, a incluir otros sectores como el tecnológico relacionado al nexo.

Las implicaciones prácticas de los hallazgos son significativas y multifacéticas. En el ámbito de la política pública, se sugiere la necesidad de reformas que fomenten una mayor integración y coordinación entre los sectores de agua, energía y alimentos, potenciando así un enfoque más holístico y sostenible. Para los profesionales y decisores en estas áreas, los resultados resaltan la importancia de adoptar estrategias basadas en evidencia que consideren las interconexiones reveladas al momento de desarrollar inversiones. Además, este estudio proporciona una base sólida para el desarrollo de herramientas y modelos predictivos más precisos, lo que podría mejorar significativamente la toma de decisiones en contextos complejos y con mayor cantidad de activos evaluados.

Investigaciones futuras podrían adoptar un enfoque multidimensional para analizar las interacciones entre agua, energía y alimentos. Esto incluiría estudiar cómo las políticas en un sector pueden tener efectos de cascada en los otros, y cómo estas interacciones influyen en las decisiones de inversión en los mercados financieros. Por ejemplo, un análisis podría explorar cómo la escasez de agua afecta los precios de la energía y los productos alimenticios, y viceversa. Por otra parte, existe una necesidad crítica de ampliar los estudios de cómo las fluctuaciones en uno de los sectores del nexo AEA pueden impactar la estabilidad y el rendimiento de los mercados financieros. Igualmente, para abordar la evaluación financiera del nexo AEA es esencial desarrollar modelos más robustos, que no solo se basen en la información bursátil de los *commodities* que componen el nexo. Estos

modelos deberían incorporar no solo variables económicas tradicionales, como el precio en la bolsa de valores de los *commodities*, sino también factores ambientales y socioeconómicos.

Finalmente, es importante contextualizar las conclusiones de este estudio dentro de sus limitaciones inherentes. Una de las restricciones más significativas radica en el alcance del análisis de *commodities*, limitado a un conjunto específico de productos. Esta selección puede no reflejar completamente la diversidad y complejidad del nexo AEA. Además, el estudio se enfoca exclusivamente en activos que cotizan en el mercado americano. Esta delimitación geográfica podría omitir tendencias y dinámicas importantes presentes en otros mercados internacionales, lo que podría afectar la generalización de los hallazgos a un contexto global. Estas limitaciones sugieren la necesidad de tener cautela al interpretar los resultados y subrayan la importancia de realizar estudios adicionales, que complementen la metodología aquí utilizada y los activos y mercado analizados.

## Financiamiento

Este trabajo fue financiado por la Corporación Universitaria de Asturias.

## Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran no tener potenciales conflictos de interés con respecto a la investigación, autoría y/o publicación de este artículo.

## Referencias

Al-Saidi, M. y Elagib, N. A. (2017). Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. *Science of The Total Environment*, 574, 1131-1139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.046>

- Al-Saidi, M. y Hussein, H. (2021). The water-energy-food nexus and COVID-19: Towards a systematization of impacts and responses. *Science of The Total Environment*, 779, 146529. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146529>
- Avila-Castañeda, G. I., Otazo-Sánchez, E. M., Román-Gutiérrez, A. D. y Acevedo-Sandoval, O. A. (2023). ¿Qué es el nexo agua-energía-alimentos? *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 10(20), Article 20. <https://doi.org/10.29057/icbi.v10i20.10135>
- Bazilian, M., Rogner, H., Howells, M., Hermann, S., Arent, D., Gielen, D., Steduto, P., Mueller, A., Komor, P., Tol, R. S. J. y Yumkella, K. K. (2011). Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy Policy*, 39(12), 7896-7906. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039>
- Benson, D., Gain, A. y Rouillard, J. (2015). Water Governance in a Comparative Perspective: From IWRM to a «Nexus» Approach? *Water Alternatives*, 8, 756-773.
- Cairns, R. y Krzywoszynska, A. (2016). Anatomy of a buzzword: The emergence of 'the water-energy-food nexus' in UK natural resource debates. *Environmental Science & Policy*, 64, 164-170. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.07.007>
- Calder, R. S. D., Grady, C., Jeuland, M., Kirchhoff, C. J., Hale, R. L. y Muenich, R. L. (2021). COVID-19 Reveals Vulnerabilities of the Food-Energy-Water Nexus to Viral Pandemics. *Environmental Science & Technology Letters*, 8(8), 606-615. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00291>
- Chen, D., Zhang, P., Luo, Z., Zhang, D., Bi, B., y Cao, X. (2019). Recent Progress on the Water-Energy-Food Nexus using Bibliometric Analysis. *Current Science*, 117, 577. <https://doi.org/10.18520/cs/v117/i4/577-586>
- Chen, S.-T., Kuo, H.-I., y Chen, C.-C. (2010). Modeling the relationship between the oil price and global food prices. *Applied Energy*, 87(8), 2517-2525. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.02.020>
- Cheng, Y., Liu, H., Wang, S., Cui, X. y Li, Q. (2021). Global action on sdfs: Policy review and outlook in a post-pandemic era. *Sustainability (Switzerland)*, 13(11). Scopus. <https://doi.org/10.3390/su13116461>
- De Laurentiis, V., Hunt, D. y Rogers, C. (2016). Overcoming Food Security Challenges within an Energy/Water/Food Nexus (EWFN) Approach. *Sustainability*, 8. <https://doi.org/10.3390/su8010095>
- Du, X., Yu, C. L., y Hayes, D. J. (2011). Speculation and volatility spillover in the crude oil and agricultural commodity markets: A Bayesian analysis. *Energy Economics*, 33(3), 497-503. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.12.015>
- Endo, A., Tsurita, I., Burnett, K. y Orenco, P. M. (2017). A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 11, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.010>
- Fang, Y., Lai, K. K. y Wang, S. (2008). *Fuzzy Portfolio Optimization*. Springer Berlin.
- FAO y WFP. 2020. FAO-WFP early warning analysis of acute food insecurity hotspots, Rome. En: <https://acortar.link/B7nNcT> (2020), Acceso 12 de enero 2024.
- FAO. 2013. Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Roma, FAO. <https://acortar.link/5AxHzU> Acceso 12 de enero 2024
- FAO. 2014. The Water-Energy-Food Nexus A New Approach in Support of Food Security and Sustainable Agriculture. <https://acortar.link/yRyzkw> Acceso 12 de enero 2024
- FAO. 2020. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2020: *Superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb1447es>
- Farid, S., Naeem, M. A., Paltrinieri, A. y Nepal, R. (2022). Impact of COVID-19 on the quantile connectedness between energy, metals and agriculture commodities. *Energy Economics*, 109, 105962. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.105962>
- Gardebroek, C. y Hernández, M. A. (2013). Do energy prices stimulate food price volatility? Examining volatility transmission between US oil, ethanol and corn markets. *Energy Economics*, 40, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.06.013>

- Gonçalves, G., Wanke, P. y Tan, Y. (2022). A higher order portfolio optimization model incorporating information entropy. *Intelligent Systems with Applications* 15, 200101. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2022.200101>
- Le, T. H., Pham, L. y Do, H. X. (2023). Price risk transmissions in the water-energy-food nexus: Impacts of climate risks and portfolio implications. *Energy Economics*, 124, 106787. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.106787>
- Li, G., Wang, Y. y Li, Y. (2019). Synergies within the Water-Energy-Food Nexus to Support the Integrated Urban Resources Governance. *Water*, 11, 2365. <https://doi.org/10.3390/w11112365>
- Liu, J., Mao, G., Hoekstra, A. Y., Wang, H., Wang, J., Zheng, C., Vliet, M. T. H. van, Wu, M., Ruddell, B. y Yan, J. (2018). Managing the energy-water-food nexus for sustainable development. *Applied Energy*, 210, 377-381. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.10.064>
- Moreschi, L., Gagliano, E., Gallo, M. y Del Borghi, A. (2024). A framework for the environmental assessment of water-energy-food-climate nexus of crops: Development of a comprehensive decision support indicator. *Ecological Indicators*, 158, 111574. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111574>
- Naeem, M. A., Karim, S., Hasan, M., Lucey, B. M. y Kang, S. H. (2022). Nexus between oil shocks and agriculture commodities: Evidence from time and frequency domain. *Energy Economics*, 112, 106148. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106148>
- Nazlioglu, S. y Soytas, U. (2011). World oil prices and agricultural commodity prices: Evidence from an emerging market. *Energy Economics*, 33(3), 488-496. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.11.012>
- Nazlioglu, S., Erdem, C. y Soytas, U. (2013). Volatility spillover between oil and agricultural commodity markets. *Energy Economics*, 36, 658-665. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.11.009>
- Nicola, F. de, De Pace, P. y Hernández, M. A. (2016). Co-movement of major energy, agricultural, and food commodity price returns: A time-series assessment. *Energy Economics*, 57, 28-41. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.04.012>
- Pahl-Wostl, C. (2019). Governance of the water-energy-food security nexus: A multi-level coordination challenge. *Environmental Science & Policy*, 92, 356-367. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.017>
- Serra, T. (2011). Volatility spillovers between food and energy markets: A semiparametric approach. *Energy Economics*, 33(6), 1155-1164. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.04.003>
- Shahzad, S. J. H., Hernandez, J. A., Al-Yahyaee, K. H. y Jammazi, R. (2018). Asymmetric risk spillovers between oil and agricultural commodities. *Energy Policy*, 118, 182-198. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.074>
- Simpson, G. B. y Jewitt, G. P. (2019a). The water-energy-food nexus in the anthropocene: Moving from 'nexus thinking' to 'nexus action'. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 40, 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.10.007>
- Simpson, G. B. y Jewitt, G. P. W. (2019b). The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review. *Frontiers in Environmental Science*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2019.00008>
- Simpson, G., Jewitt, G., Becker, W., Badenhorst, J., Masia, S., Neves, A. R., Rovira, P. y Pascual, V. (2022). The Water-Energy-Food Nexus Index: A Tool to Support Integrated Resource Planning, Management and Security. *Frontiers in Water*, 4, 825854. <https://doi.org/10.3389/frwa.2022.825854>
- Spang, E. S., Moomaw, W. R., Gallagher, K. S., Kirshen, P. H. y Marks, D. H. (2014). The water consumption of energy production: An international comparison. *Environmental Research Letters*, 9(10), 105002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/105002>
- Teotónio, C., Rodríguez, M., Roebeling, P. y Fortes, P. (2020). Water competition through the 'water-energy' nexus: Assessing the economic impacts of climate change in a Mediterranean context. *Energy Economics*, 85, 104539. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104539>

- Wang, J., Ju, K. y Wei, X. (2022). Where Will 'Water-Energy-Food' Research Go Next?—Visualisation Review and Prospect. *Sustainability*, 14, 7751. <https://doi.org/10.3390/su14137751>
- Weller, J. (2020). *La pandemia del COVID-19 y su efecto en las tendencias de los mercados laborales*. <https://hdl.handle.net/11362/45759>
- Yin, C., Pereira, P., Hua, T., Liu, Y. y Zhu, J. (2022). Recover the food-energy-water nexus from COVID-19 under SDG acceleration actions. *Science of The Total Environment*, 817, 153013. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153013>
- Yip, P. S., Brooks, R., Do, H. X. y Nguyen, D. K. (2020). Dynamic volatility spillover effects between oil and agricultural products. *International Review of Financial Analysis*, 69, 101465. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2020.101465>
- Zhang, C., Chen, X., Li, Y., Ding, W. y Fu, G. (2018). Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. *Journal of Cleaner Production*, 195, 625-639. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.194>



Copyright © The Author(s) - 2024