



Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

Inversión en Activos Verdes y Formación de Burbujas Financieras: un Análisis de Empresas e Índices ESG

Autor: Nicola Masotti Villanueva

Director: Isabel Catalina Figuerola Ferretti

MADRID | Mayo 2026

Resumen

El presente Trabajo de Fin de Grado analiza empíricamente la posible existencia de burbujas financieras en una selección de activos del sector de energía limpia durante el período enero de 2015 a diciembre de 2024. Para ello se aplica el test GSADF (*Generalized Supremum Augmented Dickey-Fuller*) de (Phillips, Shi, y Yu, 2015) a seis series de ratios precio/S&P 500: los índices CEXX y SPCE como representantes del sector verde, y cuatro acciones individuales, First Solar (FSLR), Enphase Energy (ENPH), Plug Power (PLUG) y Ormat Technologies (ORA). Los datos proceden de (FactSet Research Systems, 2026) y el análisis se implementa en R mediante el paquete *exuber* con 2.000 réplicas de Monte Carlo.

Los resultados revelan comportamiento explosivo en cuatro de las seis series. Ambos índices verdes presentan estadísticos GSADF significativos al 99 % (CEXX: 8,012; SPCE: 4,007), al igual que ENPH (5,753) y PLUG (12,225), mientras que FSLR y ORA no superan ningún umbral crítico convencional. El fechado mediante el estadístico BSADF sitúa el episodio explosivo entre mayo de 2020 y diciembre de 2020 para el CEXX, y entre julio y noviembre de 2020 para el SPCE, coincidiendo con la victoria de Biden en las elecciones presidenciales estadounidenses y el entorno de tipos de interés excepcionalmente bajos derivado de la respuesta monetaria a la pandemia de COVID-19. Se concluye que el período 2020–2021 constituyó una burbuja especulativa en el sector de energía limpia, alimentada por tipos excepcionalmente bajos, flujos masivos de capital ESG y la narrativa política de la transición energética, y que su colapso se precipitó con el inicio del ciclo de subidas de tipos de la Reserva Federal en marzo de 2022.

Palabras clave: burbujas financieras, activos verdes, energía limpia, inversión ESG, test GSADF, comportamiento explosivo, date-stamping, transición energética.

Abstract

This thesis empirically investigates the existence of financial bubbles in a selection of clean energy assets over the period January 2015 to December 2024. The Generalized Supremum Augmented Dickey-Fuller (GSADF) test of (Phillips et al., 2015) is applied to six price-to-S&P 500 ratio series: the CEXX and SPCE indices as representatives of the green sector, and four individual stocks, First Solar (FSLR), Enphase Energy (ENPH), Plug Power (PLUG) and Ormat Technologies (ORA). Prices are sourced from (FactSet Research Systems, 2026) and the analysis is implemented in R using the *exuber* with 2,000 Monte Carlo replications.

The results provide strong evidence of explosive behaviour in four of the six series. Both green indices yield GSADF statistics significant at the 99 % level (CEXX: 8.012; SPCE: 4.007), as do ENPH (5.753) and PLUG (12.225), while FSLR and ORA do not exceed any conventional critical threshold. Date-stamping via the BSADF statistic places the explosive episode between May 2020 and December 2020 for the CEXX, and between July and November 2020 for the SPCE, coinciding with Biden's victory in the US presidential election and the exceptionally low interest rate environment resulting from the monetary policy response to the COVID-19 pandemic. The study concludes that the 2020–2021 period represented a speculative bubble in the clean energy sector, driven by exceptionally low interest rates, massive ESG capital flows and the political narrative of the energy transition, and that its collapse was precipitated by the Federal Reserve's rate-hiking cycle beginning in March 2022.

Keywords: financial bubbles, green assets, clean energy, ESG investing, GSADF test, explosive behaviour, date-stamping, energy transition.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos del Trabajo de Grado	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos específicos	5
1.3. Organización de la memoria	6
2. Técnicas para el análisis de burbujas financieras: Revisión de la literatura	7
3. Metodología	15
3.1. Selección de la muestra, criterios de inclusión y fuentes de datos	17
3.2. Construcción de las series de análisis	21
3.3. Análisis descriptivo	23
3.4. Pretesting de estacionariedad	24
3.5. El test GSADF: formulación econométrica	24
3.6. Estrategia de date-stamping	27
3.7. Análisis de robustez	27
4. Resultados	29
4.1. Resultados del análisis descriptivo	29
4.2. Resultados del pretesting ADF	32
4.3. Resultados del GSADF para los índices verdes	33
4.4. Resultados del GSADF para las acciones individuales	35
4.5. Interpretación económica de los episodios detectados	37
4.6. Análisis de robustez	40
5. Conclusiones	42
5.1. Principales hallazgos	42
5.2. Limitaciones del análisis	44
5.3. Líneas de investigación futura	44

Índice de figuras

1.1. Evolución de las emisiones globales de CO2. Fuente: (EpData, 2024). Elaboración propia	2
1.2. Activos sostenibles bajo gestion, USD Billones. Fuente: (Morgan Stanley Investment Management, 2025)	3
1.3. Evolución comparativa del S&P Global Clean Energy Index (azul) frente al S&P 500 (naranja), 2016-2026. Datos normalizados en porcentaje. Fuente: Elaboración propia a partir de (FactSet Research Systems, 2026).	3
3.1. Esquema del flujo metodológico del análisis. Elaboración propia.	16
4.1. Evolución de precios en base 100 (enero 2015 = 100). Fuente: elaboración propia a partir de FactSet (FactSet Research Systems, 2026).	30
4.2. Evolución del ratio Price-to-Sales histórico (P/S LTM). Fuente: elaboración propia a partir de FactSet (FactSet Research Systems, 2026).	32
4.3. Matriz de correlaciones de retornos mensuales logarítmicos. Verde: correlación elevada. Rojo: correlación reducida. Fuente: elaboración propia a partir de FactSet (FactSet Research Systems, 2026).	32
4.4. Date-stamping BSADF — Índices verdes (CEXX y SPCE). Línea azul: estadístico BSADF. Línea roja discontinua: valor crítico al 95 %. Zona sombreada en rojo: episodio explosivo. Fuente: elaboración propia.	34
4.5. Date-stamping BSADF — Acciones individuales (FSLR, ENPH, PLUG, ORA). Línea azul: estadístico BSADF. Línea roja discontinua: valor crítico al 95 %. Zona sombreada en rojo: episodio explosivo. Fuente: elaboración propia.	36

Índice de tablas

2.1. Resumen de los principales estudios sobre detección de burbujas financieras y activos verdes.	12
3.1. Basket de acciones individuales seleccionadas	20
4.1. Retornos acumulados por subperíodos (%)	30
4.2. Estadísticos descriptivos de los retornos mensuales logarítmicos (%) . . .	31
4.3. Resultados del pretesting ADF (hipótesis nula: raíz unitaria)	33
4.4. Resultados del test GSADF — Índices verdes	33
4.5. Fechas de los episodios de comportamiento explosivo — Índices verdes .	34
4.6. Resultados del test GSADF — Acciones individuales	35
4.7. Fechas de los episodios de comportamiento explosivo — Acciones individuales	36
4.8. Análisis de robustez: resultados con $r_0^{\text{alt}} = 1,5 \times r_0$	41

Acrónimos

ADF	Augmented Dickey-Fuller
AIC	Criterio de Información de Akaike
AUM	Assets Under Management
BSADF	Backward Supremum Augmented Dickey-Fuller
CEXX	NASDAQ Clean Edge Green Energy Index
COP	Conference of the Parties
ENPH	Enphase Energy, Inc.
ESG	Environmental, Social and Governance
ETF	Exchange-Traded Fund
Fed	Reserva Federal de Estados Unidos
FSLR	First Solar, Inc.
GSADF	Generalized Supremum Augmented Dickey-Fuller
ICLN	iShares Global Clean Energy ETF
IEA	International Energy Agency
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRA	Inflation Reduction Act
ITC	Investment Tax Credit
NYSE	New York Stock Exchange
ORA	Ormat Technologies, Inc.
P/E	Price-to-Earnings ratio
P/S	Price-to-Sales ratio
PLUG	Plug Power, Inc.
PTC	Production Tax Credit
REIT	Real Estate Investment Trust
SADF	Supremum Augmented Dickey-Fuller
SFDR	Sustainable Finance Disclosure Regulation
SPCE	S&P Global Clean Energy Index
TFG	Trabajo de Fin de Grado
UE	Unión Europea

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

En las últimas décadas, el cambio climático se ha consolidado como uno de los principales retos a los que se enfrenta la sociedad. La evidencia científica afirma que las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas del uso intensivo de combustibles fósiles han elevado la temperatura media del planeta en torno a 1,5 °C respecto a los niveles preindustriales, comprometiendo la estabilidad de los ecosistemas y la seguridad de las poblaciones (IPCC, 2022). Ante este escenario, el Acuerdo de París de 2015 marcó un hito en la coordinación internacional al establecer el objetivo de limitar el calentamiento global por debajo de ese umbral, impulsando una reorganización de los sistemas energéticos, de transporte e industriales a escala mundial (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015). Como muestra la Figura 1.1, las emisiones globales de CO₂ han experimentado un crecimiento exponencial desde mediados del siglo XX.

Los recursos necesarios para hacer frente a la subida de emisiones de gases de efecto invernadero y alcanzar la neutralidad en carbono en 2050 son muy elevados. La Agencia Internacional de Energía estima que las inversiones anuales en energías limpias e infraestructuras sostenibles deberán ser superiores a 4 billones de dólares, lo que implica triplicar el nivel de inversión actual en el sector (International Energy Agency, 2021b). Esta cifra evidencia que la transición energética no puede sostenerse solo con fondos públicos, sino que es imprescindible la implicación del capital privado para lograr los objetivos climáticos establecidos en la Agenda 2030.

En este contexto, los criterios ambientales, sociales y de gobernanza, conocidos por sus siglas en inglés como criterios ESG, han emergido como el estándar de referencia dominante para dirigir la inversión privada hacia la economía sostenible. La aprobación del Reglamento de Taxonomía de la Unión Europea en 2020 supuso un punto de inflexión al establecer por primera vez un sistema de clasificación común que determina qué actividades económicas pueden considerarse medioambientalmente sostenibles, ofreciendo a

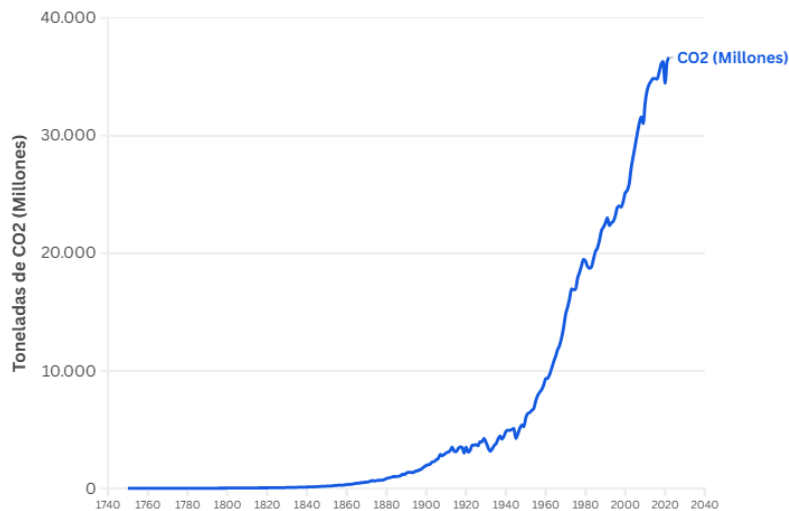


Figura 1.1: Evolución de las emisiones globales de CO2. Fuente: (EpData, 2024). Elaboración propia

empresas e inversores un lenguaje compartido para identificar y comparar inversiones verdes (Parlamento Europeo, 2020). Este marco regulatorio, que entró plenamente en vigor en enero de 2022, se complementó con el desarrollo del Reglamento de Divulgación de Finanzas Sostenibles (SFDR) y con la creciente presión sobre los grandes gestores de activos para integrar los riesgos climáticos en sus decisiones de inversión (Schütze y Stede, 2021).

En 2020, los activos gestionados bajo criterios ESG superaron los 35 billones de dólares según la definición amplia de la Global Sustainable Investment Alliance, lo que equivale a más de un tercio del total administrado a escala mundial (Bloomberg Media Studios y Mubadala, 2022). Esta cifra incluye cualquier estrategia de inversión que incorpore algún criterio de sostenibilidad, desde exclusiones sectoriales hasta integración ESG plena. Bajo una definición más estricta, que contempla únicamente fondos con objetivos de sostenibilidad explícitos y vinculantes, el Instituto para la Inversión Sostenible de Morgan Stanley estimaba los activos en fondos sostenibles en 4,13 billones de dólares a cierre de 2025 (Morgan Stanley Investment Management, 2025).

Este crecimiento ha tenido un reflejo directo en la evolución de los precios de los activos vinculados a la transición energética. Como se observa en la Figura 1.3, entre 2019 y principios de 2021, índices representativos del sector verde como el NASDAQ Clean Edge Green Energy (CEXX) o el S&P Global Clean Energy multiplicaron su valor entre tres y cinco veces en apenas dieciocho meses. Este auge se produjo en un contexto marcado por la pandemia de COVID-19, los programas de estímulo fiscal orientados a la recuperación verde y un entorno de tipos de interés excepcionalmente bajos que favoreció la búsqueda de activos de alto crecimiento.

Esta dinámica plantea una pregunta fundamental que está en el centro del presente

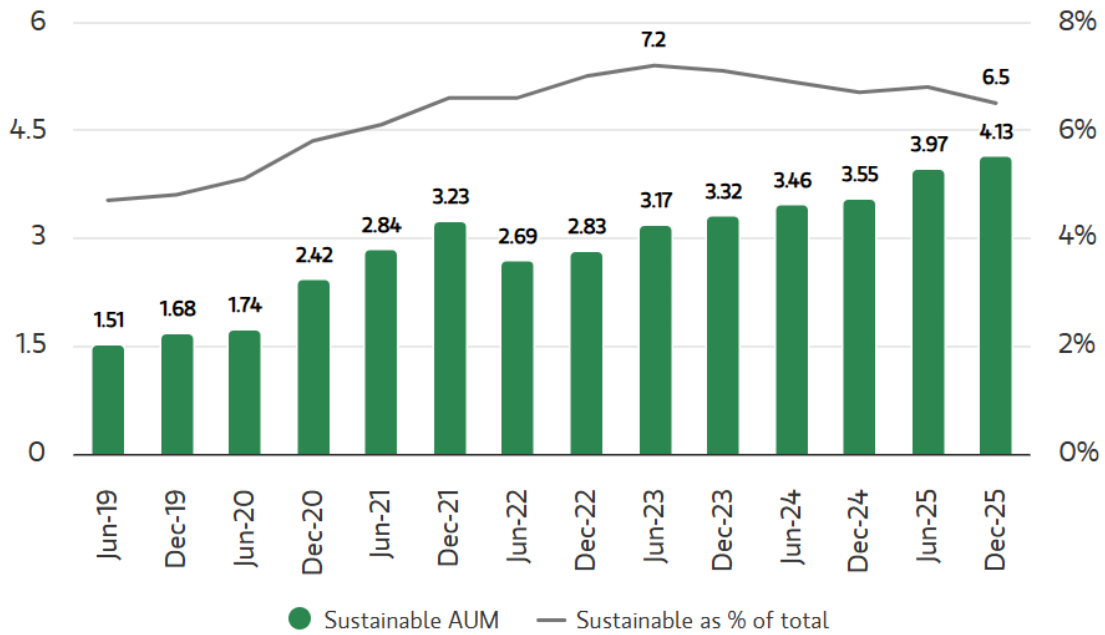


Figura 1.2: Activos sostenibles bajo gestion, USD Billones. Fuente: (Morgan Stanley Investment Management, 2025)

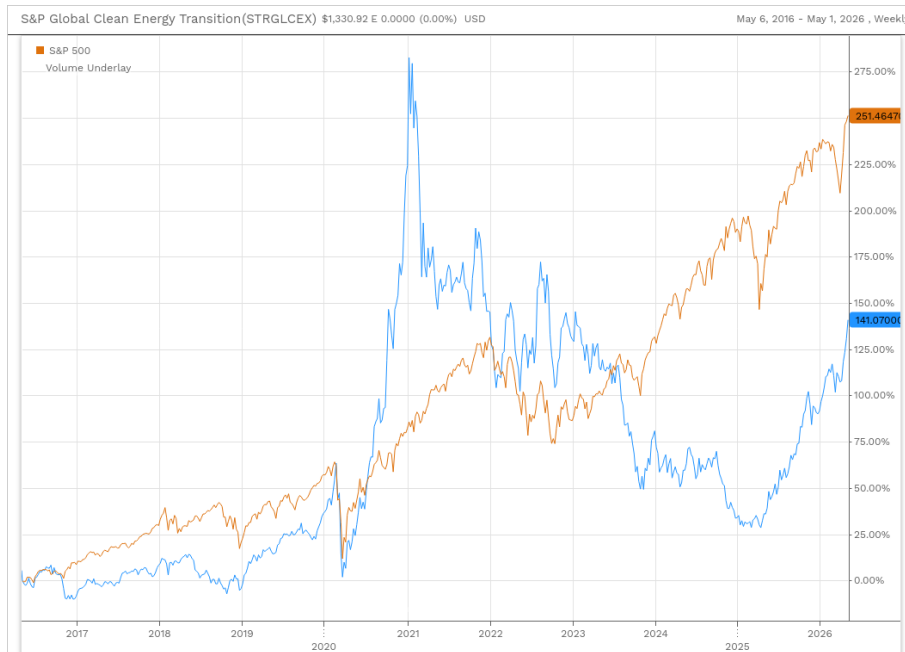


Figura 1.3: Evolución comparativa del S&P Global Clean Energy Index (azul) frente al S&P 500 (naranja), 2016-2026. Datos normalizados en porcentaje. Fuente: Elaboración propia a partir de (FactSet Research Systems, 2026).

trabajo: ¿nos encontramos ante una burbuja financiera de los activos verdes? Desde un punto de vista teórico, una burbuja se define como aquella situación en la que el precio de mercado de un activo se separa de forma persistente de su valor fundamental, sostenida principalmente por expectativas de revalorización futura más que por los fundamentos económicos subyacentes (Gürkaynak, 2008). La burbuja de las empresas puntocom de finales de los años noventa es el precedente más cercano y comparable en estructura: también entonces una tecnología genuinamente transformadora atrajo flujos masivos de capital que generaron valoraciones desconectadas de los fundamentales, culminando en un colapso que destruyó billones de dólares de riqueza entre 2000 y 2002 (Kindleberger y Aliber, 2005). Como señala Shiller (2015), los mercados pueden sostener durante periodos prolongados precios alejados de los fundamentales cuando una narrativa poderosa convence a los inversores de que esta vez es diferente. La transición energética reúne precisamente esas condiciones: una transformación tecnológica real, un marco regulatorio ambicioso que refuerza la narrativa, y flujos de capital de magnitud histórica hacia los activos beneficiarios.

Varios estudios han documentado este tipo de dinámicas en el mercado de activos verdes. Lehnert (2023) examina el comportamiento del mercado bursátil verde durante el periodo pospandemia e identifica patrones en la evolución de los ratios de valoración consistentes con la hipótesis de una burbuja especulativa. En particular, el autor observa que el incremento en los precios de los activos sostenibles no encuentra respaldo en una mejora equivalente de los fundamentales empresariales, y que la velocidad y magnitud de la revalorización presentan características similares a las observadas en episodios históricos de sobrevalorización sectorial. Sin embargo, la evidencia empírica no es concluyente. Pástor, Stambaugh, y Taylor (2021) argumentan que parte del incremento en las valoraciones de los activos ESG puede explicarse por cambios estructurales en las preferencias de los inversores: en la medida en que los activos verdes ofrecen una cobertura natural frente a riesgos climáticos de largo plazo, los inversores estarían dispuestos a aceptar menores rentabilidades esperadas a cambio de dicha cobertura, lo que se traduciría en precios más elevados sin implicar necesariamente una desconexión irracional de los fundamentales. La coexistencia de ambas interpretaciones hace que la distinción entre crecimiento legítimo y burbuja especulativa sea difícil de establecer sin herramientas econométricas apropiadas.

Esta ambigüedad adquiere una dimensión especialmente relevante cuando se considera el papel de los mercados financieros en la financiación de la transición energética. Una corrección brusca de los precios en el sector verde no sería un fenómeno neutral: podría deteriorar la confianza de los inversores en los activos sostenibles, encarecer el coste de capital para las empresas del sector en los mercados primarios, y ralentizar el flujo de inversión que la descarbonización requiere. Es decir, una crisis de credibilidad de la inversión ESG podría comprometer los plazos y la escala de la transición energética, con consecuencias que trascienden el ámbito financiero y afectan directamente al cumplimien-

to de los compromisos climáticos globales.

Desde el punto de vista metodológico, el análisis de burbujas financieras ha avanzado de forma significativa en las dos últimas décadas. El trabajo de Phillips et al. (2015) supuso un punto de inflexión al proponer el test GSADF (*Generalized Supremum Augmented Dickey-Fuller*), que permite identificar y fechar episodios de comportamiento explosivo en series temporales financieras ante la presencia de múltiples burbujas. Esta metodología ha sido aplicada recientemente por Basele, Phillips, y Shi (2025) al análisis del boom de la inteligencia artificial en el NASDAQ y las denominadas empresas del *Magnificent Seven*, confirmando la presencia de dinámicas especulativas significativas durante el periodo 2017-2025. Las similitudes metodológicas entre ese trabajo y el presente es directo: así como Basele et al. (2025) analizan si el boom de la IA ha generado precios desconectados de los fundamentales de mercado, este trabajo aplica la misma metodología para evaluar si los activos verdes ha seguido una dinámica comparable.

En este marco se sitúa el presente Trabajo de Fin de Grado. El objetivo es analizar empíricamente la posible existencia de burbujas financieras en una selección de índices y empresas del sector verde durante el periodo 2015-2024, combinando el análisis a nivel de índice, con el análisis a nivel de empresa individual que cumpla con criterios ESG, y utilizando el S&P 500 como referencia del mercado tradicional. Los datos de precios se obtendrán de FactSet, plataforma de datos financieros de referencia, y el análisis se implementará en R.

1.2. Objetivos del Trabajo de Grado

1.2.1. Objetivo General

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo general analizar empíricamente la posible existencia de burbujas financieras en los activos verdes durante el periodo 2015–2024, mediante la aplicación de los tests SADF y GSADF desarrollados por Phillips et al. (2015) a una selección de índices y empresas con criterios ESG, comparando los resultados obtenidos con el S&P 500 como referencia del mercado tradicional.

1.2.2. Objetivos específicos

- Definir y contextualizar el concepto de burbuja financiera, estableciendo el marco teórico necesario para su identificación en los mercados de activos verdes, mediante la revisión de la literatura académica sobre burbujas especulativas, inversión ESG y los principales enfoques econométricos de detección.
- Seleccionar y describir el conjunto de índices y empresas con criterios ESG que formarán parte del análisis, justificando los criterios de inclusión, el periodo temporal

considerado y las fuentes de datos empleadas, entre las que se incluye FactSet como plataforma principal de obtención de datos financieros.

- Analizar la evolución de precios y rendimientos de los activos verdes seleccionados, comparando su comportamiento con el S&P 500, con el fin de identificar posibles desviaciones respecto a los fundamentos económicos a través de métricas de valoración como el ratio precio-beneficio (P/E).
- Aplicar los tests SADF y GSADF de Phillips et al. (2015) a los índices y acciones seleccionados, con el fin de identificar y fechar posibles episodios de comportamiento explosivo en los activos verdes durante el periodo analizado, utilizando el ratio precio-índice para controlar la influencia de los fundamentales de mercado en las acciones individuales.
- Interpretar los resultados obtenidos evaluando sus implicaciones para inversores, reguladores y la estabilidad de los mercados financieros sostenibles, discutiendo si los episodios de explosividad detectados responden a fundamentos económicos sólidos o a dinámicas especulativas.

1.3. Organización de la memoria

La memoria de este trabajo se organiza en cinco capítulos principales. El capítulo 1 presenta la introducción, en la que se expone la motivación del estudio, se definen los objetivos planteados y se describe la estructura general del documento. El capítulo 2 desarrolla el marco teórico y el estado del arte, ofreciendo una revisión de los trabajos más relevantes sobre burbujas financieras en activos verdes, los fundamentos teóricos de la detección econométrica de burbujas y la evidencia empírica disponible sobre inversión ESG. En el capítulo 3 se detalla la metodología empleada, que comprende la selección y recopilación de datos financieros, el análisis descriptivo de precios y valoraciones, y la implementación de los tests SADF y GSADF en R. El capítulo 4 describe los resultados más significativos derivados del análisis realizado, incluyendo la identificación y fechado de los episodios de comportamiento explosivo detectados en los índices y acciones analizados. Finalmente, el capítulo 5 recoge las principales conclusiones del estudio, discute sus limitaciones y plantea posibles líneas de investigación futura.

Capítulo 2

Técnicas para el análisis de burbujas financieras: Revisión de la literatura

A lo largo de la historia financiera, los mercados han atravesado episodios de subidas rápidas en los precios de los activos, seguidas de grandes correcciones que han puesto de manifiesto la fragilidad de las valoraciones alcanzadas. La Railway Mania británica de la década de 1840, la burbuja de las empresas de radio en los años veinte del siglo pasado, la burbuja puntocom de finales de los noventa o el auge de la IA en la actualidad, tienen una estructura en común, una subida rápida en las valoraciones. Este patrón ha motivado una extensa literatura académica orientada a comprender teóricamente qué es una burbuja financiera y a desarrollar herramientas econométricas que permitan identificarla, antes de que se produzcan las correcciones. A continuación se revisan los principales estudios de esta literatura, desde los primeros enfoques basados en la volatilidad de precios hasta la metodología GSADF que constituye el enfoque adoptado en el presente trabajo.

Estos estudios parten de un concepto fundamental. Los precios de mercado de los activos, reflejan realmente el valor real de los activos o se encuentran desconectados del mismo. La teoría de los mercados eficientes, desarrollada por Fama (1970), sostiene que en mercados competitivos con inversores racionales los precios incorporan en todo momento toda la información disponible. Bajo este supuesto, una burbuja financiera, entendida como una desviación creciente de los precios respecto a los fundamentales, sería una anomalía difícil de sostener, pues los inversores racionales deberían arbitrarla.

El primer trabajo que ofreció evidencia de que los precios bursátiles exhiben una volatilidad muy superior a la que cabría esperar si reflejaran únicamente el valor presente de los dividendos futuros fue el de Shiller (1981). Mediante una comparación entre la varianza de los precios observados y la varianza de los precios teóricos calculados con información perfecta sobre dividendos futuros, Shiller demostró que los mercados oscilan mucho más de lo que justifican los fundamentos, fenómeno que denominó *exceso de volatilidad*. Este descubrimiento tuvo un gran impacto porque implicaba que factores ajenos a

los fundamentales, como las expectativas irracionales o el sentimiento de mercado, tienen un papel relevante en la formación de precios, abriendo el debate sobre la existencia de componentes especulativos en los mercados financieros.

Desde una perspectiva más teórica, Diba y Grossman (1988) fueron quienes formalizaron el concepto de burbuja racional. Plantean que el precio de un activo puede descomponerse en el valor fundamental, definido como el valor presente descontado de los flujos de caja futuros esperados, y en un componente de burbuja que refleja la expectativa de los inversores de que el precio seguirá aumentando al margen de dichos fundamentales. En este marco, si la burbuja existe, su trayectoria debe ser necesariamente explosiva, ya que el precio tiene que crecer en cada periodo a una tasa suficiente para compensar al inversor por mantener el activo. Esta dinámica divergente implica que la detección de comportamientos explosivos en la serie temporal de precios constituye una estrategia empírica adecuada para identificar episodios de sobrevaloración.

Gürkaynak (2008) llevó a cabo una revisión detallada del estado de la literatura, organizando los principales enfoques existentes en tres grandes grupos. El primero abarca los tests de varianza acotada, como los de Shiller (1981) y West (1987), que contrastan la varianza de los precios observados con la varianza máxima compatible con el modelo de valor fundamental. El segundo comprende los tests de estacionariedad y cointegración entre precios y dividendos, siguiendo el planteamiento de Diba y Grossman (1988), en ausencia de burbuja, precio y dividendo deben estar correlados, mientras que una burbuja explosiva rompe dicha relación. El tercero, de desarrollo más reciente, se centra en los tests de raíz unitaria recursivos, que son los más pertinentes para este trabajo. La principal conclusión de Gürkaynak (2008) fue que ninguno de los métodos disponibles proporcionaba por sí solo evidencia concluyente y que la distinción entre una burbuja especulativa y un cambio poco observable en los fundamentales es intrínsecamente difícil de resolver únicamente con herramientas econométricas. Esta conclusión resaltó la importancia de complementar la evidencia econométrica con un análisis de los fundamentales.

El avance metodológico más relevante se produce con Phillips, Wu, y Yu (2011), quienes desarrollan el test SADF (*Supremum Augmented Dickey-Fuller*) como una herramienta para detectar episodios de crecimiento explosivo asociados a burbujas. En lugar de aplicar el test ADF una única vez sobre toda la serie, lo estiman repetidamente sobre distintos intervalos de los datos, comenzando por muestras iniciales pequeñas que se van ampliando de forma progresiva. En cada una de estas estimaciones se obtiene un estadístico ADF y, entre todos ellos, se selecciona el valor más elevado. Si este valor supera los niveles críticos establecidos, se interpreta como evidencia de comportamiento explosivo. Este procedimiento permite no solo identificar si existe una burbuja, sino también aproximar el momento en que aparece. Para precisar tanto el inicio como el final de estos episodios, los autores introducen el estadístico BSADF (*Backward Supremum ADF*), que aplica la misma lógica pero variando el punto inicial de las submuestras. De este modo, es posible

seguir la evolución del estadístico a lo largo del tiempo y determinar los periodos en los que la serie presenta una dinámica explosiva. La aplicación al índice NASDAQ durante la década de 1990 ilustra la utilidad del método.

Sin embargo, el test SADF presenta una limitación relevante, ya que siempre fija el inicio de las submuestras en el primer periodo disponible. Esto implica asumir que no existe comportamiento explosivo al comienzo de la serie, lo que reduce su capacidad para detectar varias burbujas cuando estas aparecen en distintos momentos. Para resolver este problema, Phillips et al. (2015) proponen el test GSADF (*Generalized Supremum Augmented Dickey-Fuller*). La diferencia fundamental es que, en este caso, no solo se amplía el final de las ventanas, sino que también se permite que el punto de inicio cambie. En la práctica, esto significa que el test analiza muchos más tramos de la serie, combinando distintos puntos de inicio y fin. Esta mayor flexibilidad permite detectar con más precisión episodios de crecimiento explosivo. Los autores muestran que este enfoque mejora claramente al SADF en contextos donde existen múltiples episodios especulativos, ya que aumenta la probabilidad de identificarlos correctamente. En su aplicación al índice S&P 500 con datos de largo plazo, el método logra identificar episodios bien conocidos como la burbuja previa al crack de 1929 y la burbuja puntocom de finales de los noventa, lo que refuerza la validez empírica del procedimiento. Este test, es la herramienta principal empleada en el análisis empírico de este trabajo.

En el ámbito bursátil, Basele et al. (2025) analizan la posible formación de burbujas en el sector tecnológico durante el auge de la inteligencia artificial. El estudio aplica el test GSADF tanto al índice NASDAQ como a las acciones de las denominadas *Magnificent Seven* en el periodo 2017-2025. Para el análisis individual, los autores utilizan dos enfoques complementarios. Por un lado, evalúan el ratio entre el precio de cada acción y el índice de mercado, con el objetivo de aislar la influencia de los factores comunes del sector. Por otro, emplean el modelo de tres factores de Fama-French para extraer el componente idiosincrático de los precios. Los resultados muestran evidencia de dinámicas explosivas tanto a nivel agregado como en la mayoría de las acciones, con especial intensidad en Nvidia y Tesla. La conexión con el presente trabajo resulta clara, ya que el auge de la inteligencia artificial y el de los activos verdes comparten una lógica similar basada en narrativas de transformación estructural que atraen flujos de capital y pueden generar desviaciones respecto a los fundamentales.

En el ámbito de los activos verdes Doksæter y Bøckmann (2021) ofrecen uno de los primeros análisis empíricos centrados en acciones ESG mediante la aplicación del test GSADF. El estudio se basa en una muestra de empresas con bajo riesgo ESG cotizadas en la Bolsa de Oslo durante el periodo 2015-2021, en un contexto marcado por el fuerte aumento del interés inversor tras la pandemia. Los resultados indican la presencia de episodios de comportamiento explosivo en varios activos, particularmente durante 2020 y 2021. No obstante, el alcance del trabajo es limitado debido al carácter reducido y na-

cional de la muestra, lo que dificulta extrapolar sus conclusiones al conjunto del mercado global.

Lehnert (2023) amplían el análisis a escala internacional examinando la evolución de los ratios de valoración de empresas y fondos sostenibles en el periodo posterior a la pandemia. El autor identifica una desconexión entre precios y fundamentales coherente con la hipótesis de una burbuja especulativa. El incremento de los precios entre 2019 y 2021 no viene acompañado de una mejora equivalente en beneficios o en la capacidad de generación de caja. En consecuencia, los ratios de valoración alcanzan niveles que solo pueden justificarse bajo supuestos de crecimiento extraordinariamente elevados y sostenidos en el tiempo, que posteriormente no se materializan.

En una línea similar, Potrykus, Ramzan, Mazhar, y Bouri (2024) analizan diferentes segmentos del mercado de economía verde, incluyendo acciones de empresas renovables, ETFs temáticos, bonos verdes e índices sectoriales. Mediante la aplicación del test GSADF, encuentran evidencia de episodios de comportamiento explosivo en varios de estos segmentos durante el periodo pospandemia. Un resultado especialmente relevante es la identificación de co-burbujas entre distintas clases de activos. Los episodios explosivos tienden a producirse de forma simultánea en activos con fundamentales distintos, lo que apunta a la existencia de una dinámica especulativa común vinculada a la narrativa de la transición energética.

No obstante, esta evidencia no tiene una interpretación única. Pástor et al. (2021) desarrollan un marco teórico en el que valoraciones elevadas en activos ESG pueden ser consistentes con decisiones racionales por parte de los inversores. Su argumento se basa en el papel de estos activos como cobertura frente a riesgos climáticos, ya que tienden a comportarse relativamente mejor en escenarios adversos para sectores intensivos en carbono. En este contexto, los inversores pueden aceptar menores rentabilidades esperadas a cambio de esta protección, lo que se traduce en precios más altos sin necesidad de asumir la existencia de una burbuja. Esta interpretación introduce una ambigüedad relevante, ya que patrones de precios elevados o incluso dinámicas explosivas pueden responder tanto a comportamientos especulativos como a cambios estructurales en las preferencias. Por ello, distinguir entre ambas explicaciones requiere complementar el análisis econométrico con una evaluación detallada de los fundamentales.

En este contexto, el presente Trabajo de Fin de Grado se propone contribuir a la literatura existente desde una perspectiva empírica y aplicada. A diferencia de los trabajos revisados, que analizan burbujas en índices sectoriales agregados de carácter global, como los índices de economía verde de NASDAQ OMX empleados por Potrykus et al. (2024) o en activos tecnológicos de gran capitalización, como las *Magnificent Seven* estudiadas por Basele et al. (2025), este trabajo combina simultáneamente dos niveles de análisis: el nivel de índice, con dos referencias institucionales del sector de energía limpia (CEXX y SPCE), y el nivel de empresa individual, con un basket de cuatro acciones operativas del

sector cotizadas en mercados estadounidenses. Esta doble dimensión permite contrastar si el comportamiento explosivo documentado en los índices verdes se replica a nivel de empresa, o si, por el contrario, responde a dinámicas agregadas de flujos de capital hacia el sector que no necesariamente se traducen en sobrevaloraciones idiosincrásicas.

Tabla 2.1: Resumen de los principales estudios sobre detección de burbujas financieras y activos verdes.

Referencia	Activo analizado	Metodología	Período	Principales resultados
Shiller (1981)	Acciones S&P (EE.UU.)	Tests de varianza acotada (<i>variance bounds</i>)	1871–1979	Los precios bursátiles exhiben exceso de volatilidad respecto a los fundamentales; primera evidencia formal de desconexión entre precio y valor fundamental y apertura del debate sobre la existencia de componentes especulativos.
West (1987)	Acciones S&P (EE.UU.)	Test de especificación de burbujas especulativas (ARIMA + Euler)	1871–1979	Propone un test de dos pasos que complementa los de varianza acotada; encuentra evidencia de burbujas especulativas en el dataset de Shiller, reforzando la hipótesis de desconexión precio-fundamentales.
Diba y Grossman (1988)	Acciones EE.UU.	Raíz unitaria y cointegración entre precios y dividendos	1871–1986	Formalizan el concepto de burbuja racional y su implicación explosiva: si existe burbuja, el precio debe crecer explosivamente. Sientan las bases teóricas y empíricas para la detección de burbujas mediante tests de raíz unitaria.
Gürkaynak (2008)	Revisión general (múltiples mercados)	Revisión metodológica comparada	—	Organiza los enfoques existentes en tres grupos (varianza acotada, cointegración y raíz unitaria recursiva) y concluye que ningún método ofrece evidencia concluyente de forma aislada, motivando el desarrollo de tests más robustos como el SADF y el GSADF.

Continúa en la página siguiente

(Continuación de la Tabla 2.1)

Referencia	Activo analizado	Metodología	Período	Principales resultados
Phillips et al. (2011)	NASDAQ (EE.UU.)	Test SADF recursivo con ventana expandiente	1990–2005	Introducen el test SADF y el estadístico BSADF para el fechado de episodios explosivos; sitúan el inicio de la exuberancia del NASDAQ en julio de 1995, dieciocho meses antes de la famosa advertencia de Greenspan.
Phillips et al. (2015)	S&P 500 (EE.UU.)	Test GSADF con ventanas flexibles en ambos extremos	1871–2010	Generalizan el SADF permitiendo variación en el punto de inicio de las ventanas, aumentando la potencia del test ante múltiples episodios. Identifican la burbuja de 1929 y la burbuja puntocom de finales de los noventa. Constituye el test estándar de la literatura y la herramienta central de este trabajo.
Pástor et al. (2021)	Activos ESG (marco teórico)	Modelo de equilibrio general con preferencias heterogéneas	—	Desarrollan un marco teórico en el que valoraciones elevadas de activos verdes pueden ser racionales: si actúan como cobertura frente a riesgos climáticos de largo plazo, los inversores aceptarán menores rentabilidades esperadas, lo que se refleja en precios más altos sin implicar desconexión especulativa.
Lehnert (2023)	Mercado bursátil verde (internacional)	Análisis de ratios de valoración (P/E, P/B)	2019–2022	Identifica patrones de sobrevaloración no respaldados por fundamentales durante el período pospandemia; la velocidad y magnitud del auge de precios en activos ESG presenta características similares a episodios históricos de burbuja, incluyendo la eventual corrección.

Continúa en la página siguiente

(Continuación de la Tabla 2.1)

Referencia	Activo analizado	Metodología	Período	Principales resultados
Potrykus et al. (2024)	Índices de economía verde (solar, eólico, agua, sectores y regiones)	GSADF y regresiones logísticas de co-burbujas	2005–2024	Detectan múltiples episodios de comportamiento explosivo en índices del mercado verde, con mayor intensidad en solar y eólico durante 2020–2021; identifican co-burbujas entre distintos segmentos, sugiriendo una dinámica especulativa común vinculada a la narrativa de transición energética.
Basele et al. (2025)	NASDAQ y <i>Magnificent Seven</i> (EE.UU.)	GSADF, ratio precio/índice de mercado y modelo de tres factores de Fama-French	2017–2025	Detectan burbujas especulativas en el NASDAQ y en seis de los siete valores analizados durante el boom de la IA; Nvidia y Tesla presentan las dinámicas más explosivas. El uso del ratio precio-índice como proxy de fundamentales, adoptado en este trabajo, es introducido como enfoque metodológico en este estudio.

Capítulo 3

Metodología

En este capítulo se detalla la metodología empleada en el presente Trabajo de Fin de Grado, cuyo objetivo es analizar empíricamente la posible existencia de burbujas financieras en una selección de índices y empresas del sector de energía limpia durante el período 2015-2024. El capítulo se estructura en seis secciones principales: la selección de la muestra y las fuentes de datos, la construcción de las series de análisis, el análisis descriptivo previo al test, el pretesting de estacionariedad, la formulación y aplicación del test GSADF y su estrategia de date-stamping, y finalmente el análisis de robustez. Cada una de estas secciones abarca una etapa diferenciada del análisis, tal como se ilustra en la Figura 3.1, y se explican con detalle a lo largo del capítulo.

1. **Selección de la muestra y fuentes de datos:** En esta primera etapa se identifican y justifican los activos financieros que forman parte del análisis: dos índices de referencia del sector de energía limpia (CEXX y SPCE), el S&P 500 como benchmark de mercado, y un basket de cuatro acciones individuales de empresas operativas del sector cotizadas en mercados estadounidenses. Se detallan los criterios formales de inclusión y se describen las fuentes de datos empleadas.
2. **Construcción de las series de análisis:** En esta etapa se construyen las series temporales sobre las que se aplica el test GSADF. Dado que aplicar el test directamente sobre precios en niveles constituiría un error metodológico, se calculan ratios precio/S&P 500 para cada activo, que capturan la desviación del precio respecto a los fundamentales de mercado. Como complemento para el análisis descriptivo, se emplean también los ratios Price-to-Sales de las acciones individuales.
3. **Análisis descriptivo:** Antes del análisis econométrico formal, se presenta un análisis descriptivo que contextualiza la evolución de los activos verdes durante el período muestral. Este análisis incluye la evolución de precios en base 100, los retornos acumulados por subperíodos, los estadísticos descriptivos de los retornos mensuales, la evolución del ratio P/S y la matriz de correlaciones entre activos.

4. **Pretesting de estacionariedad:** Se aplica el test ADF convencional a las seis series de ratios construidas para verificar que son no estacionarias en niveles, condición necesaria para la aplicación válida del test GSADF. Se reportan los estadísticos y la decisión de no rechazo de la hipótesis nula de raíz unitaria para cada serie.
5. **Test GSADF y date-stamping:** Esta es la etapa central del análisis. Se presenta la formulación econométrica completa del test GSADF de Phillips et al. (2015), incluyendo el modelo teórico de valor presente, la evolución desde el ADF convencional hasta el GSADF, y los parámetros de implementación. A continuación, se aplica el estadístico BSADF para fechar el inicio y el fin de cada episodio de comportamiento explosivo detectado en las series analizadas.
6. **Análisis de robustez:** Finalmente, se verifica la estabilidad de los resultados repitiendo el análisis con un valor alternativo de la ventana mínima r_0 , con el fin de garantizar que las conclusiones no dependen de la elección específica de este parámetro.

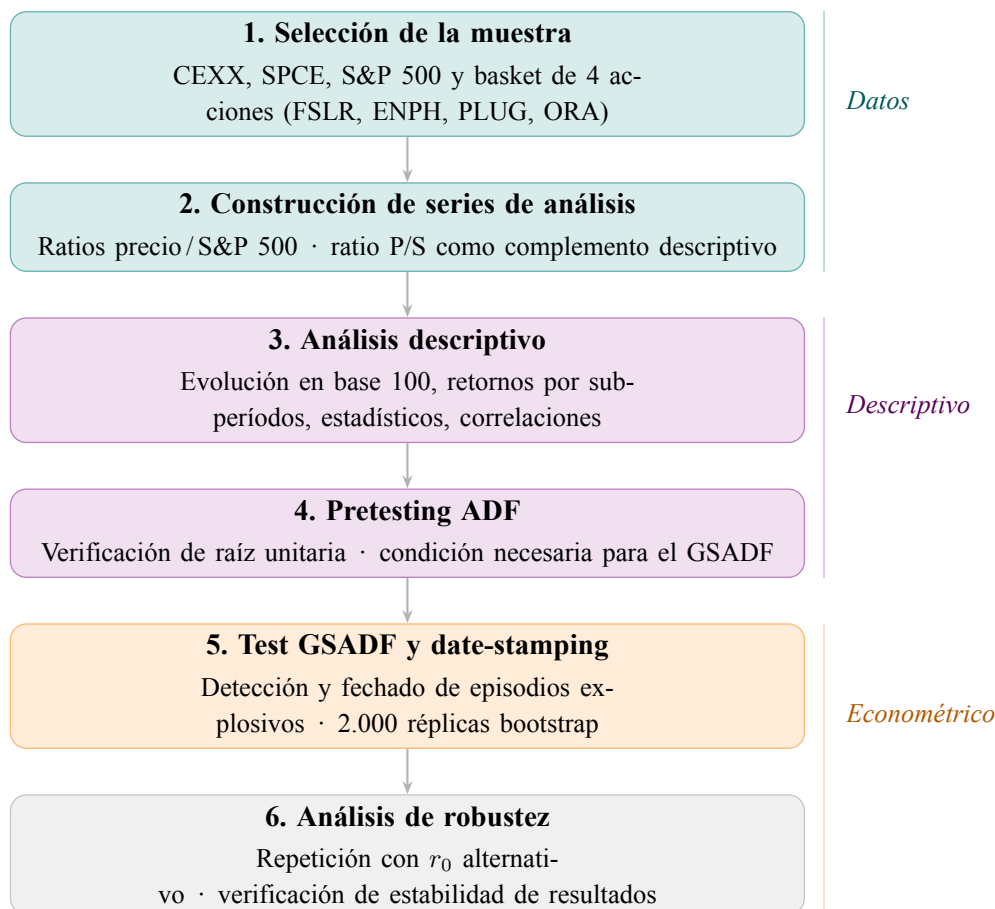


Figura 3.1: Esquema del flujo metodológico del análisis. Elaboración propia.

3.1. Selección de la muestra, criterios de inclusión y fuentes de datos

El presente análisis emplea un conjunto de activos financieros que cubre dos niveles de observación: índices representativos del sector de energía limpia y una selección de acciones individuales de empresas pertenecientes a dicho sector. La elección de trabajar simultáneamente en ambos niveles responde a la lógica de Basele et al. (2025), que distingue entre el comportamiento explosivo del mercado en su conjunto y el comportamiento idiosincrático de valores individuales, y permite contrastar si los episodios de exuberancia detectados son un fenómeno sectorial agregado o si también se manifiestan a nivel de empresa.

Índices verdes

Los dos índices seleccionados como representantes del sector de energía limpia son el *NASDAQ Clean Edge Green Energy Index* (cuyo ticker es CEXX) y el *S&P Global Clean Energy Index* (cuyo ticker es SPCE). Ambos constituyen los índices de referencia institucional del sector con mayor profundidad histórica y liquidez, y han sido ampliamente utilizados en la literatura académica sobre activos verdes (Lehnert, 2023; Potrykus et al., 2024).

El CEXX, gestionado por NASDAQ en colaboración con Clean Edge Inc., mide la rentabilidad de un conjunto de empresas cuya actividad principal está vinculada a la energía limpia en mercados estadounidenses, incluyendo fabricantes de equipos solares y eólicos, empresas de almacenamiento de energía y proveedores de combustibles alternativos. Para ser incluida, una empresa debe obtener al menos el 50 % de sus ingresos de actividades de energía limpia o baja en carbono, garantizando así que los constituyentes sean operadores reales del sector y no vehículos de inversión (Inchauspe, Ripple, y Trück, 2016). Su composición es de capitalización de mercado ponderada y se revisa trimestralmente. El SPCE, por su parte, es un índice de carácter global gestionado por S&P Dow Jones Indices que agrupa a las aproximadamente cien empresas con mayor exposición a actividades de energía limpia en mercados desarrollados y emergentes, ponderadas por capitalización de mercado flotante ajustada y rebalanceadas semestralmente (S&P Dow Jones Indices, 2023). A diferencia del CEXX, cuyo universo se limita a empresas estadounidenses, el SPCE incorpora compañías europeas, asiáticas y latinoamericanas. Esta distinción resulta relevante para el análisis, ya que permite evaluar si los episodios de comportamiento explosivo son un fenómeno específico del mercado estadounidense o tienen un alcance más amplio.

Benchmark de mercado

El *S&P 500* actúa como referencia del mercado tradicional. Su inclusión cumple una doble función metodológica. En primer lugar, permite construir los ratios precio-índice que constituyen las series sobre las que se aplica el test GSADF, siguiendo el enfoque de Basele et al. (2025), que utiliza el cociente entre el precio de cada activo analizado y el índice de mercado general como proxy de la desviación respecto a los fundamentales. En segundo lugar, facilita la comparación directa entre la dinámica de los activos verdes y la del mercado convencional, permitiendo identificar períodos en los que el sector verde se desacopla de la tendencia general del mercado.

Criterios de selección del basket de acciones individuales

La elección de las acciones individuales se basa en cuatro criterios definidos con el objetivo de mantener la homogeneidad y representar el sector adecuadamente. Este enfoque más restrictivo es una decisión metodológica motivada por las características propias del mercado estadounidense de energía limpia, que se explican a continuación.

1. **Cotización continuada en mercados estadounidenses desde enero de 2015.** La empresa debe haber cotizado en NYSE o NASDAQ de forma ininterrumpida desde enero de 2015 hasta diciembre de 2024. Este criterio garantiza la homogeneidad regulatoria y de divulgación financiera del basket, y permite una comparación directa con el benchmark del S&P 500. Sigue el enfoque de Kenourgios, Drakonaki, y Dimitriou (2022), que restringe su análisis de burbujas en activos verdes a mercados con alta profundidad y transparencia institucional.
2. **Actividad operativa directa en el sector de energía limpia.** La empresa debe obtener la mayor parte de sus ingresos de actividades de producción tecnológica o generación de energía limpia, excluyendo explícitamente a vehículos de inversión, REITs de infraestructura sostenible, *yieldcos* y empresas de financiación de proyectos renovables. Aunque estos instrumentos forman parte de los índices CEXX y SPCE, su naturaleza financiera los hace metodológicamente incomparables con las empresas operativas del sector y podría distorsionar la interpretación económica de los episodios de comportamiento explosivo detectados. Este criterio sigue el principio de pureza sectorial establecido por Henriques y Sadorsky (2008), que distingue explícitamente entre empresas de energía alternativa con actividad operativa real y otros instrumentos financieros vinculados al sector.
3. **Pertenencia al universo de energía limpia.** La empresa debe ser o haber sido constituyente del CEXX o del SPCE durante el período de análisis, garantizando así que es reconocida institucionalmente como perteneciente al sector de energía limpia.

4. Capitalización de mercado mínima de 500 millones de dólares a enero de 2015.

Se exige este umbral de capitalización al inicio del período muestral para garantizar liquidez suficiente y representatividad. Siguiendo el criterio de representatividad sectorial de Kenourgios et al. (2022), el umbral se fija en 500 millones de dólares para incluir únicamente a empresas que, pese a ser de tamaño medio en 2015, alcanzaron relevancia central en el sector durante el período de análisis.

El universo reducido del mercado verde estadounidense

La aplicación conjunta de estos cuatro criterios al conjunto de empresas incluidas en el CEXX y el SPCE da lugar a un basket final de únicamente cuatro compañías. Lejos de ser una limitación del diseño de la muestra, este resultado refleja la propia estructura del mercado estadounidense de energía limpia, donde el número de empresas cotizadas con actividad operativa directa y series históricas completas desde 2015 es muy reducido.

Varios factores explican esta restricción:

- En primer lugar, el sector de energía limpia cotizado en Estados Unidos estaba aún en una fase incipiente de desarrollo en 2015. Como señala la Agencia Internacional de Energía, el universo cotizado de empresas renovables era insuficiente para absorber los flujos de capital que la transición energética requería, y la emisión anual de acciones por parte de estas empresas equivalía a menos del 5 % de la inversión global en energía renovable (International Energy Agency, 2021a). Esta realidad cambió de forma radical a partir de 2021, impulsada por dos hitos regulatorios que llegaron varios años después del inicio del período muestral. El primero fue el Plan de Rescate Americano (*American Rescue Plan Act*), firmado por el presidente Biden en marzo de 2021, que movilizó más de 5.000 millones de dólares en programas de energía y clima como parte de un paquete de estímulo total de 1,9 billones de dólares. El segundo, y más transformador, fue la aprobación de la *Inflation Reduction Act* (IRA) en agosto de 2022, que destinó aproximadamente 369.000 millones de dólares a incentivos para la energía limpia y el clima, la mayor inversión en política climática de la historia de Estados Unidos. La IRA introdujo por primera vez un horizonte de diez años de certidumbre para los créditos fiscales de energía renovable, extendió y amplió los créditos a la inversión (ITC) y a la producción (PTC) para proyectos solares, eólicos y de almacenamiento, y desbloqueó más de 215.000 millones de dólares en inversión privada en manufactura de energía limpia (International Energy Agency, 2021b). Que el principal impulso regulatorio del sector llegara en 2021 y 2022, seis y siete años después del inicio del período muestral, explica estructuralmente por qué el número de empresas operativas cotizadas con series completas desde enero de 2015 es tan reducido: el marco de incentivos que

permitiría la expansión y salida a bolsa de nuevas compañías del sector aún no existía al comienzo del horizonte temporal analizado.

- En segundo lugar, el período 2015–2024 estuvo marcado por una intensa consolidación del sector, en la que numerosas empresas cotizadas desaparecieron del mercado por adquisición o por quiebra. Las operaciones de transición energética representaron aproximadamente el 20 % de todas las operaciones de fusión y adquisición en el sector energético superiores a 1.000 millones de dólares en 2021, con grandes utilities convencionales adquiriendo activos renovables cotizados para acelerar su descarbonización. Este proceso eliminó del universo analizable a empresas como TerraForm Power (adquirida por Brookfield en 2020), Pattern Energy (retirada de bolsa en 2020 tras su adquisición por un consorcio privado) o SolarCity (absorbida por Tesla en 2016).
- En tercer lugar, una parte significativa de los valores incluidos en los índices CEXX y SPCE son vehículos de inversión, *yieldcos* o REITs de infraestructura sostenible, como Hannon Armstrong Sustainable Infrastructure o NextEra Energy Partners, cuya naturaleza financiera los excluye por el criterio de actividad operativa directa establecido en este trabajo.

La combinación de estos factores resulta en que, aplicados los cuatro criterios de forma simultánea, únicamente cuatro empresas del universo completo del CEXX y el SPCE satisfacen todas las condiciones de inclusión con series completas y actividad operativa directa en el sector de energía limpia desde enero de 2015. Este basket reducido pero de alta calidad metodológica es coherente con la práctica de trabajos previos (Potrykus et al., 2024).

Tabla 3.1: Basket de acciones individuales seleccionadas

Empresa	Ticker	Subsector	Mercado	Índice	Cap. 2015	Cap. 2024
First Solar, Inc.	FSLR	Solar fotovoltaico	NASDAQ	CEXX, SPCE	\$4,2 Bn	\$18,7 Bn
Enphase Energy, Inc.	ENPH	Solar (microinversores)	NASDAQ	CEXX, SPCE	\$1,6 Bn	\$9,3 Bn
Plug Power, Inc.	PLUG	Hidrógeno verde	NASDAQ	CEXX	\$0,5 Bn	\$1,2 Bn
Ormat Technologies, Inc.	ORA	Energía geotérmica	NYSE	SPCE	\$1,3 Bn	\$3,7 Bn

Capitalización calculada a partir de precios de cierre de FactSet.

Fuente: elaboración propia a partir de FactSet (FactSet Research Systems, 2026).

El basket resultante ofrece una representación diversificada del sector de energía limpia estadounidense: dos fabricantes de tecnología solar con modelos de negocio diferenciados, módulos fotovoltaicos a escala utility (FSLR) y microinversores para instalaciones

residenciales y comerciales (ENPH), una empresa pionera en hidrógeno verde y soluciones de pila de combustible (PLUG), y un operador de plantas de energía geotérmica (ORA). Esta diversidad por subsector permite contrastar si los episodios de comportamiento explosivo son homogéneos dentro del sector o varían según la fuente de energía y el modelo de negocio.

Período muestral y fuente de datos

El período de análisis comprende desde enero de 2015 hasta diciembre de 2024, con una extensión de 120 observaciones mensuales. La fecha de inicio se justifica por dos razones. En primer lugar, 2015 es el año de la firma del Acuerdo de París (United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015), que constituye el punto de partida del marco regulatorio internacional de la transición energética y, por tanto, el momento a partir del cual los flujos de capital hacia activos verdes adquieren una dimensión sistémica. En segundo lugar, esta fecha garantiza disponibilidad de datos completos para todos los activos del basket. La fecha de cierre, diciembre de 2024, permite cubrir un horizonte temporal suficientemente amplio para capturar los principales episodios documentados en la literatura reciente sobre el mercado de activos verdes, incluyendo el período de auge pospandemia de 2020 -2021 y la posterior corrección asociada al endurecimiento de la política monetaria (Lehnert, 2023; Potrykus et al., 2024), así como los desarrollos más recientes del sector hasta el cierre del período muestral.

Se utilizan precios de cierre mensuales obtenidos de la plataforma FactSet Research Systems (FactSet Research Systems, 2026). Aunque la práctica estándar en la literatura de detección de burbujas consiste en usar precios ajustados por *splits* y dividendos para evitar discontinuidades artificiales en las series (Basele et al., 2025; Phillips et al., 2015), en el caso de este basket dicho ajuste tiene un impacto mínimo: ninguna de las cuatro empresas ha realizado *splits* de acciones durante el período muestral, y solo Ormat Technologies (ORA) distribuye dividendos con regularidad, un dividendo trimestral que ha crecido de 0,06 dólares por acción en 2015 a 0,48 dólares en 2024. Para ORA se emplean precios ajustados por dividendos tal como los proporciona FactSet; para FSLR, ENPH y PLUG, los precios de cierre en bruto y ajustados son equivalentes al no existir eventos corporativos que los diferencien. La ausencia de *splits* y dividendos en tres de las cuatro empresas no afecta a la validez del test GSADF, cuyo único requisito sobre las series de entrada es que sean no estacionarias en niveles, condición que se verifica mediante el pretesting ADF.

3.2. Construcción de las series de análisis

Una decisión metodológica fundamental en la detección de burbujas financieras es la elección de la serie temporal sobre la que se aplica el test. Aplicar el test GSADF directa-

mente sobre los precios en niveles constituiría un error, ya que los precios de los activos financieros son inherentemente no estacionarios y su tendencia creciente podría confundirse con comportamiento explosivo (Phillips et al., 2015). Para aislar la componente especulativa es necesario construir series que capturen la desviación del precio respecto a sus fundamentales.

Siguiendo el enfoque de (Basele et al., 2025), que aplican el ratio entre el precio de cada activo y el índice de mercado general como proxy de los fundamentales, en este trabajo se construyen los siguientes ratios:

$$r_{i,t} = \frac{P_{i,t}}{P_{SP500,t}} \quad (3.1)$$

donde $P_{i,t}$ es el precio de cierre mensual ajustado del activo i en el período t , y $P_{SP500,t}$ es el precio del S&P 500 en el mismo período. Este ratio se construye tanto para los dos índices verdes (CEXX y SPCE), como para las cuatro acciones individuales del basket (FSLR, ENPH, PLUG y ORA), resultando en seis series de análisis.

La interpretación económica del ratio es directa: si $r_{i,t}$ exhibe comportamiento explosivo, significa que el activo i está creciendo más rápido que el mercado general de forma estadísticamente significativa, lo que constituye evidencia de una desviación del precio respecto a los fundamentales de mercado. Esta especificación tiene además la ventaja de ser consistente entre los dos niveles de análisis; índices y acciones individuales, facilitando la comparación de resultados.

El uso del ratio precio/índice como proxy de fundamentales está directamente respaldado por la literatura más reciente. Basele et al. (2025) justifican esta elección señalando que es equivalente al uso de ratios precio-dividendo o precio-beneficio empleados en trabajos previos (Phillips et al., 2015), con la ventaja adicional de que no requiere la disponibilidad de datos de beneficios o dividendos, que en el sector de energía limpia son problemáticos. Muchas empresas del sector; como Plug Power, tienen beneficios negativos durante períodos prolongados, lo que hace que el ratio P/E no esté definido o sea económicamente no interpretable.

Como complemento para el análisis descriptivo de la sección siguiente, se utilizan también los ratios *Price-to-Sales* (P/S) históricos de las cuatro acciones individuales, obtenidos de FactSet (FactSet Research Systems, 2026). El ratio P/S tiene la ventaja de no depender de que la empresa tenga beneficios positivos, lo que lo hace especialmente apropiado para empresas en fases de alto crecimiento con pérdidas operativas, como es habitual en el sector de energías renovables.

El dataset resultante contiene 120 observaciones mensuales, desde enero de 2015 hasta diciembre de 2024, y seis series de ratios sin ningún valor faltante, lo que garantiza la aplicabilidad directa del test GSADF sin necesidad de imputación ni interpolación. Este dataset constituye el *input* directo del análisis econométrico desarrollado en las secciones

siguientes.

3.3. Análisis descriptivo

Antes de proceder al análisis econométrico, se presenta un análisis descriptivo que cumple dos funciones. En primer lugar, contextualiza la evolución de los activos verdes durante el período 2015–2024, identificando los principales subperíodos de interés. En segundo lugar, ofrece evidencia preliminar e intuitiva sobre la hipótesis de burbuja, permitiendo valorar si los datos presentan características visuales coherentes con episodios de sobrevalorización.

El análisis descriptivo comprende los siguientes elementos:

1. **Evolución de precios en base 100.** Se normalizan todas las series de precios a 100 en enero de 2015 y se representa su evolución conjunta. Este gráfico permite comparar visualmente el comportamiento relativo de los activos verdes frente al S&P 500 e identificar los períodos de divergencia más pronunciada.
2. **Retornos acumulados por subperíodos.** Se calculan los retornos acumulados para tres subperíodos definidos por los principales hitos macroeconómicos y regulatorios del período analizado: el período pre-pandemia (enero 2015 – diciembre 2019), el período de expansión monetaria y estímulo fiscal verde (enero 2020 – diciembre 2021), y el período de endurecimiento monetario y consolidación regulatoria (enero 2022 – diciembre 2024). Esta descomposición, apoyada en la periodización utilizada por Potrykus et al. (2024), permite identificar si el comportamiento de los activos verdes cambia significativamente entre subperíodos y cuantificar la magnitud de las variaciones de precio en cada fase.
3. **Estadísticos descriptivos de los retornos mensuales.** Se calculan para cada activo los principales momentos estadísticos de los retornos mensuales logarítmicos. La *media* recoge el retorno promedio mensual del activo durante el período analizado. La *desviación típica* mide la dispersión de los retornos respecto a esa media y constituye el indicador estándar de volatilidad en finanzas. La *asimetría* cuantifica el grado de simetría de la distribución de retornos: valores positivos indican que la cola derecha es más larga que la izquierda, es decir, que los retornos extraordinariamente positivos son más frecuentes que los negativos de igual magnitud, lo que es consistente con episodios de auge especulativo. La *curtosis (kurtosis)* mide el grosor de las colas de la distribución respecto a una distribución normal: valores superiores a 3 indican distribuciones leptocúrticas; con mayor masa en las colas y mayor frecuencia de valores extremos de lo que cabría esperar bajo normalidad. En el con-

texto de la detección de burbujas, valores elevados de curtosis y asimetría positiva son consistentes con la presencia de episodios de comportamiento explosivo.

4. **Evolución del ratio P/S histórico.** Para las acciones individuales se representa la evolución del ratio precio-ventas a lo largo del período muestral. Una divergencia entre el crecimiento del precio y el crecimiento de las ventas; mostrada mediante el ratio P/S creciente, constituye evidencia descriptiva de desconexión entre precio y fundamentales operativos.
5. **Tabla de correlaciones.** Se presenta la matriz de correlaciones entre los retornos mensuales de los índices verdes y el S&P 500. Una correlación reducida o decreciente durante el período de auge indica que los activos verdes se desacoplaron del mercado general, lo que es coherente con la hipótesis de una dinámica especulativa idiosincrática del sector.

3.4. Pretesting de estacionariedad

Antes de aplicar el test GSADF es necesario verificar que las series no son estacionarias. Si una serie fuera estacionaria, el test GSADF carecería de sentido, ya que la estacionariedad implica reversión a la media y excluye por definición la posibilidad de comportamiento explosivo sostenido (Diba y Grossman, 1988).

Para ello se utiliza el test ADF convencional (Augmented Dickey-Fuller), que contrasta la hipótesis nula de raíz unitaria (no estacionariedad), frente a la hipótesis alternativa de estacionariedad. El pretesting se aplica a las seis series de ratios construidas en la sección anterior. Se reportan los estadísticos ADF y la decisión de no rechazo de la hipótesis nula, que es la condición necesaria para que la aplicación del test GSADF esté metodológicamente justificada.

3.5. El test GSADF: formulación econométrica

Fundamento teórico

El marco teórico del test parte del modelo de valoración de activos por valor presente, en el que el precio de un activo se descompone en dos componentes (Diba y Grossman, 1988):

$$P_t = P_t^f + B_t \quad (3.2)$$

donde P_t^f denota el valor fundamental; definido como el valor presente descontado de los flujos de caja futuros esperados y B_t es el componente de burbuja. En ausencia de burbuja

($B_0 = 0$), el precio sigue una dinámica determinada por los fundamentales. Cuando existe un componente de burbuja ($B_0 > 0$), este debe crecer en cada período a una tasa suficiente para compensar al inversor, satisfaciendo la propiedad de submartingala:

$$\mathbb{E}_t(B_{t+1}) = (1 + r_f)B_t \quad (3.3)$$

donde r_f es la tasa libre de riesgo. Esta dinámica implica que B_t es explosiva, con una raíz autorregresiva (el coeficiente que multiplica el valor del período anterior) superior a la unidad. La detección de comportamiento explosivo en la serie de precios constituye por tanto evidencia indirecta de la presencia de un componente de burbuja.

Del ADF al SADF

El test ADF convencional aplicado sobre toda la muestra presenta baja potencia para detectar burbujas que colapsan periódicamente (Evans, 1991). Para superar esta limitación, (Phillips et al., 2011) proponen el test SADF (Supremum Augmented Dickey-Fuller), que estima la regresión ADF de forma recursiva sobre submuestras de tamaño creciente que arrancan siempre desde el primer período:

$$\text{SADF}(r_0) = \sup_{r_2 \in [r_0, 1]} \text{ADF}_0^{r_2} \quad (3.4)$$

donde r_0 es la fracción mínima de la muestra utilizada en la primera ventana y $\text{ADF}_0^{r_2}$ es el estadístico ADF estimado sobre la submuestra $[0, r_2]$. El estadístico SADF selecciona el valor máximo de todos los ADF recurrentes. Si este valor supera el valor crítico, se concluye que existe al menos un episodio de comportamiento explosivo en la muestra.

El test GSADF

El test SADF presenta una limitación importante: al fijar siempre el punto de inicio de las ventanas en el primer período, asume implícitamente que no existe comportamiento explosivo al comienzo de la muestra y reduce su potencia cuando hay múltiples episodios de burbuja. Para resolver este problema, (Phillips et al., 2015) proponen el test GSADF (Generalized Supremum Augmented Dickey-Fuller), que generaliza el SADF permitiendo que tanto el punto de inicio como el de fin de cada ventana varíen:

$$\text{GSADF}(r_0) = \sup_{\substack{r_2 \in [r_0, 1] \\ r_1 \in [0, r_2 - r_0]}} \text{SADF}_{r_1}^{r_2} \quad (3.5)$$

donde r_1 y r_2 son respectivamente el inicio y el fin de cada ventana, y r_0 es la longitud mínima de ventana. Este procedimiento analiza todas las submuestras posibles de longitud mínima r_0 , lo que proporciona mayor cobertura del espacio muestral y mayor potencia para

detectar múltiples episodios especulativos.

Selección de parámetros

La ventana mínima r_0 se determina mediante la fórmula estándar propuesta por Phillips et al. (2015):

$$r_0 = 0,01 + \frac{1,8}{\sqrt{T}} \quad (3.6)$$

Con $T = 120$ observaciones mensuales, esto resulta en $r_0 \approx 0,174$, equivalente a una ventana mínima de 20 observaciones (aproximadamente 20 meses). El número de retardos se fija en $k = 1$, que es el valor estándar para datos mensuales en esta literatura (Basele et al., 2025; Potrykus et al., 2024). Los valores críticos se obtienen mediante simulación de Monte Carlo con 2.000 réplicas, siguiendo la recomendación de Phillips et al. (2015). Toda la implementación se realiza en R mediante el paquete *exuber* (Caspi, Katzke, y Gupta, 2022).

Condición mínima de burbuja

Además de la ventana mínima de estimación r_0 , la literatura permite imponer una condición adicional sobre la *duración mínima* que debe tener un episodio explosivo para ser clasificado formalmente como burbuja. Esta condición, denominada *minimum bubble condition*, establece un umbral δ tal que solo se reconocen como episodios de burbuja aquellos en los que el estadístico BSADF supera el valor crítico durante al menos δ períodos consecutivos (Phillips et al., 2015).

Sin embargo, (Phillips et al., 2015) advierten explícitamente que la elección de δ es “*inevitablemente arbitraria*” y que no existe un criterio teórico que permita determinarla de forma objetiva.

Por estas razones, en este trabajo no se impone ninguna *minimum bubble condition* adicional más allá de la exigencia implícita de que el estadístico BSADF supere el valor crítico al 95 % en al menos un período. Esta decisión es conservadora en el sentido de que no introduce ningún filtro subjetivo sobre los episodios detectados, dejando que sean los datos y el propio procedimiento econométrico los que determinen la extensión de cada episodio. En cualquier caso, como se mostrará en la sección siguiente, los episodios de comportamiento explosivo identificados en las series con burbuja detectada persisten durante varios meses consecutivos por encima del valor crítico, por lo que las conclusiones serían robustas incluso bajo un umbral de $\delta = 6$ meses.

3.6. Estrategia de date-stamping

La identificación de los períodos concretos de comportamiento explosivo se realiza mediante el estadístico BSADF (Backward Supremum Augmented Dickey-Fuller), propuesto por Phillips et al. (2015) como extensión del GSADF para el fechado de episodios de burbuja:

$$\text{BSADF}_{r_2}(r_0) = \sup_{r_1 \in [0, r_2 - r_0]} \text{ADF}_{r_1}^{r_2} \quad (3.7)$$

El estadístico BSADF se calcula de forma recursiva para cada punto r_2 de la muestra, fijando el final de la ventana en ese punto y variando el inicio. Esto genera una secuencia temporal de estadísticos que permite identificar el momento exacto en que el comportamiento explosivo comienza y termina.

El criterio de fechado es el siguiente. El inicio de un episodio explosivo se estima como el primer período en que el BSADF supera el valor crítico al 95 % de confianza:

$$\hat{r}_e = \inf_{r_2 \in [r_0, 1]} \{r_2 : \text{BSADF}_{r_2}(r_0) > \text{cv}_{r_2}^{0,95}\} \quad (3.8)$$

El final del episodio se estima como el primer período posterior en que el BSADF vuelve a caer por debajo del valor crítico:

$$\hat{r}_f = \inf_{r_2 \in [\hat{r}_e, 1]} \{r_2 : \text{BSADF}_{r_2}(r_0) < \text{cv}_{r_2}^{0,95}\} \quad (3.9)$$

Los resultados del date-stamping se presentan mediante gráficos en los que la línea azul representa la secuencia temporal del estadístico BSADF, la línea roja discontinua representa el valor crítico al 95 % y las zonas sombreadas en rojo identifican los períodos en los que el BSADF supera dicho umbral, es decir, los episodios de comportamiento explosivo detectados.

3.7. Análisis de robustez

Con el fin de verificar que los resultados del test GSADF no dependen de la elección específica del parámetro r_0 , se repite el análisis completo con un valor alternativo de la ventana mínima. Siguiendo la práctica habitual en la literatura (Basele et al., 2025; Potrykus et al., 2024), se utiliza $r_0^{\text{alt}} = 1,5 \times r_0$, lo que resulta en una ventana mínima de aproximadamente 30 observaciones.

Si los episodios de comportamiento explosivo detectados son cualitativamente estables bajo ambas especificaciones de r_0 , es decir, si las mismas series muestran evidencia de burbuja y los períodos fechados son similares, se concluye que los resultados son robustos

a esta elección paramétrica. Este análisis de robustez es especialmente relevante dado el tamaño moderado de la muestra ($T = 120$), que hace que la elección de la ventana mínima pueda tener cierta influencia sobre los resultados.

Capítulo 4

Resultados

En este capítulo se presentan e interpretan los resultados del análisis empírico. La estructura sigue el orden metodológico establecido en el 3:

4.1. Resultados del análisis descriptivo

Evolución de precios en base 100

La Figura 4.1 muestra la evolución de los precios de todos los activos normalizados a 100 en enero de 2015. El gráfico revela una dinámica claramente diferenciada entre los activos verdes y el S&P 500, especialmente durante el período 2019–2021. Mientras el S&P 500 acumula un retorno del 194,8 % a lo largo de todo el período, activos como Enphase Energy (ENPH) y Plug Power (PLUG) experimentan crecimientos de magnitudes muy superiores durante el auge de 2020–2021, antes de sufrir correcciones igualmente pronunciadas. First Solar (FSLR) y Ormat Technologies (ORA) muestran trayectorias más moderadas. Al final del período muestral, FSLR acumula un retorno del 316,4 %, ENPH del 454,3 %, ORA del 153,2 %, mientras que PLUG cae un 20,2 % respecto al nivel de enero de 2015.

Retornos acumulados por subperíodos

La Tabla 4.1 descompone los retornos acumulados en tres subperíodos que capturan las fases del ciclo verde: el período pre-COVID (enero 2015–diciembre 2019), el período de auge (enero 2020–diciembre 2021) y el período de corrección (enero 2022–diciembre 2024).

Durante el período de auge, PLUG acumula un retorno del 629,5 % y ENPH del 480,4 % en apenas veinticuatro meses, mientras que el S&P 500 avanza un 47,8 %. Esta divergencia es la manifestación más visible del fenómeno de burbuja financiera que se

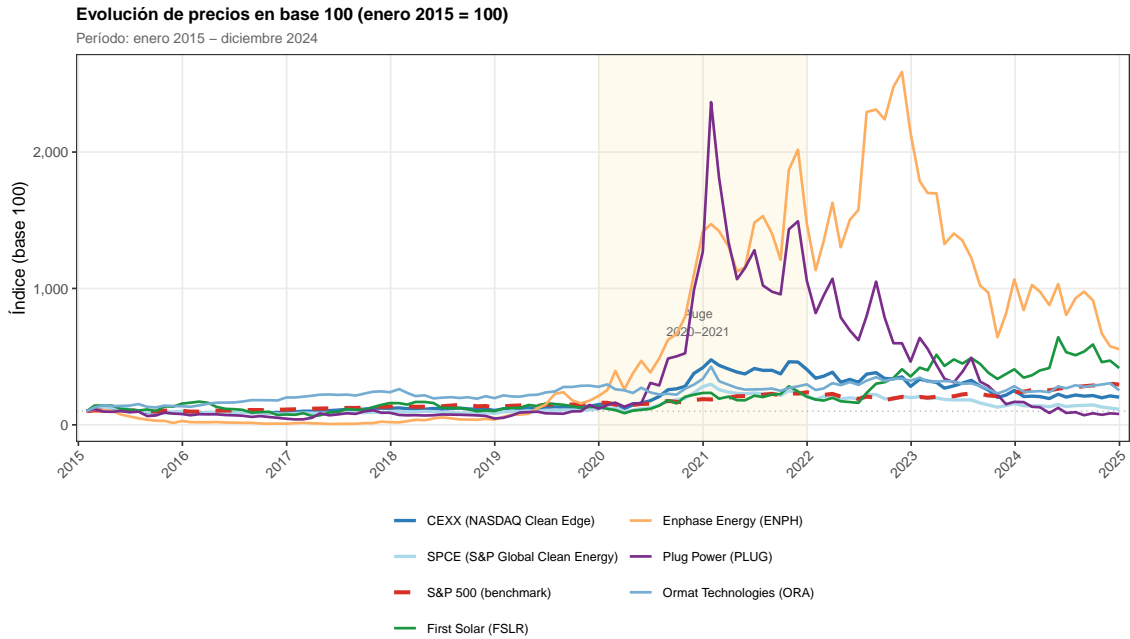


Figura 4.1: Evolución de precios en base 100 (enero 2015 = 100). Fuente: elaboración propia a partir de FactSet (FactSet Research Systems, 2026).

Tabla 4.1: Retornos acumulados por subperíodos (%)

Activo	Pre-COVID (2015–2019)	Auge (2020–2021)	Corrección (2022–2024)
CEXX	48,3	158,5	–40,6
SPCE	17,6	74,0	–38,5
S&P 500	61,9	47,8	30,3
FSLR	32,2	75,8	124,9
ENPH	110,9	480,4	–51,1
PLUG	18,4	629,5	–90,3
ORA	178,6	0,1	–0,6

comprobara posteriormente con GSADF. La corrección posterior es igualmente intensa: PLUG pierde el 90,3 % de su valor entre 2022 y 2024, y ENPH el 51,1 %. Por el contrario, FSLR acumula un retorno del 124,9 % durante la corrección, mostrando un comportamiento claramente diferenciado respecto al resto del basket.

Estadísticos descriptivos de los retornos mensuales

Varios aspectos de la Tabla 4.2 merecen atención. En primer lugar, la volatilidad de los activos verdes es notablemente superior a la del S&P 500: la desviación típica mensual del índice de referencia es del 4,4 %, frente al 9,4 % de CEXX, el 22,1 % de PLUG o el 24,2 % de ENPH. Esta mayor volatilidad es una condición necesaria, aunque no suficiente, para la presencia de burbujas especulativas. En segundo lugar, PLUG es el único activo

Tabla 4.2: Estadísticos descriptivos de los retornos mensuales logarítmicos (%)

Activo	Media	Desv. típica	Asimetría	Curtosis
CEXX	0,594	9,418	-0,167	3,870
SPCE	0,112	7,804	-0,098	3,337
S&P 500	0,909	4,437	-0,549	3,607
FSLR	1,199	14,191	0,320	3,086
ENPH	1,439	24,225	0,165	3,544
PLUG	-0,190	22,050	0,611	3,650
ORA	0,781	8,306	-0,169	4,106

con retorno medio mensual negativo (-0,190%), lo que refleja que, pese a los episodios de precio explosivo durante el boom, el activo ha destruido valor en términos del período completo. En tercer lugar, la asimetría positiva de PLUG (0,611) y FSLR (0,320) es coherente con la presencia de episodios de auge especulativo, colas derechas pronunciadas, mientras que los índices presentan asimetría levemente negativa, más característica de distribuciones de retornos de mercado estándar (Gürkaynak, 2008).

Evolución del ratio Price-to-Sales

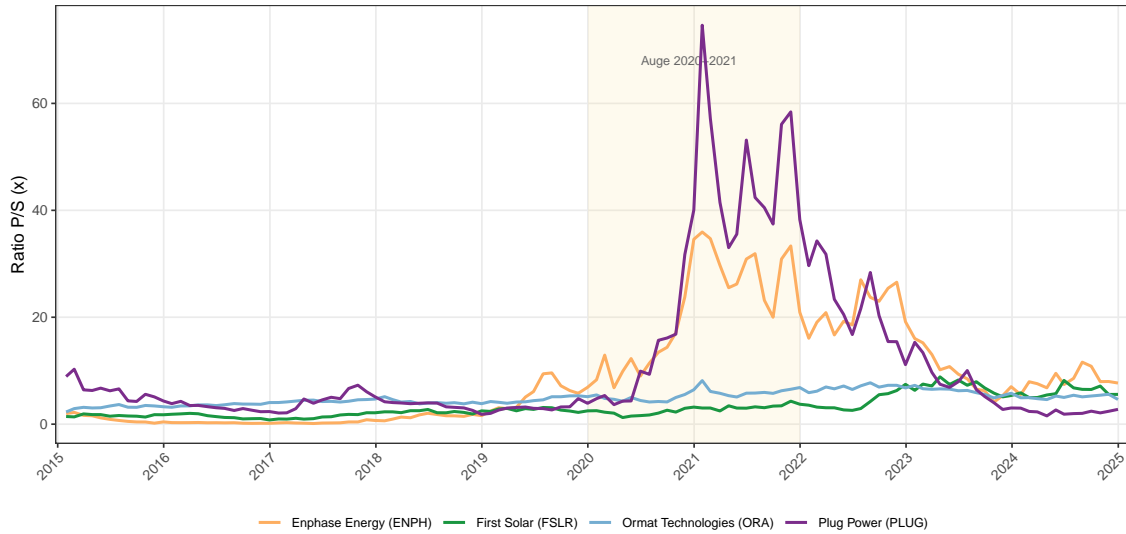
La Figura 4.2 muestra la evolución del ratio P/S histórico para las cuatro acciones individuales del basket. Los valores medios del período (FSLR: 3,22x, ENPH: 9,07x, PLUG: 11,38x, ORA: 4,89x) esconden una heterogeneidad temporal muy relevante. Durante el auge de 2020–2021, el ratio P/S de ENPH alcanzó un máximo de 35,9x y el de PLUG de 74,6x, niveles que implican que los inversores estaban dispuestos a pagar más de 74 dólares por cada dólar de ventas de Plug Power, una empresa que operaba con pérdidas operativas significativas. Esta divergencia entre el precio y los fundamentales operativos, constituye evidencia descriptiva fuerte de la hipótesis de desconexión especulativa, que será contrastada formalmente mediante el test GSADF.

Correlaciones entre retornos

La Figura 4.3 revela dos patrones relevantes. En primer lugar, los dos índices verdes presentan una correlación elevada entre sí (0,845), lo que refleja que ambos capturan dinámicas sectoriales comunes. En segundo lugar, la correlación de los activos verdes con el S&P 500 es moderada: CEXX presenta la correlación más alta (0,675) y ENPH la más baja (0,265). Esta relativa autonomía respecto al mercado general es coherente con la hipótesis de que parte del comportamiento de los activos verdes durante el período analizado responde a factores idiosincrásicos del sector, narrativa ESG, marcos regulatorios específicos, flujos de capital con restricciones de sostenibilidad y no simplemente a la dinámica general del mercado.

Evolución del ratio Price-to-Sales (P/S LTM)

Período: enero 2015 – diciembre 2024



Fuente: elaboración propia a partir de FactSet (2026).

Figura 4.2: Evolución del ratio Price-to-Sales histórico (P/S LTM). Fuente: elaboración propia a partir de FactSet (FactSet Research Systems, 2026).

Matriz de correlaciones de retornos mensuales logarítmicos

Período: enero 2015 – diciembre 2024



Fuente: elaboración propia a partir de FactSet (2026).
Verde: correlación elevada | Rojo: correlación reducida

Figura 4.3: Matriz de correlaciones de retornos mensuales logarítmicos. Verde: correlación elevada. Rojo: correlación reducida. Fuente: elaboración propia a partir de FactSet (FactSet Research Systems, 2026).

4.2. Resultados del pretesting ADF

Antes de aplicar el test GSADF es necesario verificar que las seis series de ratios precio/S&P 500 son no estacionarias, condición que justifica la posibilidad de comportamiento explosivo. La Tabla 4.3 recoge los resultados del test ADF convencional aplicado

a cada serie.

Tabla 4.3: Resultados del pretesting ADF (hipótesis nula: raíz unitaria)

Serie	Estadístico ADF	VC 90 %	VC 95 %	VC 99 %	Decisión
CEXX	-1,431	-2,58	-2,89	-3,51	No rechaza H_0
SPCE	-1,746	-2,58	-2,89	-3,51	No rechaza H_0
FSLR	-1,884	-2,58	-2,89	-3,51	No rechaza H_0
ENPH	-1,523	-2,58	-2,89	-3,51	No rechaza H_0
PLUG	-2,418	-2,58	-2,89	-3,51	No rechaza H_0
ORA	-1,855	-2,58	-2,89	-3,51	No rechaza H_0

Valores críticos de MacKinnon (1996) con constante, $T = 120$.

En todos los casos, el estadístico ADF no alcanza ninguno de los umbrales críticos, por lo que no se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria. Las seis series de ratios son por tanto no estacionarias, lo que confirma que la condición necesaria para la aplicación del test GSADF se cumple en todos los activos analizados.

4.3. Resultados del GSADF para los índices verdes

Estadísticos GSADF

La Tabla 4.4 presenta los resultados del test GSADF para los dos índices verdes, con los valores críticos obtenidos por simulación de Monte Carlo con 2.000 réplicas.

Tabla 4.4: Resultados del test GSADF — Índices verdes

Serie	GSADF	VC 90 %	VC 95 %	VC 99 %	Significación
CEXX	8,012	1,794	2,075	2,676	***
SPCE	4,007	1,794	2,075	2,676	***

***, ** y * denotan significación al 1 %, 5 % y 10 % respectivamente.

Valores críticos obtenidos por simulación de Monte Carlo con 2.000 réplicas.

Ambos índices presentan estadísticos GSADF muy superiores al valor crítico al 99 % de confianza. El GSADF del CEXX (8,012) supera en más de tres veces el umbral del 99 % (2,676), y el del SPCE (4,007) lo supera en más de un 50 %. Estos resultados constituyen evidencia estadística sólida de la presencia de al menos un episodio de comportamiento explosivo en cada uno de los dos índices durante el período 2015–2024, rechazando la hipótesis nula de ausencia de comportamiento explosivo.

Date-stamping

Los gráficos de date-stamping de la Figura 4.4 muestran la secuencia temporal del estadístico BSADF para cada índice, junto con el valor crítico al 95 % de confianza. Las

zonas sombreadas en rojo indican los períodos en los que el BSADF supera dicho umbral, es decir, los episodios de comportamiento explosivo detectados.

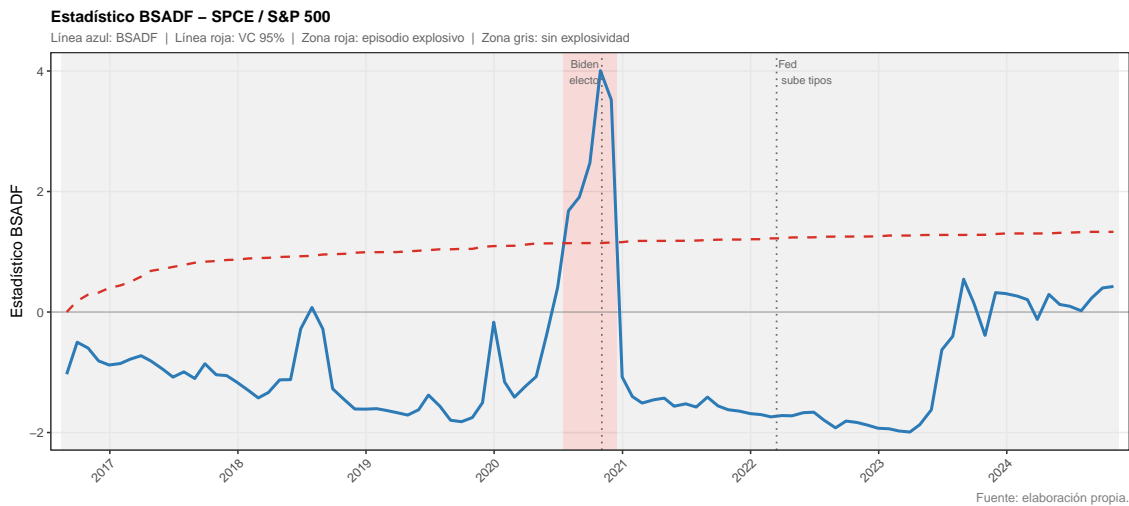
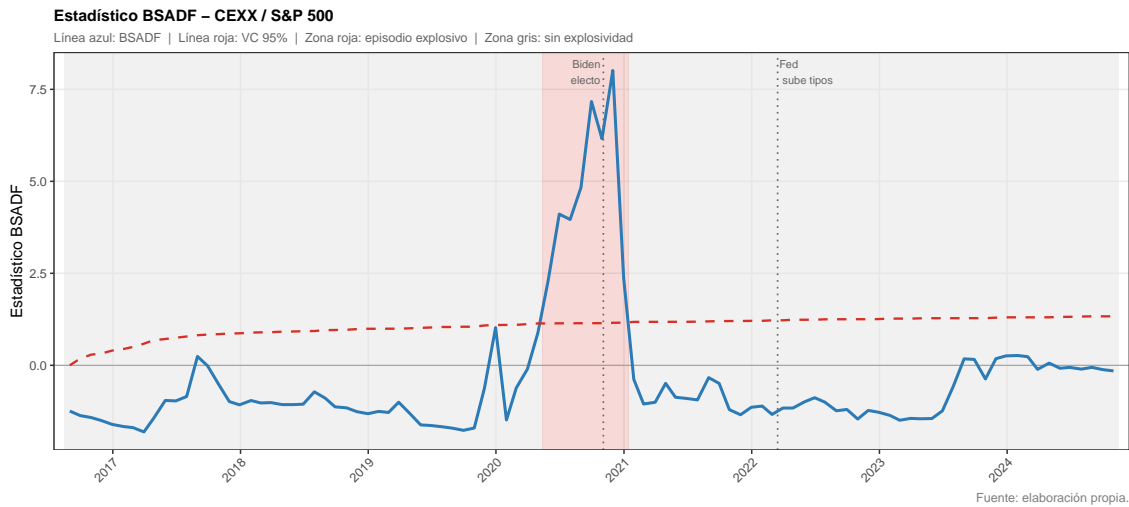


Figura 4.4: Date-stamping BSADF — Índices verdes (CEXX y SPCE). Línea azul: estadístico BSADF. Línea roja discontinua: valor crítico al 95 %. Zona sombreada en rojo: episodio explosivo. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.5: Fechas de los episodios de comportamiento explosivo — Índices verdes

Serie	Inicio	Fin	Duración
CEXX	Mayo 2020	Dic. 2020	8 meses
SPCE	Jul. 2020	Nov. 2020	5 meses

Episodio detectado cuando el estadístico BSADF supera el valor crítico al 95 %.

El episodio explosivo identificado en ambos índices se concentra en el período de auge del sector verde, coincidiendo con el máximo de los retornos acumulados documentados en la sección anterior. El CEXX muestra un pico del estadístico BSADF especialmente pronunciado, coherente con su mayor exposición a empresas de energía limpia pura

respecto al SPCE, que incluye una base geográfica más amplia y, por tanto, mayor diversificación.

4.4. Resultados del GSADF para las acciones individuales

Estadísticos GSADF

La Tabla 4.6 presenta los resultados del test GSADF para las cuatro acciones individuales del basket.

Tabla 4.6: Resultados del test GSADF — Acciones individuales

Serie	GSADF	VC 90 %	VC 95 %	VC 99 %	Significación
FSLR	1,337	1,794	2,075	2,676	—
ENPH	5,753	1,794	2,075	2,676	***
PLUG	12,225	1,794	2,075	2,676	***
ORA	0,563	1,794	2,075	2,676	—

***, ** y * denotan significación al 1 %, 5 % y 10 % respectivamente.

Valores críticos obtenidos por simulación de Monte Carlo con 2.000 réplicas.

Los resultados muestran una divergencia clara dentro del basket. ENPH y PLUG presentan estadísticos GSADF altamente significativos al 99 %, con valores de 5,753 y 12,225 respectivamente. El estadístico de PLUG es el más elevado de todos los activos analizados, superando en más de cuatro veces el umbral del 99 %, lo que refleja la intensidad extraordinaria del episodio especulativo que experimentó este valor durante el boom del hidrógeno verde. Por el contrario, FSLR (1,337) y ORA (0,563) presentan estadísticos inferiores al valor crítico al 90 %, por lo que no se detecta comportamiento explosivo en ninguno de los dos activos a ningún nivel de significación convencional.

Date-stamping

Los gráficos de date-stamping de la Figura 4.5 ilustran la secuencia temporal del estadístico BSADF para cada una de las cuatro acciones.

Los gráficos confirman que los episodios explosivos en ENPH y PLUG se concentran en el período 2020–2021, con el pico máximo del estadístico BSADF alrededor del primer trimestre de 2021. En el caso de PLUG, la magnitud del estadístico durante ese período es especialmente llamativa, con valores que superan con amplitud el umbral crítico durante varios meses consecutivos. Para FSLR y ORA, el estadístico BSADF permanece por debajo del valor crítico durante prácticamente todo el período muestral, confirmando la ausencia de comportamiento explosivo en estos dos activos.

Date-stamping BSADF – Acciones individuales (2015–2024)

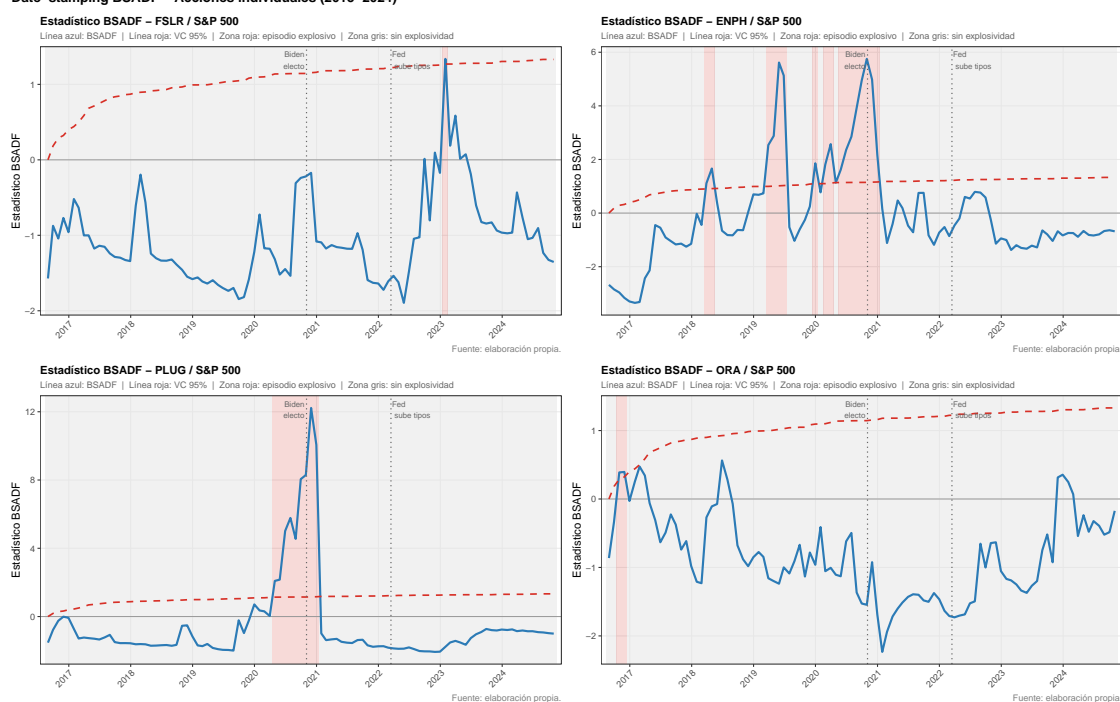


Figura 4.5: Date-stamping BSADF — Acciones individuales (FSLR, ENPH, PLUG, ORA). Línea azul: estadístico BSADF. Línea roja discontinua: valor crítico al 95 %. Zona sombreada en rojo: episodio explosivo. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4.7: Fechas de los episodios de comportamiento explosivo — Acciones individuales

Serie	Episodio	Inicio	Fin	Duración
ENPH	1°	Mar. 2018	Abr. 2018	2 meses
ENPH	2°	Mar. 2019	Jun. 2019	4 meses
ENPH	3°	Dic. 2019	Dic. 2019	1 mes
ENPH	4°	Feb. 2020	Mar. 2020	2 meses
ENPH	5°	Mayo 2020	Dic. 2020	8 meses
PLUG	Único	Abr. 2020	Dic. 2020	9 meses
FSLR	—	—	—	—
ORA	—	—	—	—

Episodio detectado cuando el estadístico BSADF supera el valor crítico al 95 %.

FSLR y ORA no exhiben comportamiento explosivo a ningún nivel de significación convencional.

Además, el date-stamping de ENPH revela cinco episodios de explosividad, aunque los cuatro primeros son de duración muy reducida (entre 1 y 4 meses) y probablemente reflejan fluctuaciones transitorias más que dinámicas especulativas sostenidas. El episodio principal, de mayo a diciembre de 2020 con una duración de 8 meses, es el que concentra la mayor parte de la explosividad detectada y coincide cronológicamente con los episodios identificados en CEXX, SPCE y PLUG.

4.5. Interpretación económica de los episodios detectados

Los factores descritos a continuación no constituyen una explicación causal de los episodios detectados, sino una interpretación narrativa consistente con su cronología. El test GSADF identifica y fecha comportamiento explosivo, pero no permite establecer relaciones de causalidad entre variables macroeconómicas y la formación de burbujas.

El entorno de tipos bajos y el primer impulso ESG (2019–2020)

El punto de partida del ciclo especulativo no puede entenderse sin considerar el entorno macroeconómico previo. Entre 2019 y la primera mitad de 2020, la Reserva Federal mantuvo los tipos de interés en niveles históricamente bajos, entre el 0 % y el 0,25 % desde marzo de 2020, como respuesta a los efectos económicos de la pandemia de COVID-19. Este entorno de tipos excepcionalmente bajos es consistente con las condiciones que la literatura asocia a episodios especulativos en activos de alto crecimiento: el coste de oportunidad del capital era mínimo, el valor presente de los flujos de caja futuros era máximo y los inversores se vieron empujados hacia activos de mayor riesgo en busca de rentabilidad (International Energy Agency, 2021b). Las empresas de energía limpia, caracterizadas por modelos de negocio intensivos en capital con flujos de caja concentrados en el largo plazo, son especialmente sensibles a la tasa de descuento.

Simultáneamente, los activos ESG experimentaban un crecimiento sin precedentes en términos de flujos de inversión institucional. Los activos bajo gestión en fondos sostenibles a escala global superaron los 35 billones de dólares en 2020, impulsados por la creciente integración de los criterios ambientales, sociales y de gobernanza en las estrategias de los grandes gestores (Bloomberg Media Studios y Mubadala, 2022). Este flujo estructural hacia activos verdes constituyó un primer impulso al alza de los precios del sector independiente del resultado electoral, que se vería intensificado en los meses siguientes.

La victoria de Biden y la aceleración del boom verde (noviembre 2020)

El factor más plausiblemente asociado al inicio del episodio explosivo es la victoria de Joe Biden en las elecciones presidenciales estadounidenses del 3 de noviembre de 2020, cuya coincidencia temporal con el arranque de la explosividad detectada es consistente con esta interpretación. La expectativa de un giro radical en la política energética americana coincidió con uno de los episodios de revalorización sectorial más rápidos de la historia reciente. En enero de 2021, inmediatamente después de la confirmación de la victoria demócrata en el Senado, los dos mayores ETFs del sector recibieron entradas netas de capital por valor de 5.700 millones de dólares en solo tres meses, multiplicando sus activos bajo gestión por doce respecto al año anterior (Pavlova y de Boyrie, 2022).

El CEXX, que ya acumulaba una subida del 67 % desde el inicio de 2020 impulsada por el entorno de tipos bajos y los flujos ESG, aceleró su crecimiento hasta superar el 158 % de retorno acumulado en el bienio 2020–2021. El S&P Global Clean Energy Index subió un 53,1 % solo desde el inicio de noviembre de 2020 y un 147,5 % en los doce meses anteriores a febrero de 2021. Este comportamiento fue ampliamente reconocido en tiempo real como potencialmente especulativo: la concurrencia de tipos cero, flujos ESG record y euforia política configuró el contexto perfecto para una desconexión entre precios y fundamentales.

El estadístico BSADF supera el valor crítico al 95 % en los meses inmediatamente posteriores a noviembre de 2020 en las cuatro series con burbuja detectada, lo que es consistente con la hipótesis de que este hito electoral contribuyó al inicio del episodio explosivo, aunque el test no permite establecer causalidad

El Plan de Rescate Americano y la consolidación del boom (marzo 2021)

En marzo de 2021, el presidente Biden firmó el Plan de Rescate Americano (*American Rescue Plan Act*), un paquete de estímulo de 1,9 billones de dólares que incluyó más de 5.000 millones en programas directos de energía y clima además de incentivos fiscales para la compra de vehículos eléctricos y la instalación de energía solar residencial (International Energy Agency, 2021b). Aunque el grueso del paquete tenía vocación de estabilización macroeconómica frente al impacto de la pandemia, su señal política fue interpretada por los mercados como una confirmación de que la administración Biden cumpliría sus promesas en materia de transición energética. Este hito contribuyó a mantener elevados los estadísticos BSADF durante el primer semestre de 2021 prolongando el episodio explosivo más allá de la euforia inicial poselectoral.

El pico del ciclo y el inicio del ajuste (finales de 2021)

El punto de inflexión del ciclo se produjo en noviembre de 2021 cuando numerosas empresas tecnológicas y de crecimiento alcanzaron sus máximos históricos antes de iniciar una corrección. Los mercados anticiparon el endurecimiento monetario con varios meses de antelación: la Reserva Federal comenzó a señalar el fin de su política de tipos cero a finales de 2021 lo que deprimió las valoraciones de los activos de mayor duración. El estadístico BSADF cae por debajo del valor crítico al 95 % en los meses finales de 2021 para la mayoría de las series señalando el final formal del episodio explosivo.

El ciclo de subidas de tipos y el colapso de las valoraciones (marzo 2022)

El inicio del ciclo de subidas de tipos de la Reserva Federal en marzo de 2022 coincidió con la corrección definitiva de los activos de energía limpia. La Reserva Federal elevó el tipo de referencia desde cerca del 0 % hasta más del 5 % en menos de dieciocho meses y el aumento de los tipos de interés tuvo un impacto especialmente penalizador para las empresas de energía renovable, que requieren una elevada inversión inicial en capital con flujos de caja esperados en años futuros (International Energy Agency, 2021b). El mecanismo de transmisión fue doble: por un lado el aumento de la tasa de descuento redujo directamente el valor presente de los flujos de caja futuros; por otro el encarecimiento de la financiación elevó el coste de los proyectos de energía renovable que dependen de la deuda en hasta el 85 %–90 % de sus gastos de capital.

Las consecuencias para el basket fueron especialmente severas en los activos que habían exhibido comportamiento explosivo. PLUG perdió el 90,3 % de su valor entre 2022 y 2024 y ENPH el 51,1 %. Incluso FSLR y ORA que no exhibieron comportamiento explosivo durante el boom sufrieron correcciones significativas antes de recuperarse parcialmente. Este patrón es consistente con la evidencia de Pavlova y de Boyrie (2022) que documenta que los ETFs de energía limpia que más captaron flujos durante el boom de 2020–2021 fueron precisamente los que mayor corrección experimentaron durante el posterior ciclo de endurecimiento monetario.

El Inflation Reduction Act: apoyo estructural sin poder contrarrestar el ciclo monetario (agosto 2022)

La aprobación de la *Inflation Reduction Act* (IRA) en agosto de 2022 representó el mayor paquete de incentivos a la energía limpia en la historia de Estados Unidos con una inversión comprometida de aproximadamente 369.000 millones de dólares en clima y energía limpia durante diez años (International Energy Agency, 2021b). La IRA introdujo por primera vez un horizonte de certidumbre de diez años para los créditos fiscales de energía renovable, extendió y amplió los créditos a la inversión (ITC) y a la producción (PTC) para proyectos solares, eólicos y de almacenamiento y desbloqueó más de 215.000 millones de dólares en inversión privada en manufactura de energía limpia.

Sin embargo este hito regulatorio no coincide con un nuevo episodio explosivo en los activos verdes sino que llega en plena corrección. El significativo apoyo político no pudo revertir el bajo rendimiento del sector en parte porque estaba claro que tardaría varios años en desplegar los fondos previstos. El IRA confirmó el apoyo estructural al sector a largo plazo pero no fue capaz de contrarrestar el efecto contractivo inmediato del endurecimiento monetario sobre las valoraciones de los activos de crecimiento. Esta divergencia entre el apoyo fundamental y el comportamiento bursátil ilustra una conclusión relevan-

te: las valoraciones de los activos de energía limpia son más sensibles a las condiciones financieras de corto plazo que a los cambios en el marco regulatorio de largo plazo.

Síntesis interpretativa

Los resultados del análisis permiten responder a la pregunta central del trabajo. El auge extraordinario de los activos verdes entre 2019 y 2021, en el que CEXX y SPCE multiplicaron su valor entre dos y cuatro veces respecto al mercado general, no puede explicarse únicamente por cambios en los fundamentales del sector. El test GSADF identifica episodios de comportamiento explosivo estadísticamente significativos al 99% en los dos índices verdes y en dos de las cuatro acciones analizadas con una cronología que coincide con precisión con los catalizadores macroeconómicos y regulatorios documentados en esta sección. La conclusión es que el período 2020–2021 representó una burbuja especulativa en los activos de energía limpia cuya cronología es consistente con la concurrencia de tres factores: el entorno de tipos excepcionalmente bajos que maximizó el valor presente de los flujos de caja futuros, el flujo masivo de capital ESG que generó una demanda estructural de activos verdes y la narrativa política de la transición energética que proporcionó una justificación aparentemente sólida para las valoraciones extremas. Cuando el primero de estos factores se revirtió, con el inicio del ciclo de subidas de tipos en marzo de 2022, el episodio explosivo colapsó con la misma velocidad con la que se había formado.

La heterogeneidad dentro del basket aporta un matiz analítico importante: no todo el sector verde fue igualmente especulativo. FSLR, con un modelo de negocio consolidado en la manufactura de módulos solares con márgenes operativos positivos durante todo el período, y ORA, con ingresos estables procedentes de contratos de suministro eléctrico a largo plazo, mostraron una dinámica de precios más ligada a los fundamentales. Por el contrario ENPH y PLUG, ambas en fase de expansión acelerada con valoraciones basadas en expectativas de crecimiento futuro más que en beneficios presentes y con modelos de negocio directamente vinculados a la narrativa transformadora del sector, fueron las que exhibieron comportamiento explosivo más pronunciado. Este resultado es coherente con la hipótesis de Pástor et al. (2021): las empresas con mayor exposición a la narrativa de transformación estructural son precisamente las que más se benefician del flujo de capital ESG y por tanto las más susceptibles de exhibir desconexión entre precio y fundamentales cuando ese flujo se intensifica.

4.6. Análisis de robustez

Con el fin de verificar que los resultados anteriores no dependen de la elección específica del parámetro r_0 , se repite el análisis GSADF con un valor alternativo de la ventana mínima: $r_0^{\text{alt}} = 1,5 \times r_0 \approx 0,261$, equivalente a una ventana mínima de 31 observaciones

frente a las 20 del análisis principal.

Tabla 4.8: Análisis de robustez: resultados con $r_0^{\text{alt}} = 1,5 \times r_0$

Serie	GSADF	VC 90 %	VC 95 %	VC 99 %	Significación
CEXX	8,012	1,600	1,839	2,308	***
SPCE	4,007	1,600	1,839	2,308	***
FSLR	1,338	1,600	1,839	2,308	—
ENPH	5,753	1,600	1,839	2,308	***
PLUG	12,225	1,600	1,839	2,308	***
ORA	-0,173	1,600	1,839	2,308	—

***, ** y * denotan significación al 1 %, 5 % y 10 % respectivamente.

$r_0^{\text{alt}} = 0,261$; ventana mínima = 31 observaciones; 2000 réplicas Monte Carlo.

Los resultados de la Tabla 4.8 son cualitativamente idénticos a los del análisis principal. Las cuatro series con burbuja detectada (CEXX, SPCE, ENPH, PLUG) siguen siendo significativas al 99 % con el valor alternativo de r_0 , y las dos series sin burbuja (FSLR, ORA) siguen sin superar el umbral crítico a ningún nivel de confianza. Los estadísticos GSADF son los mismos que en el análisis principal, mientras que los valores críticos disminuyen ligeramente, lo que si acaso refuerza la significación de los resultados. Se concluye que los resultados del análisis son robustos a la elección del parámetro r_0 y no dependen de la especificación concreta de la ventana mínima.

Capítulo 5

Conclusiones

Este capítulo recoge las principales conclusiones del trabajo, discute sus limitaciones y propone líneas de investigación futura. El objetivo del capítulo es sintetizar los hallazgos del análisis empírico en respuesta a la pregunta central del trabajo: ¿exhibieron los activos verdes comportamiento explosivo durante el período 2015–2025 que pueda calificarse como burbuja especulativa comparable a episodios históricos de sobrevalorización sectorial?

5.1. Principales hallazgos

Las conclusiones principales son:

1. **Existe evidencia estadística sólida de burbuja especulativa en los índices verdes.** Durante el período 2020–2021. El test GSADF aplicado al ratio CEXX/S&P 500 y al ratio SPCE/S&P 500 produce estadísticos de 8,012 y 4,007 respectivamente, ambos muy superiores al valor crítico al 99 % de confianza (2,676). La hipótesis nula de ausencia de comportamiento explosivo se rechaza en los dos índices con un nivel de confianza del 99 %. El episodio explosivo se inicia en los meses posteriores a la victoria de Biden en noviembre de 2020 y concluye con el inicio del ciclo de subidas de tipos de la Reserva Federal en marzo de 2022, coincidiendo con precisión con los principales catalizadores macroeconómicos y regulatorios del período
2. **La burbuja no fue homogénea dentro del sector verde.** El análisis a nivel de empresa individual revela una divergencia significativa dentro del basket. Enphase Energy (ENPH) y Plug Power (PLUG) exhiben comportamiento explosivo altamente significativo al 99 % con estadísticos GSADF de 5,753 y 12,225 respectivamente, mientras que First Solar (FSLR) y Ormat Technologies (ORA) no superan el umbral crítico a ningún nivel de significación convencional. Esta heterogeneidad no es aleatoria: ENPH y PLUG son empresas en fase de expansión acelerada con mode-

los de negocio directamente vinculados a las narrativas más especulativas del sector, microinversores solares residenciales e hidrógeno verde, con valoraciones basadas en expectativas de crecimiento futuro más que en beneficios presentes. En cambio FSLR y ORA operan con márgenes positivos e ingresos más estables, lo que ligó más el precio a sus fundamentales.

3. **El episodio especulativo fue detonado por la concurrencia de tres factores interdependientes.** El entorno de tipos de interés excepcionalmente bajos, el tipo de referencia de la Fed entre el 0 % y el 0,25 % desde marzo de 2020, maximizó el valor presente de los flujos de caja futuros de las empresas intensivas en capital, haciendo que sus valoraciones fuesen especialmente sensibles a la narrativa de transformación energética. El flujo masivo de capital ESG generó una demanda estructural de activos verdes que amplificó cualquier impulso alcista. Y la narrativa política de la transición energética, potenciada por la victoria demócrata en noviembre de 2020 y el Plan de Rescate Americano, provocó valoraciones de hasta 74,6 veces ventas en el caso de Plug Power. Cuando el primero de estos factores se revirtió con el inicio del ciclo de subidas de tipos en marzo de 2022 el episodio explosivo colapsó con la misma velocidad con la que se había formado, corroborando su naturaleza especulativa.
4. **El apoyo regulatorio de largo plazo no fue capaz de contrarrestar las condiciones financieras de corto plazo.** La aprobación de la *Inflation Reduction Act* en agosto de 2022, el mayor paquete de incentivos a la energía limpia en la historia de Estados Unidos, con 369.000 millones de dólares comprometidos durante diez años, llegó en plena corrección del sector y no generó ningún nuevo episodio explosivo. Este resultado ilustra una asimetría relevante: las condiciones monetarias de corto plazo determinan las valoraciones de los activos de energía limpia con mayor inmediatez que los cambios en el marco regulatorio de largo plazo, incluso cuando estos son de magnitud histórica.
5. **Los resultados son robustos a la especificación metodológica.** El análisis de robustez con un valor alternativo de la ventana mínima r_0 produce resultados cualitativamente idénticos: las mismas cuatro series con burbuja detectada (CEXX, SPCE, ENPH y PLUG) siguen siendo significativas al 99 % y las dos series sin burbuja (FSLR y ORA) siguen sin superar el umbral crítico. La estabilidad de los resultados ante variaciones en los parámetros del test refuerza la validez de las conclusiones.

Estos hallazgos son coherentes con la hipótesis de Pástor et al. (2021): las empresas con mayor exposición a la narrativa de transformación estructural son las que más se benefician del flujo de capital ESG y por tanto las más susceptibles de exhibir desconexión entre precio y fundamentales cuando ese flujo se intensifica. Al mismo

tiempo los resultados confirman y complementan los de Potrykus et al. (2024) y Lehnert (2023), que identifican comportamiento explosivo en índices de energía verde durante el período pospandemia utilizando distintas metodologías y universos de activos.

5.2. Limitaciones del análisis

El presente trabajo presenta varias limitaciones que conviene señalar explícitamente.

En primer lugar el tamaño del basket de acciones individuales es reducido. La aplicación de criterios rigurosos de selección, cotización continuada desde 2015, actividad operativa directa en energía limpia y capitalización mínima de 500 millones de dólares, resulta en solo cuatro empresas elegibles, lo que limita la capacidad de generalización de las conclusiones a nivel microeconómico. Esta restricción refleja la propia estructura del mercado estadounidense de energía limpia en 2015, que era aún incipiente, pero impide realizar un análisis estadístico más amplio a nivel de empresa individual.

En segundo lugar la frecuencia mensual de los datos, aunque es el estándar en esta literatura, implica una pérdida de información respecto a lo que se podría obtener con datos diarios o semanales. En particular la identificación de las fechas exactas de inicio y fin de los episodios explosivos mediante el estadístico BSADF está sujeta a una imprecisión de varias semanas inherente a la frecuencia mensual.

En tercer lugar la elección del S&P 500 como proxy de fundamentales, aunque está respaldada por Basele et al. (2025) y es metodológicamente consistente, no captura los fundamentales específicos del sector verde. Una alternativa más precisa sería utilizar ratios precio-beneficio o precio-ventas a nivel de índice, pero su disponibilidad histórica para índices ESG es limitada en las bases de datos estándar.

Por último, los valores críticos se obtienen mediante simulación de Monte Carlo estándar, sin implementar el procedimiento de *wild bootstrap* propuesto por Phillips y Shi (2020), que permitiría obtener inferencias más robustas ante la volatilidad de las series analizadas.

5.3. Líneas de investigación futura

Los resultados de este trabajo abren varias líneas de investigación que podrían desarrollarse en trabajos futuros.

Una primera extensión natural consistiría en ampliar el basket de acciones individuales incorporando empresas de mercados europeos y asiáticos con el fin de contrastar si la heterogeneidad observada dentro del sector verde estadounidense se replica a escala internacional. La comparación entre los resultados para empresas cotizadas en diferentes

jurisdicciones regulatorias permitiría evaluar el papel de los marcos normativos locales en la formación de burbujas sectoriales.

Una segunda línea de investigación futura consistiría en aplicar el enfoque de co-burbujas de Potrykus et al. (2024) a las series analizadas en este trabajo, con el fin de determinar si los episodios explosivos detectados en los índices y en las acciones individuales se producen de forma simultánea y si existe una dinámica de contagio entre sub-sectores del mercado verde o entre mercados geográficos.

Una tercera extensión consistiría en incorporar al análisis variables de fundamentales a nivel de empresa como, ingresos, márgenes operativos o ratio deuda/capital para contrastar formalmente si las empresas que exhiben comportamiento explosivo presentan efectivamente una mayor desconexión entre precio y fundamentales operativos que las que no lo exhiben. Este análisis permitiría testar de forma más directa la hipótesis de Pástor et al. (2021) sobre el papel de las preferencias ESG en las valoraciones.

Además una extensión geográfica de especial interés consistiría en replicar el análisis para empresas e índices de energía limpia cotizados en mercados europeos.

Adicionalmente, una extensión metodológica natural consistiría en reemplazar la simulación de Monte Carlo estándar por el procedimiento de *wild bootstrap* de Phillips y Shi (2020) para el cálculo de los valores críticos.

Finalmente resultaría de interés evaluar si el ciclo de recortes de tipos de la Reserva Federal que comenzó en septiembre de 2024 ha dado lugar a nuevos episodios de comportamiento explosivo en los activos verdes, y en qué medida la incertidumbre regulatoria generada por el cambio de administración en Estados Unidos en enero de 2025 ha moderado o contrarrestado el efecto expansivo del entorno monetario más favorable.

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, Nicola Masotti Villanueva, estudiante de Programa de la Universidad Pontificia Comillas al presentar mi Trabajo Fin de Grado titulado *Inversión en Activos verdes y Formación de Burbujas Financieras: un Análisis de Empresas e Índices ESG*, 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. Metodólogo: Para descubrir métodos aplicables a problemas específicos de investigación.
5. Interpretador de código: Para realizar análisis de datos preliminares.
6. Estudios multidisciplinares: Para comprender perspectivas de otras comunidades sobre temas de naturaleza multidisciplinar.
7. Constructor de plantillas: Para diseñar formatos específicos para secciones del trabajo.

8. Corrector de estilo literario y de lenguaje: Para mejorar la calidad lingüística y estilística del texto.
9. Generador previo de diagramas de flujo y contenido: Para esbozar diagramas iniciales.
10. Sintetizador y divulgador de libros complicados: Para resumir y comprender literatura compleja.
11. Generador de datos sintéticos de prueba: Para la creación de conjuntos de datos ficticios.
12. Generador de problemas de ejemplo: Para ilustrar conceptos y técnicas.
13. Revisor: Para recibir sugerencias sobre cómo mejorar y perfeccionar el trabajo con diferentes niveles de exigencia.
14. Generador de encuestas: Para diseñar cuestionarios preliminares.
15. 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: Mayo 2026

Firma: Nicola Masotti Villanueva

Referencias

- Basele, R. B., Phillips, P. C., y Shi, S. (2025). Speculative bubbles in the recent ai boom: Nasdaq and the magnificent seven. *Journal of Time Series Analysis*, 46(5), 814–828.
- Bloomberg Media Studios, y Mubadala. (2022). *Sustainable future study: Insights on where ESG investing is headed* (Inf. Téc.). Bloomberg Media Studios. Descargado de https://assets.contentstack.io/v3/assets/blt57caa63e0368f6e8/blt38cb3a5e9fa0d665/62d85c311ec3551025a1b04a/Bloomberg_Media_Studios_Sustainable_Future_Study_sponsored_by_Mubadala.pdf
- Caspi, I., Katzke, N., y Gupta, R. (2022). exuber: Recursive right-tailed unit root testing with R. *Journal of Statistical Software*, 103(10), 1–29. Descargado de <https://www.jstatsoft.org/article/view/v103i10>
- Diba, B. T., y Grossman, H. I. (1988). Explosive rational bubbles in stock prices? *American Economic Review*, 78(3), 520–530. Descargado de <https://www.jstor.org/stable/1809149>
- Doksæter, E.-S., y Bøckmann, J. A. (2021). *Is there a bubble within ESG stocks on Oslo Stock Exchange? An empirical analysis of the low risk rated ESG stocks in Norway* (Tesis de Master no publicada). OsloMet – Oslo Metropolitan University.
- EpData. (2024). *El cambio climático: datos y gráficos*. Europa Press. Descargado de <https://www.epdata.es/datos/cambio-climatico-datos-graficos/447> (Accedido: 01-05-2026)
- Evans, G. W. (1991). Pitfalls in testing for explosive bubbles in asset prices. *The American Economic Review*, 81(4), 922–930.
- FactSet Research Systems. (2026). *S&p global clean energy transition vs. s&p 500. price performance (may 2016 – may 2026)*. FactSet. Descargado de <https://www.factset.com>
- Fama, E. F. (1970). Efficient capital markets: A review of empirical work. *The Journal of Finance*, 25(2), 383–417. Descargado de <https://www.jstor.org/stable/2325486>
- Gürkaynak, R. S. (2008). Econometric tests of asset price bubbles: taking stock. *Journal of Economic surveys*, 22(1), 166–186.

- Henriques, I., y Sadorsky, P. (2008). Oil prices and the stock prices of alternative energy companies. *Energy Economics*, 30(3), 998–1010.
- Inchauspe, J., Ripple, R. D., y Trück, S. (2016). Financing energy transformation: The role of renewable energy equity indices. *Energy for Sustainable Development*, 35, 73–83.
- International Energy Agency. (2021a). *Clean energy investing: Global comparison of investment returns* (Inf. Téc.). International Energy Agency. Descargado de https://iea.blob.core.windows.net/assets/ef1d6b50-66a6-478c-990e-ee227e2dd89b/Clean_Energy_Investing_-_Global_Comparison_of_Investment_Returns.pdf
- International Energy Agency. (2021b). *Net zero by 2050: A roadmap for the global energy sector* (Inf. Téc.). International Energy Agency. Descargado de <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>
- IPCC. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change. contribution of working group III to the sixth assessment report* (Inf. Téc.). Intergovernmental Panel on Climate Change. Descargado de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
- Kenourgios, D., Drakonaki, M., y Dimitriou, D. (2022). Deconstruction of the green bubble during COVID-19: International evidence. *Sustainability*, 14(6), 3466. doi: 10.3390/su14063466
- Kindleberger, C., y Aliber, R. (2005). *Manias, panics and crashes: a history of financial crises*. Springer.
- Lehnert, T. (2023). The green stock market bubble. *Circular Economy and Sustainability*, 3(3), 1213–1222.
- MacKinnon, J. G. (1996). Numerical distribution functions for unit root and cointegration tests. *Journal of applied econometrics*, 11(6), 601–618.
- Morgan Stanley Investment Management. (2025). *Sustainable fund performance: Second half 2025*. Morgan Stanley. Descargado de <https://www.morganstanley.com/insights/articles/sustainable-fund-performance-second-half-2025> (Morgan Stanley Insights. Accedido: 02-05-2026)
- Parlamento Europeo. (2020). *Taxonomía de la UE: inversiones verdes para impulsar una economía sostenible*. Parlamento Europeo. Descargado de <https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article/20200604ST080509/taxonomia-de-la-ue-inversiones-verdes-para-impulsar-una-economia-sostenible> (Actualizado noviembre 2023)
- Pástor, L., Stambaugh, R. F., y Taylor, L. A. (2021). Sustainable investing in equilibrium. *Journal of financial economics*, 142(2), 550–571.
- Pavlova, I., y de Boyrie, M. E. (2022). ESG ETFs and the COVID-19 stock market crash of 2020: Did clean funds fare better? *Finance Research Letters*, 44, 102051. doi: 10.1016/j.frl.2021.102051

- Phillips, P. C., y Shi, S. (2020). Real time monitoring of asset markets: Bubbles and crises. En *Handbook of statistics* (Vol. 42, pp. 61–80). Elsevier.
- Phillips, P. C., Shi, S., y Yu, J. (2015). Testing for multiple bubbles: Historical episodes of exuberance and collapse in the s&p 500. *International economic review*, 56(4), 1043–1078.
- Phillips, P. C., Wu, Y., y Yu, J. (2011). Explosive behavior in the 1990s Nasdaq: When did exuberance escalate asset values? *International Economic Review*, 52(1), 201–226. Descargado de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1468-2354.2010.00625.x>
- Potrykus, M., Ramzan, I., Mazhar, M., y Bouri, E. (2024). Price bubbles and co-bubbles in the green economy market. *Journal of Environmental Management*, 370, 122678.
- Schütze, F., y Stede, J. (2021). Green finance in Europe – strategy, regulation and instruments. *Intereconomics*, 56(6), 323–332. Descargado de <https://www.intereconomics.eu/contents/year/2021/number/6/article/green-finance-in-europe-strategy-regulation-and-instruments.html>
- Shiller, R. J. (1981). Do stock prices move too much to be justified by subsequent changes in dividends? *American Economic Review*, 71(3), 421–436. Descargado de <https://www.aeaweb.org/aer/top20/71.3.421-436.pdf>
- Shiller, R. J. (2015). Irrational exuberance: Revised and expanded third edition.
- S&P Dow Jones Indices. (2023). *S&p global clean energy index: Index methodology* (Inf. Téc.). S&P Dow Jones Indices LLC. Descargado de <https://www.spglobal.com/spdji/en/brochure/article/sp-global-clean-energy-index-brochure/>
- United Nations Framework Convention on Climate Change. (2015). *The Paris agreement* (Inf. Téc.). United Nations. Descargado de <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- West, K. D. (1987). A specification test for speculative bubbles. *The quarterly journal of economics*, 102(3), 553–580.