

JOURNAL OF ENERGY, ENGINEERING
OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY

2026

ENERGÍA Y SUSTENTABILIDAD



Vol. 10 Núm. 2 (2026)

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo

No. 04-2026-050410175100-102. ISSN: 2448-8186



DIRECTORIO

L.D. GUILLERMO NARVÁEZ OSORIO

Rector

DR. WILFRIDO MIGUEL CONTRERAS SÁNCHEZ

Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

DR. LUIS MANUEL HERNÁNDEZ GOVEA

Secretario de Servicios Académicos

LIC. ALEJANDRINO BASTAR CORDERO

Encargado del Despacho de la Secretaría de
Servicios Administrativos

Esta revista está citada en:

Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal LATINDEX.<http://www.1atindex.unam.mx/> JOURNAL OF ENERGY, ENGINEERING OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY, Vol 10, No. 2, Año 2026, es una publicación continua editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa, Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040, <https://revistajeeos.ujat.mx/JEEOS/es/>, Email: jeeos@ujat.mx. Indizada en LATINDEX. Editora responsable: Laura Lorena Díaz Flores. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2026-050410175100-102, ISSN: 2448-8186, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Pauly González Mayo, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 31 de agosto 2026.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution- NonCommercialShareAlike 4.0 International License.

Dra. Laura Lorena Díaz Flores
EDITORA EN JEFE

M.A. Pauly González Mayo
GESTORÍA Y ASISTENCIA EDITORIAL

MIS Dalia Exaltación Medina Mandujano
MAEE. Mary Cruz Valenzuela Jiménez
ASISTENTE DE DISEÑO Y ESTILO

Dra. Sulma Guadalupe Gómez Jiménez
Dra. Margarita del Carmen Noguera Miceli
ASISTENCIA EN TRADUCCIÓN Y MAQUETADO

EDITORES ASOCIADOS INVITADOS

Dr. Darío Colorado Garrido. **Universidad Veracruzana**
Dra. Linda Viviana García Quiñonez. **Universidad Veracruzana**
Dr. Cristian Gómez. **Universidad Veracruzana**
Dra. Deysi Carmina Peña Ortiz. **Universidad Veracruzana**
Dr. Roberto Agustín Conde Gutiérrez. **Universidad Veracruzana**
Dr. Gerardo Alcalá Perea. **Universidad Veracruzana**
Dra. Zaira Ruth Zuviría López. **Universidad Autónoma de Guadalajara**
Dra. Karen Rodríguez Rosales. **Universidad Autónoma de Querétaro**
Dra. Laura López Díaz. **Universidad Juárez Autónoma de Tabasco**
Dr. Erik Ramírez Morales. **Universidad Juárez Autónoma de Tabasco**

COMITÉ EDITORIAL

Dr. Bassam Ali, **Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán**

Dr. Fabricio Nápoles Rivera, **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo**

Dr. Francisco López Villareal, **Instituto Tecnológico de Villahermosa.**

Dr. Fernando Israel Gómez Castro, **Universidad de Guanajuato**

Dr. Juan Serrano Arellano, **Instituto Tecnológico de Pachuca**

Dra. Isabel María Valdivia Fernández, **Universidad de la Habana- Facultad de Geografía**

Dra. Ivett Zavala Guillén, **Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California**

Dr. Luis Alfonso García Cerda, **Centro de Investigación de Química Aplicada**

Dra. Nancy del Pilar Medina Herrera, **Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dra. Ma. Guadalupe Garnica Romo, **Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.**

Dra. María Guadalupe Alpuche Cruz, **Universidad de Sonora**

Dr. Pedro Cruz Alcantar, **Universidad Autónoma de San Luís Potosí**

Dr. Salvador Tututi Ávila, **Universidad Autónoma de Nuevo León**

Dra. Santa del Carmen Herrera Sánchez, **Universidad Autónoma del Carmen**

Índice Vol. 10 Núm. 2 (2026)

Carta editorial

Zuviría-López Z.R.

Integración de calor en la purificación de ciclohexano grado textil utilizando etilenglicol como solvente 1-16

Cruz-Valdez J.A.^{1*}, Álvarez-Alor B.², Montalvo-Salinas D.³, Garzón-Pérez A.S.⁴, Alvarado-Méndez P.E.⁵

Fotosíntesis artificial efecto sinérgico de Ti^{3+} , Co^{2+} , Co^{3+} en los mecanismos de activación, acoplamiento c-c hacia la producción de isopropanol 17-30

Pérez- de la Cruz A.Y.¹, Montalvo-Salinas D.^{2*}, Cruz-Valdez J.A.¹, Pérez- Francisco J.M.¹, Jiménez- Castillo U.¹, Álvarez-Alor B.³

Predicción de la potencia en una turbina vestas v52 mediante regresión polinomial y una red neuronal 31-46

Olan-Barroso A.A.^{1*}, Alaffita-Hernández F.A.², Escobedo-Trujillo B.A.¹, Colorado-Garrido D.²

Estrategias de ingeniería de software verde para aplicaciones energéticamente eficientes 47-54

Morales-Reyes E.^{1*}, Pacheco-Reyes J.N.¹, Vázquez-Hernández R.¹, Gilbón-Aburto A.¹, Gómez-Manuel E.¹

Estudio teórico y experimental de la eficiencia térmica de un colector cilindro parabólico en Coatzacoalcos, México 55-70

Rodríguez-Flores E.¹, González-Martínez M.I.², Fuentes-Orozco S.², Garrido-Meléndez J.³, Márquez-Nolasco A.⁴, Conde-Gutiérrez R.A.^{4*}.

Determinación de la acumulación de metales en *eichhornia crassipes* para valorización de biomasa 71-80

Benítez-Martínez X. S.¹, Domínguez-Villate W. A.¹, Núñez-Correa S.¹, Morales-Salas L.^{2,3*}

Restricciones de sostenibilidad y riesgo de cola en portafolios accionarios de México 81-96

Villada-Medina H.D.^{1*}, Rendón-García J.F.¹, Alcalá-Perea G.²

Análisis en lazo cerrado de un convertidor elevador en cascada con reducción del rizo de corriente de entrada para aplicaciones con celda de combustible de hidrógeno 97-114

Hidalgo-Leal H.D.¹, Cruz-Gutiérrez F.^{1*}, May-Burgos L.D.¹, Sarao-Cruz L.D.J.¹, Pérez-Aguilar A.¹.

Restricciones de sostenibilidad y riesgo de cola en portafolios accionarios de México**Sustainability constraints and tail risk in mexican equity portfolios**Villada-Medina H.D.^{1*}, Rendón-García J.F.¹, Alcalá G.²¹ Instituto Tecnológico Metropolitano, Calle 73 No. 76A-354, Vía al Volador, Medellín,
Antioquia, Colombia.² Universidad Veracruzana, Lomas del Estadio S/N, Col. Zona Universitaria, C.P. 91090,
Xalapa, Veracruz, México.

*hernanvillada@itm.edu.co

Artículo Científico**Publicado: 31 de agosto 2026****RESUMEN**

Este trabajo evalúa cómo las restricciones de sostenibilidad impuestas por separado sobre los puntajes ambientales (E), sociales (S), de gobernanza (G) y el agregado ambiental, social y de gobernanza (ESG) modifican la frontera eficiente y el riesgo de cola de portafolios accionarios mexicanos. Se utilizó un panel mensual de emisoras mexicanas de Bloomberg para el periodo 2012-2024 y se construyeron portafolios con restricciones de peso homogéneas. Como referencia, se tomó el portafolio de mínima varianza sin restricción de *score* y las metas sostenibles se fijaron como fracciones exactas del margen factible de mejora del puntaje respecto de esa referencia. La evidencia combinó ejercicios dentro de la muestra para 2017-2024 y validación fuera de la muestra, con diagnóstico de riesgo de cola mediante Value-at-Risk (VaR) y pérdida esperada (ES) bajo aproximaciones Normal y Gram-Charlier, contrastadas con medidas empíricas y pruebas de Kupiec y Christoffersen. Los resultados mostraron que el efecto de las restricciones no fue uniforme entre pilares: dentro de muestra, gobernanza presentó el menor deterioro de la relación riesgo-rendimiento y la menor sensibilidad de VaR y ES al endurecimiento de la meta; ambiental y ESG agregado mostraron el mayor incremento del riesgo de cola en metas exigentes; y fuera de muestra solo algunas metas moderadas preservaron o redujeron marginalmente el ES empírico, mientras las metas estrictas lo empeoraron. Se concluyó que el diseño de portafolios sostenibles en México debe evaluarse por pilar específico y con métricas conjuntas de eficiencia y cola.

Palabras clave: Finanzas sostenibles; México; riesgo de cola; portafolios sostenibles; criterios ASG.

ABSTRACT

This paper evaluates how sustainability constraints imposed separately on Environmental (E), Social (S), Governance (G), and the aggregate Environmental, Social, and Governance (ESG) scores alter the efficient frontier and the tail risk profile of Mexican equity portfolios. A Bloomberg-based monthly panel of Mexican equities for 2012-2024 was used to construct portfolios under homogeneous weight constraints. The unconstrained minimum-variance portfolio was taken as the internal reference, and sustainability targets were defined as exact fractions of the

feasible score-improvement margin relative to that reference. The evidence combined in-sample exercises for 2017-2024 and rolling out-of-sample validation, with extreme-risk diagnostics based on Value-at-Risk (VaR) and Expected Shortfall (ES) under Normal and Gram-Charlier approximations, contrasted with empirical measures and Kupiec-Christoffersen tests. The results showed that the effect of the constraints was not uniform across pillars: in-sample, Governance produced the smallest deterioration in the risk-return trade-off and the flattest VaR and ES response as targets tightened; Environmental and aggregate ESG displayed the largest increase in tail risk under demanding targets; and out-of-sample only some moderate targets preserved or marginally reduced empirical ES, whereas strict targets worsened it. It was concluded that sustainable portfolio design in Mexico should be assessed by specific pillar and with joint efficiency and tail risk metrics. **Keywords:** Sustainable finance; Mexico; tail risk; sustainable portfolios; ESG criteria.

INTRODUCCIÓN

La teoría moderna de portafolios parte del problema media-varianza de Markowitz: para un conjunto dado de activos y restricciones, los inversionistas buscan combinaciones que maximicen el rendimiento esperado para un nivel de riesgo o, de manera equivalente, que minimicen el riesgo para un rendimiento objetivo. La frontera eficiente resume el mejor conjunto de oportunidades disponible bajo esa arquitectura. Cuando se impone una restricción adicional, el conjunto factible se reduce y la frontera tiende a desplazarse hacia adentro. En consecuencia, exigir mejoras en un *score* de sostenibilidad puede deteriorar la relación riesgo-rendimiento incluso si el objetivo sostenible resulta deseable en sí mismo.

Ese costo potencial, sin embargo, no agota la evaluación económica del problema. Una restricción de sostenibilidad puede reducir la eficiencia media-varianza y, al mismo tiempo, modificar favorablemente la cola izquierda de la distribución de rendimientos. Por ello, la pregunta relevante no es solo cuánto se desplaza la frontera eficiente cuando se impone una meta de *score*, sino si parte de esa pérdida se compensa con un menor riesgo de cola, medido aquí mediante *Value-at-Risk* (VaR) y pérdida esperada (ES).

En este estudio, la referencia no es un índice de mercado ni un umbral absoluto de sostenibilidad. Se toma como *benchmark* interno el portafolio de mínima varianza sin restricción de *score*, construido con el mismo universo filtrado y las mismas restricciones de peso. El *score* de ese portafolio funciona como punto de partida para elevar, por separado, los puntajes ambiental (E), social (S), de gobernanza (G) y ESG agregado. Los objetivos T25, T50 y T75 se definen como fracciones exactas del margen factible de mejora del *score* respecto de esa referencia, lo que permite comparar restricciones homogéneas entre dimensiones.

La literatura relevante converge en dos frentes. El primero examina qué ocurre con el problema de portafolios cuando, además de la relación media-varianza, se incorporan objetivos de sostenibilidad. Pedersen et al. [1] formalizan esta intuición mediante una ESG-efficient frontier, mientras que Xidonas y Essner [2] muestran que la construcción de portafolios ESG es un problema naturalmente multiobjetivo, en el que rendimiento, riesgo y sostenibilidad deben balancearse de manera conjunta.

En un plano más general, Amel-Zadeh y Serafeim [3] documentan que los inversionistas utilizan información ESG por su relevancia para desempeño y riesgo, aunque enfrentan problemas persistentes de comparabilidad y confiabilidad, y Gillan et al. [4] subrayan que sus implicaciones económicas no se reducen a una prima única de sostenibilidad.

El segundo frente pregunta si ESG importa para el riesgo a la baja y, en particular, para la cola de pérdidas. Bax et al. [5] muestran que los *scores* ESG contienen información sobre dependencia y dependencia de cola, incluso al distinguir los pilares E, S y G. Hoepner et al. [6] encuentran que el *engagement* en temas ESG puede reducir el *downside risk*, mientras que la evidencia en episodios de estrés es mixta: Albuquerque et al. [7] y Broadstock et al. [8] documentan resiliencia relativa en determinados contextos, pero Lashkaripour [9] y Lööf et al. [10] muestran que mejores calificaciones ESG no garantizan una reducción general del *tail risk* y pueden acompañarse de menor *upside potential*. En la misma línea, Zhang et al. [11] relacionan las calificaciones ESG con medidas implícitas de riesgo de cola.

Sobre esa base, la brecha de investigación es concreta. La literatura rara vez compara, dentro del mismo país-año, con el mismo universo filtrado y las mismas restricciones de peso, qué ocurre cuando la restricción se impone por separado sobre E, S, G y ESG agregado.

Tampoco suele contrastar, dentro de una misma arquitectura de portafolio, el costo media-varianza de elevar el *score* con el comportamiento de VaR y ES dentro y fuera de muestra. Por ello, el objetivo del estudio es evaluar si restricciones de sostenibilidad centradas en el portafolio de mínima varianza generan efectos diferenciados sobre la frontera eficiente y el riesgo de cola de portafolios accionarios mexicanos.

METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque metodológico cuantitativo y de carácter empírico, apoyado en un diseño longitudinal de panel. El marco analítico se fundamenta de manera dual: por un lado, utiliza la teoría de optimización media-varianza para la construcción estructurada de los portafolios; por el otro, emplea técnicas de medición de riesgo de cola asimétrico para evaluar los efectos económicos de la imposición de restricciones de sostenibilidad.

Datos. La evidencia empírica se construyó a partir de datos tomados de Bloomberg de emisoras listadas en México y se implementó por separado para las dimensiones ambiental (E), social (S), de gobernanza (G) y ESG agregado. La ventana de rendimientos comprendió de enero de 2012 a diciembre de 2024 y los años de formación de portafolio abarcan de 2017 a 2024. Los rendimientos se trabajaron con frecuencia mensual y los *scores* se rezagaron para que la formación del portafolio en el año t utilizara exclusivamente información disponible al cierre de $t-1$. El universo invertible se depuró en tres etapas: i) se excluyeron índices y se conservó una sola clase de acción por emisor; ii) se eliminaron emisoras con rendimientos simples mensuales extremos superiores a 300 % o inferiores a -80 %; y iii) un ticker-año solo era elegible si contaba con al menos 36 observaciones en la ventana de estimación, 12 de 12 meses observables en el año de evaluación y *score* disponible para la dimensión correspondiente.

La **Figura 1** resume el contexto de mercado de la muestra. El S&P/BMV IPC presentó una tendencia creciente de largo plazo entre 2012 y 2024, interrumpida por correcciones periódicas y, en particular, por la caída abrupta asociada al choque del COVID-19 en 2020, seguida de una recuperación que llevó al índice a nuevos máximos en 2023-2024. A su vez, la volatilidad móvil de 12 meses fue relativamente baja al inicio del período, aumentó desde 2018 y alcanzó sus niveles más altos durante y después del episodio pandémico, lo que justificó complementar el análisis media-varianza con métricas de riesgo de cola.



Figura 1. Contexto del mercado accionario mexicano (2012-2024). El panel superior muestra el nivel del S&P/BMV IPC en puntos y el inferior la volatilidad móvil de 12 meses de los rendimientos mensuales.

Después de la depuración estructural, la muestra conservó 35 emisoras únicas en el periodo 2017-2024. No obstante, la elegibilidad anual fue menor al inicio de la ventana: 27 firmas entre 2017 y 2020, 29 en 2021 y 35 entre 2022 y 2024; esta trayectoria fue idéntica en las corridas de E, S, G y ESG. En promedio, la ventana de estimación aportó 53.7 observaciones mensuales en 2017 y alcanzó 60.0 observaciones en 2023-2024, mientras que la ventana de evaluación cumple 12 meses completos desde 2018.

La **Tabla 1** resume la distribución agregada de los *scores* en la muestra filtrada. La heterogeneidad entre dimensiones fue marcada: gobernanza exhibió la media más alta (3.774) y la menor dispersión, medida por la desviación estándar (DE = 0.786), mientras que los *scores* ambiental y social presentaron medias más bajas (2.648 y 2.775) y dispersión considerablemente mayor (DE = 2.145 y 1.987). El *score* ESG agregado ocupó una posición intermedia, con media de 2.945 y DE = 1.343. Estos descriptivos fueron sustantivos para la identificación, porque la dispersión específica de cada *score* condicionó el costo económico de imponer metas centradas en el *benchmark* interno.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos agregados de los *scores* E, S, G y ESG en la muestra filtrada, 2017-2024.

Dimensión	N firmas únicas	N firma-año	Media	DE	Mín.	P25	Mediana	P75	Máx.
E	35	242	2.648	2.145	0.000	0.610	2.445	4.013	8.070
S	35	242	2.775	1.987	0.000	1.170	2.525	3.960	8.220
G	35	242	3.774	0.786	1.710	3.283	3.730	4.410	5.590
ESG	35	242	2.945	1.343	0.420	1.802	3.035	3.950	6.100

Nota: “N firmas únicas” corresponde al número de emisoras distintas observadas al menos una vez en la muestra filtrada entre 2017 y 2024; “N firma-año” corresponde al total de observaciones elegibles firma-año agregadas del periodo.

Construcción de portafolios. Sea $w_t \in \mathbb{R}^{N_t}$ el vector de pesos del año t , Σ_t la matriz de covarianzas estimada con la ventana de entrenamiento y $q_{s,t}$ el vector de puntajes de sostenibilidad en la dimensión $s \in \{E, S, G, ESG\}$. El *benchmark* interno BM se define como el portafolio de mínima varianza:

$$w_t^{BM} = \arg \min_{w_t} w_t' \Sigma_t w_t \quad (1)$$

sujeto a:

$$\begin{aligned} 1' w_t &= 1, 0 \leq w_{i,t} \leq \bar{w}, \\ i &= 1, \dots, N_t. \end{aligned} \quad (2)$$

La restricción $0 \leq w_{i,t} \leq \bar{w}$ implica ausencia de ventas en corto y cotas homogéneas de participación por activo.

El *score* del benchmark en la dimensión s se define como:

$$S_{BM,s,t} = q'_{s,t} w_t^{BM}. \quad (3)$$

Bajo el mismo conjunto factible, el puntaje máximo alcanzable en cada dimensión se obtiene de

$$S_{max,s,t} = \max_{w_t} q'_{s,t} w_t \text{ sujeto a (2)}. \quad (4)$$

A partir de esta referencia, la meta comparable para cada dimensión y nivel de exigencia se define como:

$$S^{*(s,\lambda)} = S(BM, s) + \lambda(S_{max,s} - S_{BM,s}), \\ \lambda \in \{0.25, 0.50, 0.75\} \quad (5)$$

Para cada combinación (s, λ) , el portafolio restringido se obtiene resolviendo nuevamente el problema de mínima varianza:

$$w_{s,\lambda,t}^* = \arg \min_{w_t} w_t' \Sigma_t w_t \quad (6)$$

sujeto a:

$$1'w_t = 1, 0 \leq w_{i,t} \leq \bar{w}, q'_{s,t} w_t = S_{s,\lambda,t}^*. \quad (7)$$

Esta parametrización expresa la severidad de la restricción como una fracción exacta del margen factible de mejora del *score* y permite comparaciones homogéneas entre dimensiones.

Evaluación fuera de muestra y medición del riesgo de cola. La evaluación fuera de muestra sigue un esquema de ventana móvil. En cada fecha de rebalanceo, los parámetros se estiman con la ventana histórica de entrenamiento y los pesos resultantes se aplican al siguiente período de evaluación. El retorno realizado del portafolio se define como:

$$r_{p,t+1} = (w_{s,\lambda,t}^*)' r_{t+1}, \quad (8)$$

y la pérdida correspondiente como:

$$L_{p,t+1} = -r_{p,t+1}. \quad (9)$$

El desempeño fuera de muestra se resume mediante el retorno medio y volatilidad realizados. El riesgo de cola se evalúa con VaR y ES bajo dos especificaciones paramétricas: Normal, como referencia base, y Gram–Charlier, para permitir asimetría y exceso de curtosis en la distribución de pérdidas. Fuera de muestra, la calibración del VaR se examina mediante el indicador de excedencia:

$$I_{t+1} = 1\{L_{p,t+1} > VaR_{\alpha,t+1}\}, \quad (10)$$

mientras que la severidad observada de las pérdidas extremas se resume con el ES empírico:

$$ES_{\alpha}^{emp} = \frac{\sum_{t=1}^T L_{p,t} I_t}{\sum_{t=1}^T I_t}. \quad (11)$$

Lógica de identificación. La identificación es relativa al *benchmark BM* y específica por dimensión de *score*.

Para cada año, todos los portafolios se construyen sobre el mismo universo filtrado de activos, con la misma ventana de estimación y las mismas restricciones de peso. En consecuencia, la diferencia entre un portafolio restringido y *BM* puede atribuirse a la meta de sostenibilidad impuesta y no a cambios en la muestra, en el horizonte temporal o en la regla de construcción. Cuando una meta no es factible bajo el conjunto de restricciones vigente, dicha observación se registra como infactible y se excluye de la comparación correspondiente.

RESULTADOS

Desplazamiento de la frontera eficiente y riesgo de cola dentro de muestra. Los ejercicios dentro de muestra se calcularon para los años 2017-2024; para mantener la exposición compacta, el texto principal ilustra con detalle 2024, el último año de formación del portafolio. **La Figura 2** muestra que imponer metas sobre E, S, G y ESG desplazó la frontera eficiente respecto de *BM*, pero no con la misma intensidad. La contracción es relativamente contenida en gobernanza, mientras que ambiental y ESG agregado desplazaron el tramo eficiente hacia regiones de mayor riesgo cuando la meta se endureció.

La **Tabla 2** cuantifica ese patrón y muestra que la heterogeneidad se extiende al riesgo de cola. En gobernanza, el endurecimiento de la restricción desde *BM* hasta T75 elevó el retorno esperado de 0.91 % a 1.23 %, con un aumento de riesgo de 3.46 % a 4.24 %, mientras que el VaR y el ES de Gram-Charlier pasaron de 4.61 % y 5.65 % a 5.19 % y 6.37 %. En ambiental, el desplazamiento es mucho más costoso: T75 llevó el riesgo a 5.20 % y el ES a 11.09 %. Social ocupó una posición intermedia, y ESG agregado reprodujo una pendiente de cola cercana a ambiental en metas altas. La **Figura 3** refuerza esta lectura al mostrar la trayectoria completa de dosis-respuesta: gobernanza presenta la pendiente más plana de VaR y ES a medida que creció la proporción de mejora factible del *score*, mientras que ambiental y ESG aceleraron con mayor rapidez cuando la meta superó niveles moderados.

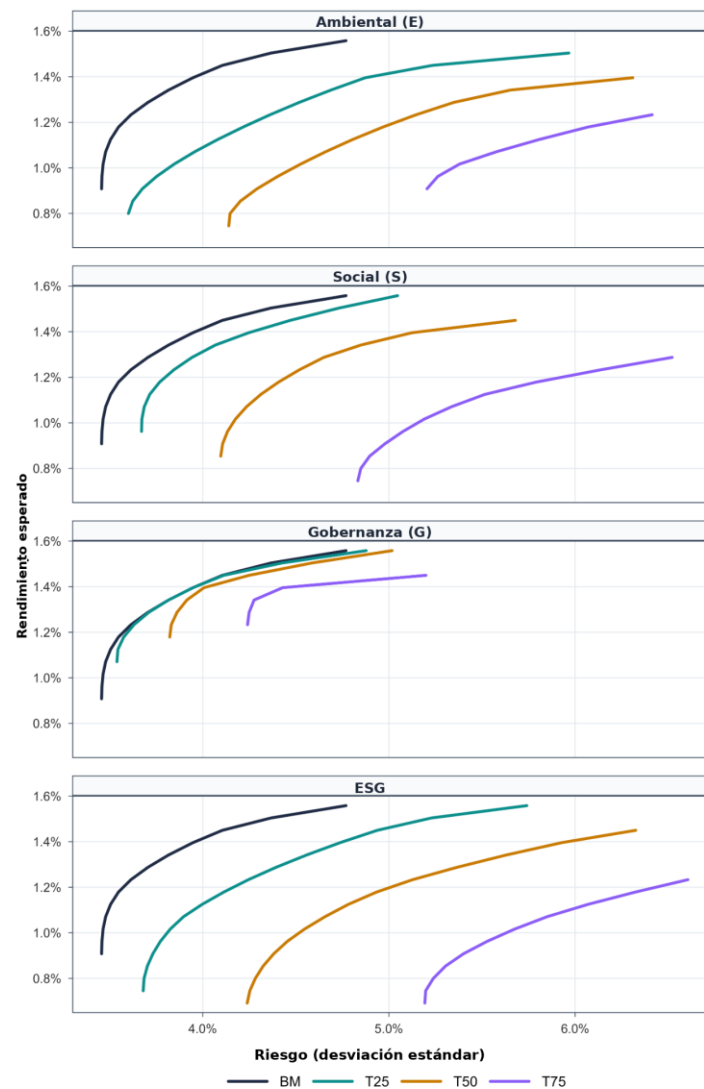


Figura 2. Frontera eficiente media-desviación estándar dentro de muestra para México, reportada por separado para restricciones sobre los *scores* E, S, G y ESG. Se muestra únicamente el tramo eficiente.

Tabla 2. Resumen dentro de muestra para 2024 del portafolio de mínima varianza (BM) y de los objetivos centrados en BM en México.

Pilar	Portafolio	Retorno esperado	Riesgo (DE)	VaR GC (5%)	ES GC (5%)	Score objetivo
E	BM	0.91%	3.46%	4.61%	5.65%	
E	T25	0.80%	3.60%	4.81%	5.79%	3.860
E	T50	0.75%	4.14%	5.64%	7.21%	4.742
E	T75	0.91%	5.20%	7.60%	11.09%	5.624
S	BM	0.91%	3.46%	4.61%	5.65%	

Pilar	Portafolio	Retorno esperado	Riesgo (DE)	VaR GC (5%)	ES GC (5%)	Score objetivo
S	T25	0.96%	3.67%	4.89%	6.05%	3.781
S	T50	0.85%	4.10%	5.77%	7.21%	4.758
S	T75	0.75%	4.83%	7.19%	9.21%	5.734
G	BM	0.91%	3.46%	4.61%	5.65%	
G	T25	1.07%	3.54%	4.54%	5.60%	4.210
G	T50	1.18%	3.82%	4.72%	5.82%	4.439
G	T75	1.23%	4.24%	5.19%	6.37%	4.668
ESG	BM	0.91%	3.46%	4.61%	5.65%	
ESG	T25	0.75%	3.68%	5.11%	6.20%	3.675
ESG	T50	0.69%	4.24%	6.19%	7.56%	4.208
ESG	T75	0.69%	5.19%	8.08%	10.43%	4.741

Nota: BM corresponde al portafolio de mínima varianza sin restricción de score; por ello sus valores se repiten en las cuatro dimensiones.

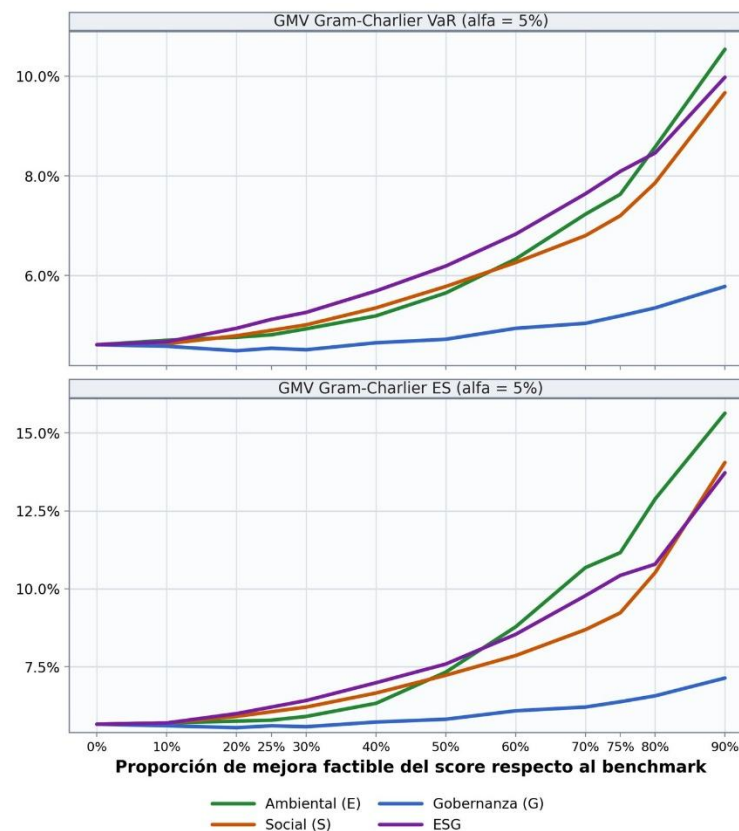


Figura 3. Relación dosis-respuesta entre la proporción de mejora factible del score respecto del benchmark y el VaR y ES de Gram-Charlier del portafolio de mínima varianza en México con $\alpha = 5\%$.

Rendimiento realizado y riesgo de cola fuera de muestra. La **Tabla 3** resume la evidencia fuera de muestra con las métricas estrictamente necesarias para la pregunta del artículo: retorno medio realizado, desviación estándar realizada, frecuencia observada de violaciones del VaR de Gram-Charlier al 5 % y ES empírico. El patrón principal no fue una mejora general del riesgo de cola, sino una respuesta dependiente del pilar y de la intensidad de la meta. Gobernanza ofreció el balance más favorable: T25 y T50 elevaron el retorno medio a 0.22 % y 0.28 %, con riesgo de 4.12 % y 4.27 %, y mantuvieron el ES empírico prácticamente estable en 8.60 %.

En ambiental, T25 redujo marginalmente el ES empírico a 8.42 %, pero T50 y T75 lo elevaron a 9.46 % y 12.05 %. En social, la mejora no apareció ni en retorno ni en cola, y T75 empeoró tanto el rendimiento como el ES empírico. ESG agregado mostró un comportamiento intermedio: T25 y T50 preservaron parcialmente la cola, pero T75 aumentó el ES empírico a 11.57 %. La información de VaR fuera de muestra debe interpretarse como evidencia de calibración y no como una medida directa de pérdidas realizadas.

Las tasas de violación disminuyen en varias combinaciones cuando la restricción se endurece, pero el anexo muestra que el VaR de Gram-Charlier sigue subestimando la cola en muchas de ellas. Por eso, la lectura financiera principal descansa en el ES empírico: solo algunas metas moderadas preservaron o redujeron ligeramente la severidad de las pérdidas extremas, mientras que las metas estrictas tendieron a empeorar la cola en las cuatro dimensiones.

Tabla 3. Evidencia fuera de muestra para México: retorno realizado, riesgo y cola observada por dimensión de score y objetivo centrado en BM.

Pilar	Portafolio	Retorno medio	Riesgo (DE)	Violaciones VaR GC (5%)	ES empírico	Δ ES empírico vs BM
E	BM	0.11%	4.16%	14.6%	8.66%	0.00%
E	T25	0.14%	4.23%	12.5%	8.42%	-0.24%
E	T50	0.23%	4.33%	7.3%	9.46%	0.80%
E	T75	0.31%	5.04%	7.3%	12.05%	3.39%
S	BM	0.11%	4.16%	14.6%	8.66%	0.00%
S	T25	0.08%	4.21%	12.5%	8.28%	-0.38%
S	T50	0.06%	4.29%	8.3%	8.65%	-0.01%
S	T75	-0.10%	5.00%	10.4%	11.22%	2.56%
G	BM	0.11%	4.16%	14.6%	8.66%	0.00%
G	T25	0.22%	4.12%	11.5%	8.60%	-0.06%
G	T50	0.28%	4.27%	11.5%	8.60%	-0.06%

Pilar	Portafolio	Retorno medio	Riesgo (DE)	Violaciones VaR GC (5%)	ES empírico	Δ ES empírico vs BM
G	T75	0.28%	4.59%	7.3%	9.18%	0.52%
ESG	BM	0.11%	4.16%	14.6%	8.66%	0.00%
ESG	T25	0.10%	4.17%	12.5%	8.17%	-0.49%
ESG	T50	0.13%	4.33%	9.4%	8.55%	-0.11%
ESG	T75	0.05%	5.12%	7.3%	11.57%	2.91%

Nota: La tasa de violaciones corresponde a excedencias observadas del VaR de Gram-Charlier con $\alpha = 5\%$ evaluado fuera de muestra y se reporta como indicador de calibración; el ES empírico resume la severidad observada de las pérdidas extremas. BM se repite porque el portafolio de referencia es común a los cuatro casos.

DISCUSIÓN

Los resultados son consistentes con la lógica del modelo media-varianza y con la literatura sobre fronteras eficientes con restricciones ESG: al imponer una restricción adicional de *score*, el conjunto

factible se reduce y la frontera eficiente se desplaza hacia adentro [1,2]. Sin embargo, el desplazamiento no fue uniforme entre pilares. En México, la restricción sobre gobernanza generó el menor deterioro conjunto de retorno esperado, desviación estándar, VaR y ES dentro de muestra, mientras que las restricciones sobre ambiental y, en metas altas, sobre ESG agregado implicaron el mayor costo en eficiencia y en riesgo de cola. Esta evidencia refuerza la idea de que el *score* compuesto no resume adecuadamente la heterogeneidad económica entre pilares.

Desde la perspectiva del riesgo de cola, los hallazgos dialogan mejor con la literatura que reporta resultados mixtos que con la idea de una reducción universal del downside risk asociada con ESG. Bax et al. [5] muestran que los *scores* ESG contienen información sobre dependencia de cola, Hoepner et al. [6] encuentran que el *engagement* ESG puede reducir el downside risk, pero Lashkaripour [9], Löff et al. [10] y Zhang et al. [11] documentan que la relación entre ESG y riesgo de cola depende de la métrica, del episodio de mercado y de la dimensión considerada.

Los resultados del presente estudio se alinean con esa evidencia mixta: dentro de muestra, gobernanza preserva mejor VaR y ES en metas moderadas, mientras que ambiental, social y ESG incrementan el costo de cola cuando la restricción se endurece; fuera de muestra, solo algunas metas moderadas preservan o reducen marginalmente el ES empírico, mientras que las metas estrictas deterioran las pérdidas extremas en las cuatro dimensiones.

En términos aplicados, el hallazgo relevante no es que "más sostenibilidad" mejore o empeore en general el riesgo de cola, sino que el efecto depende del pilar restringido y de la intensidad de la meta.

Para gestores de portafolio, comités de inversión e inversionistas institucionales con mandatos sostenibles en México, esto implica que las metas sobre gobernanza parecen ser las más compatibles con la preservación relativa del perfil de cola, mientras que metas agresivas sobre ambiental o sobre el *score* ESG agregado exigen una mayor tolerancia a pérdidas extremas. En consecuencia, la evaluación de estrategias sostenibles debe combinar métricas media-varianza y medidas de cola, en lugar de descansar exclusivamente en un *score* compuesto.

CONCLUSIONES

Este trabajo se ocupa de evaluar cómo restricciones de sostenibilidad impuestas por separado sobre los puntajes ambiental (E), social (S), de gobernanza (G) y ESG agregado modifican la frontera eficiente y el riesgo de cola de portafolios accionarios mexicanos. Mediante una arquitectura centrada en el portafolio de mínima varianza sin restricción de *score*, y con metas definidas como fracciones exactas del margen factible de mejora, se encontró que el efecto de las restricciones no es uniforme entre dimensiones.

Dentro de muestra, la restricción sobre gobernanza fue la que menos deterioró la relación riesgo-rendimiento y la que mostró la menor sensibilidad de VaR y ES al endurecimiento de la meta; en cambio, las restricciones sobre ambiental y sobre el *score* ESG agregado incrementaron con mayor rapidez el riesgo de cola en metas exigentes. Fuera de muestra, no se encontró una reducción general del riesgo de cola: algunas metas moderadas preservaron o redujeron ligeramente el ES empírico, pero las metas estrictas empeoraron la severidad de las pérdidas extremas en las cuatro dimensiones.

En términos prácticos, los resultados son útiles para gestores de portafolio, comités de riesgo e inversionistas institucionales que incorporan criterios sostenibles en México, porque muestran que una misma mejora relativa del *score* no implica el mismo costo económico ni el mismo efecto sobre la cola de pérdidas.

El estudio tiene limitaciones que abren importantes líneas de investigación. En primer lugar, los resultados dependen de un solo mercado, un único proveedor de scores y una arquitectura específica de filtrado. Además, el modelo asume fricción cero, por lo que estudios posteriores deben incorporar costos de transacción, de impacto en el mercado y de rebalanceo para evaluar la viabilidad operativa de las metas más agresivas. Metodológicamente, el análisis se apoya en un enfoque estático de optimización media-varianza y expansiones paramétricas (Gram-Charlier); trabajos futuros podrían superar estas limitaciones empleando optimización dinámica de portafolios (por ejemplo, matrices de covarianza condicionales tipo GARCH o enfoques de Black-Litterman con perspectivas ESG). Asimismo, para capturar con mayor precisión las no linealidades extremas del mercado, resultaría valioso evaluar el fenómeno mediante la Teoría de Valores Extremos (EVT) o modelos de Cópuas para analizar la dependencia de cola asimétrica entre los activos sostenibles.

ANEXO

Se presentan las tablas necesarias para documentar la calibración ex post del riesgo de cola sin sobrecargar el texto principal. La **Tabla A1** reporta el *backtesting* formal del VaR al 5 % y la **Tabla A2** resume las brechas entre el ES empírico y las aproximaciones paramétricas.

Tabla A1. Resumen de backtesting de VaR en México con $\alpha = 5\%$, incluyendo las especificaciones Normal y Gram-Charlier.

Pilar	Portafolio	Modelo	Tasa de violaciones	p-valor UC	p-valor IND	p-valor CC	Diagnóstico
E	BM	Gram-Charlier	14.6%	0.000	0.959	0.002	subestimado
E	BM	Normal	14.6%	0.000	0.959	0.002	subestimado
E	T25	Gram-Charlier	12.5%	0.004	0.664	0.015	subestimado
E	T25	Normal	12.5%	0.004	0.206	0.008	subestimado
E	T50	Gram-Charlier	7.3%	0.333	0.073	0.125	no rechazado
E	T50	Normal	9.4%	0.078	0.225	0.101	no rechazado
E	T75	Gram-Charlier	7.3%	0.333	0.073	0.125	no rechazado
E	T75	Normal	7.3%	0.333	0.073	0.125	no rechazado
S	BM	Gram-Charlier	14.6%	0.000	0.959	0.002	subestimado
S	BM	Normal	14.6%	0.000	0.959	0.002	subestimado
S	T25	Gram-Charlier	12.5%	0.004	0.664	0.015	subestimado
S	T25	Normal	13.5%	0.001	0.320	0.004	subestimado
S	T50	Gram-Charlier	8.3%	0.170	0.682	0.358	no rechazado
S	T50	Normal	10.4%	0.032	0.345	0.065	subestimado
S	T75	Gram-Charlier	10.4%	0.032	0.345	0.065	subestimado

Pilar	Portafolio	Modelo	Tasa de violaciones	p-valor UC	p-valor IND	p-valor CC	Diagnóstico
S	T75	Normal	11.5%	0.012	0.493	0.034	subestimado
G	BM	Gram-Charlier	14.6%	0.000	0.959	0.002	subestimado
G	BM	Normal	14.6%	0.000	0.959	0.002	subestimado
G	T25	Gram-Charlier	11.5%	0.012	0.493	0.034	subestimado
G	T25	Normal	12.5%	0.004	0.206	0.008	subestimado
G	T50	Gram-Charlier	11.5%	0.012	0.493	0.034	subestimado
G	T50	Normal	12.5%	0.004	0.206	0.008	subestimado
G	T75	Gram-Charlier	7.3%	0.333	0.291	0.359	no rechazado
G	T75	Normal	8.3%	0.170	0.682	0.358	no rechazado
ESG	BM	Gram-Charlier	14.6%	0.000	0.959	0.002	subestimado
ESG	BM	Normal	14.6%	0.000	0.959	0.002	subestimado
ESG	T25	Gram-Charlier	12.5%	0.004	0.664	0.015	subestimado
ESG	T25	Normal	13.5%	0.001	0.320	0.004	subestimado
ESG	T50	Gram-Charlier	9.4%	0.078	0.225	0.101	no rechazado
ESG	T50	Normal	10.4%	0.032	0.345	0.065	subestimado
ESG	T75	Gram-Charlier	7.3%	0.333	0.073	0.125	no rechazado
ESG	T75	Normal	9.4%	0.078	0.225	0.101	no rechazado

Tabla A2. Resumen de pérdida esperada (ES) en México con $\alpha = 5\%$ bajo las aproximaciones Normal y Gram-Charlier.

Pilar	Portafolio	ES empírico	ES prom. (GC)	ES prom. (Normal)	Brecha: emp. - GC	Brecha: emp. - Normal
E	BM	8.66%	5.95%	5.50%	2.71%	3.15%
E	T25	8.42%	6.15%	5.75%	2.27%	2.67%
E	T50	9.46%	7.34%	6.58%	2.13%	2.89%
E	T75	12.05%	10.60%	8.19%	1.45%	3.86%
S	BM	8.66%	5.95%	5.50%	2.71%	3.15%
S	T25	8.28%	6.23%	5.81%	2.06%	2.47%
S	T50	8.65%	7.21%	6.63%	1.44%	2.02%
S	T75	11.22%	9.38%	8.16%	1.84%	3.06%
G	BM	8.66%	5.95%	5.50%	2.71%	3.15%
G	T25	8.60%	6.08%	5.56%	2.51%	3.04%
G	T50	8.60%	6.60%	5.99%	2.01%	2.61%
G	T75	9.18%	7.77%	6.90%	1.41%	2.28%
ESG	BM	8.66%	5.95%	5.50%	2.71%	3.15%
ESG	T25	8.17%	6.14%	5.75%	2.03%	2.41%
ESG	T50	8.55%	7.09%	6.51%	1.46%	2.04%
ESG	T75	11.57%	9.36%	7.97%	2.21%	3.60%

REFERENCIAS

- [1] Albuquerque R, Koskinen Y, Yang S, Zhang C. Resiliency of environmental and social stocks: An analysis of the exogenous COVID-19 market crash. *The Review of Corporate Finance Studies*. 2020;9(3):593-621. doi:10.1093/rcfs/cfaa011.
- [2] Amel-Zadeh A, Serafeim G. Why and how investors use ESG information: Evidence from a global survey. *Financial Analysts Journal*. 2018;74(3):87-103. doi:10.2469/faj.v74.n3.2.
- [3] Bax K, Sahin Ö, Czado C, Paterlini S. ESG, risk, and (tail) dependence. *International Review of Financial Analysis*. 2023;87:102513. doi:10.1016/j.irfa.2023.102513.

- [4] Broadstock DC, Chan K, Cheng LTW, Wang XW. The role of ESG performance during times of financial crisis: Evidence from COVID-19 in China. *Finance Research Letters*. 2021;38:101716. doi:10.1016/j.frl.2020.101716.
- [5] Gillan SL, Koch A, Starks LT. Firms and social responsibility: A review of ESG and CSR research in corporate finance. *Journal of Corporate Finance*. 2021;66:101889. doi:10.1016/j.jcorpfin.2021.101889.
- [6] Hoepner AGF, Oikonomou I, Sautner Z, Starks LT, Zhou XY. ESG shareholder engagement and downside risk. *Review of Finance*. 2024;28(2):483-510. doi:10.1093/rof/rfad034.
- [7] Lashkaripour M. ESG tail risk: The Covid-19 market crash analysis. *Finance Research Letters*. 2023;53:103598. doi:10.1016/j.frl.2022.103598.
- [8] Lööf H, Sahamkhadam M, Stephan A. Is corporate social responsibility investing a free lunch? The relationship between ESG, tail risk, and upside potential of stocks before and during the COVID-19 crisis. *Finance Research Letters*. 2022;46:102499. doi:10.1016/j.frl.2021.102499.
- [9] Pedersen LH, Fitzgibbons S, Pomorski L. Responsible investing: The ESG-efficient frontier. *Journal of Financial Economics*. 2021;142(2):572-597. doi:10.1016/j.jfineco.2020.11.001.
- [10] Xidonas P, Essner E. On ESG portfolio construction: A multi-objective optimization approach. *Computational Economics*. 2024;63(1):21-45. doi:10.1007/s10614-022-10327-6.
- [11] Zhang J, De Spiegeleer J, Schoutens W. Implied tail risk and ESG ratings. *Mathematics*. 2021;9(14):1611. doi:10.3390/math9141611.