

El desempeño económico del EU ETS

(Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de
la Unión Europea)



MOTIVACIÓN

- El problema del **cambio climático** se ha convertido en un tema de preocupación mundial en los ámbitos científico, político y económico.
- El calentamiento global se produce por un incremento **de la concentración** en la atmósfera de los **gases** de efecto invernadero que se debe sobre todo al **consumo de combustibles fósiles**, como el **carbón**, **petróleo** y el **gas** en la producción de energía, en el transporte y en la industria.
- El **Comercio de Derecho de Emisiones** tiene su origen en el **Protocolo de Kioto**. Es un instrumento de mercado que persigue que un **conjunto de plantas industriales reduzcan colectivamente las emisiones de gases** contaminantes a la atmósfera.



MOTIVACIÓN

- Algunos **elementos relevantes** dentro de este comercio son:
 - ✓ **Techo de emisiones** o volumen total de **derechos de emisión que se ponen en circulación**. El techo se sitúa por debajo de lo que correspondería a un escenario de emisiones tendenciales, dando **valor económico al derecho de emisión al crear escasez**.
 - ✓ **Derecho de emisión** o derecho a emitir una **determinada cantidad de gases** a la atmósfera. Es un bien transferible: se puede comprar o vender.
 - ✓ **Asignación de derechos** es el mecanismo por el que se **reparten los derechos de emisión** entre las instalaciones afectadas. Puede hacerse de forma gratuita, mediante subasta, etc.



MOTIVACIÓN

- ✓ **Registro de derechos** que es un registro electrónico que sirve para llevar la contabilidad de los derechos de emisión en circulación: **cuántos hay y a quién pertenecen**.
- ✓ **Cumplimiento** por el que las instalaciones afectadas por el comercio de derechos de emisión deben entregar una cantidad de derechos equivalente a las emisiones reales producidas. Este **régimen sancionador** garantiza su cumplimiento, estableciendo multas por tonelada de gas emitida que no haya quedado cubierta por un derecho de emisión.

MOTIVACIÓN

- Existen **mercados de emisiones** que operan en distintos países, que implican a muchos sectores y que afectan a **diferentes gases de efecto invernadero**.
- El **1 de enero de 2005**, la **Unión Europea** puso en marcha el **mercado de CO₂** más ambicioso hasta la fecha, el **EU ETS** (European Union Emissions Trading System), centrado en las emisiones que se pueden medir, registrar y comprobar con una elevada precisión.
- El **EU ETS** afecta globalmente a **más de 10.000 instalaciones**; más de **2.000 millones de toneladas de CO₂** y en torno al 45% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero.
- En el **caso español** afecta a casi **1.100 instalaciones** y un **45% de las emisiones totales nacionales** de todos los gases de efecto invernadero.

MOTIVACIÓN

- En el sistema EU ETS se diferencian cuatro fases.
- ✓ La **Fase I**, comprendida entre el **1 de enero de 2005** y el **31 de diciembre de 2007**, fue una **fase piloto de “aprendizaje práctico”**. Durante esta fase se creó la infraestructura necesaria para controlar, registrar y verificar las emisiones reales de las empresas afectadas.
- ✓ La **Fase II**, entre el **1 de enero de 2008** y el **31 de diciembre de 2012**, coincidió con el **“primer período de compromiso”** del Protocolo de Kioto. Un período de cinco años durante el que la UE y sus Estados miembros debían cumplir sus objetivos de emisiones.



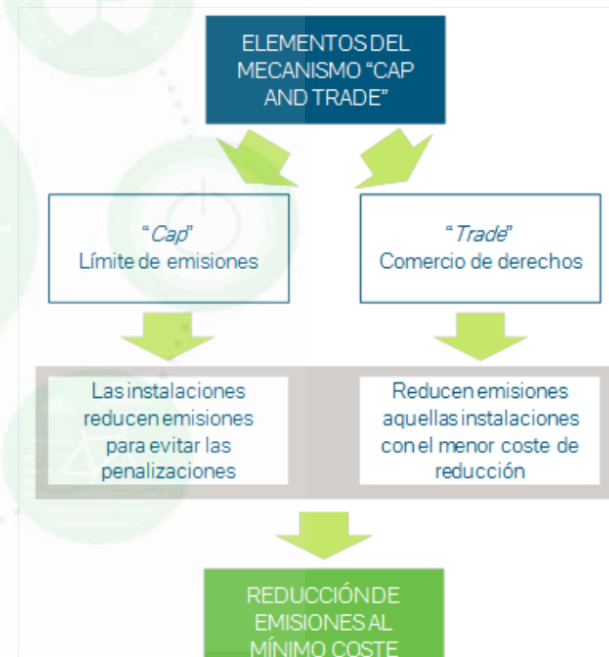
MOTIVACIÓN

- ✓ La **Fase III** del EU ETS va desde el **1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020**. Esta fase impone **objetivos de reducción de emisiones más exigentes** y la cantidad total a asignar a nivel europeo **disminuye linealmente un 1,74% anual** durante el periodo 2013-2020.
- ✓ La **Fase IV** del EU ETS va desde el **1 de enero de 2021 hasta el 31 de diciembre de 2030**. Los principios de la Fase III siguen siendo los mismos durante este cuarto período. Se amplía el esquema a **más sectores industriales y nuevos gases de efecto invernadero**.

MOTIVACIÓN

Es un esquema **“cap and trade”**, un mecanismo de mercado para incentivar la **reducción de emisiones de gases de CO₂ al mínimo coste**. El funcionamiento de este esquema se basa en dos conceptos clave:

- (a) **tope de emisiones (“cap”)**
- (b) **comercio de derechos de emisión (“trade”)** con un **valor económico** ya que existe sólo un número finito. Los factores determinantes de este valor económico son:
 - **penalización** por incumplir
 - **coste de los “sustitutivos”**



MOTIVACIÓN

Objetivo UE:
reducir emisiones
gases efecto
invernadero
producidas por el
hombre

Límite en el
número de
derechos de
emisión
EUA*

Escasez

Compañías
tienen incentivos
a invertir en
tecnología limpia

 **Precios de EUA**
(European Union Allowances)

La **entrada de tecnologías menos contaminantes** (como las energías renovables) alivian el esfuerzo de reducción de emisiones.

Un crecimiento económico sostenido a medio o largo plazo y **límites de emisiones cada vez más restrictivos** en el futuro provocan que el **precio de los derechos de emisión sea cada vez mayor**, al ser más costoso alcanzar reducciones adicionales de emisiones.

MOTIVACIÓN

Dentro de este contexto, nuestro interés se centra en **analizar el desempeño económico del EU ETS** desde el punto de vista de tres agentes:

- 1) Responsables políticos.** Los responsables políticos al tomar sus decisiones deberían considerar no solo la reducción de CO₂, sino también la influencia de este objetivo de reducción de la contaminación en el desempeño económico de las empresas. Es decir, **se trata de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero pero de una manera rentable y económicamente eficiente.**
- 2) Empresas.** En ese caso, interesa analizar la evolución de la **eficiencia técnica y medioambiental** de las empresas españolas, hasta qué punto las empresas son responsables en su producción.
- 3) Inversores.** Análisis de la **interrelación entre los precios de los derechos y los mercados bursátiles energéticos.**



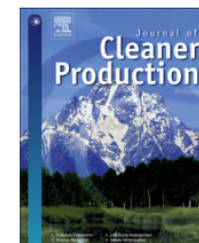
El desempeño económico del EU ETS desde el punto de vista de los responsables políticos



Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Cleaner Production

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jclepro



Environmental versus economic performance in the EU ETS from the point of view of policy makers: A statistical analysis based on copulas

Sara Segura ^a, Luis Ferruz ^a, Pilar Gargallo ^b, Manuel Salvador ^{b,*}

^a Departamento de Contabilidad y Finanzas, Facultad de Economía y Empresa, University of Zaragoza, Spain

^b Departamento de Estructura e Historia Económica y Economía Pública, Facultad de Economía y Empresa, University of Zaragoza, Spain



OBJETIVO

Este artículo analiza la **relación entre el desempeño económico y ambiental** de una muestra de empresas españolas implicadas en el EU ETS con el fin de proporcionar más información a las instituciones responsable de desarrollar estas políticas.

El **desempeño ambiental** se mide como la proporción de emisiones de CO₂ por encima de los derechos de emisión asignados (ratio EA):

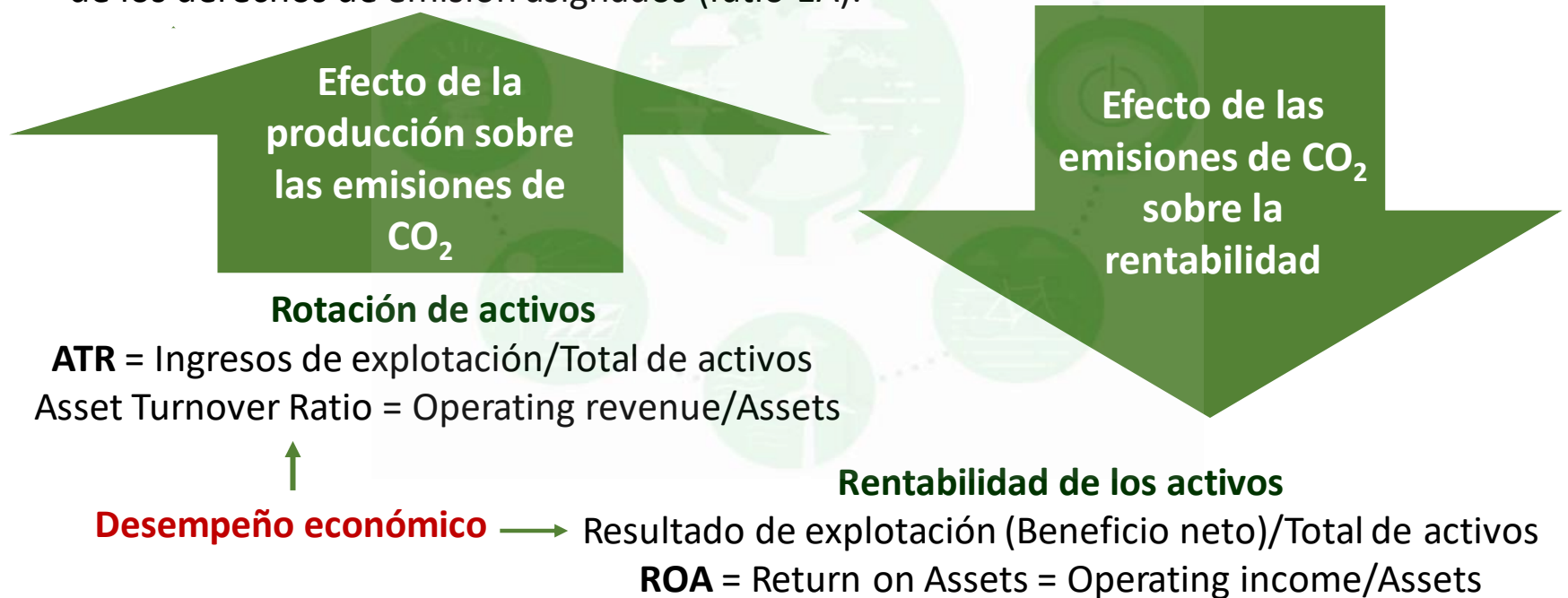
$$EA_{i,t} = \frac{E_{i,t}}{A_{i,t}}$$

donde $A_{i,t}$ representa los derechos de emisión asignados, y $E_{i,t}$ representa las emisiones de CO₂ emitidas realmente por la empresa i en el instante t .

OBJETIVO

Este artículo analiza la **relación entre el desempeño económico y ambiental** de una muestra de empresas españolas implicadas en el EU ETS con el fin de proporcionar más información a las instituciones responsable de desarrollar estas políticas.

El **desempeño ambiental** se mide como la proporción de emisiones de CO₂ por encima de los derechos de emisión asignados (ratio EA):



METODOLOGÍA

Para abordar nuestro objetivo de analizar, por un lado, el **efecto de la producción (ATR) sobre las emisiones de CO₂ (EA)** y, por otro lado, el **efecto de la emisión de CO₂ (EA) sobre la rentabilidad (ROA)** determinamos **sendas regresiones cuantil** que describen esta influencia, no solo en el centro de su distribución conjunta, sino también en las zonas intermedias y en las colas, lo que le da un mayor nivel de profundidad al estudio.

Utilizamos una **metodología estadística basada en cópulas** que nos permite analizar la relación entre estas variables **sin requerir los supuestos de normalidad y linealidad conjunta** (que no se cumplen), dotando así al estudio de una mayor flexibilidad y realismo.



METODOLOGÍA

Para eliminar algunos posibles sesgos, incluimos un conjunto de **características que pueden influir en la relación entre el desempeño medioambiental y el desempeño económico**. Estas características son:

Tamaño de la empresa medido a través de su total de activos ($\log(\text{Assets})$) puesto que afecta tanto al nivel de emisiones de CO₂ como a los resultados económicos.

Riesgo de la empresa medido a través de la relación deuda-capital. Cuanto más alta sea la relación, más utiliza la empresa la deuda para financiar sus operaciones. Por tanto, si sus ingresos caen, no podrá cumplir con los pagos de la deuda. Mientras que una empresa con un ratio bajo estará mejor preparada para hacer frente a una disminución ingresos.

Sector de la empresa que influye tanto en el nivel de sus emisiones de CO₂ como en los resultados económicos. Hemos dividido las empresas en 4 sectores (**empresas energéticas, empresas químicas y de procesamiento de metales, otras industrias manufactureras** (alimentación, textil, cuero, calzado y confección, caucho y papel) y **otros sectores** (construcción, transporte y comunicaciones y servicios).



METODOLOGÍA (Efecto ATR sobre EA)

Sea N_t el número de empresas observadas en el período $t \in \{1, \dots, T\}$.

Sean $\{(EA_{i,t}, ROA_{i,t}, ATR_{i,t}, Size_{i,t}, Risk_{i,t}, \mathbf{Sector}_{i,t})'; i = 1, \dots, N_t; t = 1, \dots, T\}$ los datos observados

La influencia de ATR en EA se estima con las líneas de regresión cuantil condicionales:

$$EA_t = Q_{p,t}(EA_t | ATR_t, Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t) \quad | \quad 0 < p < 1, t = 1, \dots, T$$

Para calcularlas usamos **cóputas para modelar la distribución conjunta** condicional

$$F_{1,2,t}(ATR_t, EA_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t) = C_t(F_{1,t}(ATR_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t), F_{2,t}(EA_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t))$$

$$\left. \begin{array}{l} F_{1,t}(ATR_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t), \\ F_{2,t}(EA_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t) \end{array} \right\} \text{distribuciones marginales}$$

$C_t(u_1, u_2)$ { **función de cóputa** que modela la relación de dependencia entre ATR y EA condicionada al Tamaño (Size), Riesgo (Risk) y Sector (Sector) en el período t

METODOLOGÍA (Efecto ATR sobre EA)

$$f_{1,2,t}(ATR_t, EA_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t) = c_t(F_{1,t}(ATR_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t), F_{2,t}(EA_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t)) f_{1,t}(ATR_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t) f_{2,t}(EA_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t)$$

A partir de aquí se puede obtener la función de densidad condicionada

$$EA_t | ATR_t, Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t$$

dada por:

$$f_{2|1,t}(EA_t | ATR_t, Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t) = c_t(F_{1,t}(ATR_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t), F_{2,t}(EA_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t)) f_{1,t}(ATR_t | Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t)$$

el cuantil $Q_{p,t}(EA_t | ATR_t, Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t)$ será calculado resolviendo la ecuación:

$$P(EA_t \leq Q_{p,t}(EA_t | ATR_t, Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t) | ATR_t, Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t) = Q_{p,t}(EA_t | ATR_t, Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t) \int_{-\infty}^{\infty} f_{2|1,t}(y | ATR_t, Size_t, Risk_t, \mathbf{Sector}_t) dy = p$$

RESULTADOS

Existencia de tres períodos correspondientes a las Fases I, II y III del EU ETS.

- ✓ Durante la Fase I (2005-2007), la **relación entre EA y ROA fue débil** y, en el caso del **EA y ATR no fue significativa**.
- ✓ En la Fase II (2008-2012), la eficiencia del EU ETS fue mayor, las asignaciones se ajustaron mejor a las actividades de las empresas y **las empresas con valores de EA cercanos a 1 fueron las más productivas y rentables**.
- ✓ La **misma tendencia ocurrió en la Fase III** (2013-2015), donde se observó una **reducción significativa de los niveles de emisiones de CO₂ pero con valores de EA más altos e incluso mayores que 1**, especialmente en los sectores de Energía y Otras Manufacturas (incluyendo Alimentos, Textiles, Cuero, Calzado y Vestuario, y Caucho). e industrias del papel).

Por tanto, aunque **la política medioambiental del EU ETS cumplía parcialmente su objetivo de reducir las emisiones de CO₂**, parecía necesario **fomentar las inversiones verdes para disminuir los niveles demasiado altos de EA**, y así cumplir con la política de asignación de derechos de emisión de la Unión Europea.



El desempeño económico del EU ETS desde el punto de vista de las empresas



OBJETIVOS

Nos centramos en las **empresas energéticas españolas** que integraban el EU ETS en el **período 2005-2012** con dos objetivos en mente:

Objetivo 1)

Dado que estas empresas tenían como objetivo aumentar la eficiencia energética, se pretendían **medir sus eficiencias técnica y medioambiental**.

Objetivo 2)

Dado que estas empresas tenían **límites de emisiones de CO₂ impuestos por el EU ETS**, se pretendía **analizar su relación con su nivel óptimo de emisiones**, teniendo en cuenta las características de cada empresa. De esta manera tratamos de **calibrar si las políticas de control del EU ETS fueron demasiado estrictas o demasiado indulgentes**.



METODOLOGÍA

Para medir la eficiencia técnica y ambiental de cada empresa utilizamos un **modelo de frontera estocástica con dos outputs**: uno bueno (producción) y uno malo (emisiones).

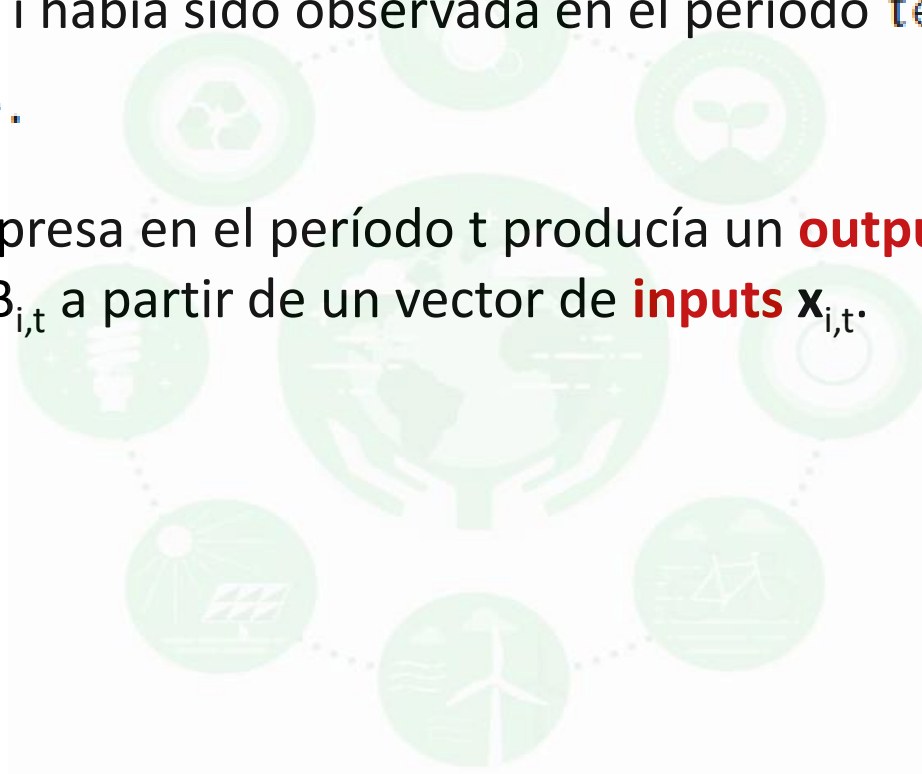
Para estimar el modelo utilizamos métodos bayesianos, que son muy útiles para estimar modelos con variables latentes, como en nuestro caso lo son la eficiencia técnica y ambiental.

La **frontera medioambiental** estimada proporciona, para cada empresa, su **nivel óptimo de emisiones de CO₂**, que se compara con su límite impuesto por el EU ETS utilizando la **técnica de la regresión cuantil**. De esta forma, **analizando las discrepancias entre ambas cantidades, se podía calibrar el nivel de exigencia de las políticas de control de EU ETS**.

PLANTEAMIENTO

Consideramos un **panel desequilibrado** de $i = 1, \dots, N$ empresas, donde cada empresa i había sido observada en el período $t \in T_i$, donde $T_i \subset \{1, \dots, T\}$.

La i -ésima empresa en el período t producía un **output bueno** $Y_{i,t}$ y un **output malo** $B_{i,t}$ a partir de un vector de **inputs** $x_{i,t}$.



PLANTEAMIENTO

Consideramos un **panel desequilibrado** de $i = 1, \dots, N$ empresas, donde cada empresa i había sido observada en el período $t \in T_i$, donde $T_i \subset \{1, \dots, T\}$.

La i -ésima empresa en el período t producía un **output bueno** $Y_{i,t}$ y un **output malo** $B_{i,t}$ a partir de un vector de **inputs** $x_{i,t}$.

Emisiones de CO₂ liberadas durante el proceso de generación de electricidad

Vector de insumos necesarios para obtener estos productos (Trabajo, Capital y Suministros)

Electricidad producida por las centrales eléctricas



PLANTEAMIENTO

Consideramos un **panel desequilibrado** de $i = 1, \dots, N$ empresas, donde cada empresa i había sido observada en el período $t \in T_i$, donde $T_i \subset \{1, \dots, T\}$.

La i -ésima empresa en el período t producía un **output bueno** $Y_{i,t}$ y un **output malo** $B_{i,t}$ a partir de un vector de **inputs** $x_{i,t}$.

↓
Emisiones de CO₂ liberadas durante el proceso de generación de electricidad

↓
Vector de insumos necesarios para obtener estos productos (Trabajo, Capital y Suministros)

↑
Electricidad producida por las centrales eléctricas

Inputs: **Mano de obra** (Gastos de personal en millones de euros), **Capital** (Amortización de activos en millones de euros) y **Suministros** (Suministros tales como compras de energía, combustible gastos de consumo y transporte en millones de euros).

PLANTEAMIENTO

Consideramos un **panel desequilibrado** de $i = 1, \dots, N$ empresas, donde cada empresa i había sido observada en el período $t \in T_i$, donde $T_i \subset \{1, \dots, T\}$.

La i -ésima empresa en el período t producía un **output bueno** $Y_{i,t}$ y un **output malo** $B_{i,t}$ a partir de un vector de **inputs** $x_{i,t}$.

Para la **frontera de producción** consideramos una **especificación Cobb-Douglas** que contiene un término independiente y es **lineal en los logaritmos de los inputs**. Para la **frontera medioambiental** consideramos que era **función únicamente del output bueno**. Para capturar la influencia de variables omitidas a lo largo del tiempo incluimos variables dummy de tiempo.



PLANTEAMIENTO

MODELO DE FRONTERA DE PRODUCCIÓN

Máximo nivel de producción para una cantidad de inputs dada

$$y_{i,t} = \boxed{\mathbf{x}'_{i,t} \boldsymbol{\beta}_y} - z_i^y + \varepsilon_{i,t}^y \quad \text{con } \varepsilon_{i,t}^y \sim N(0, \sigma_y^2)$$

$$y_{i,t} = \log(Y_{i,t})$$

$$\mathbf{x}'_{i,t} = (\log(\text{Labour}_{i,t}), \log(\text{Capital}_{i,t}), \log(\text{Supplies}_{i,t}), I_{2005}, I_{2006}, I_{2007}, I_{2008}, I_{2009}, I_{2010}, I_{2011}, I_{2012})$$

MODELO DE FRONTERA MEDIOAMBIENTAL

Nivel mínimo de emisiones de CO₂ para un nivel dado de producción energética

$$b_{i,t} = \boxed{\mathbf{y}'_{i,t} \boldsymbol{\beta}_b} + z_i^b + \varepsilon_{i,t}^b \quad \text{con } \varepsilon_{i,t}^b \sim N(0, \sigma_b^2)$$

$$b_{i,t} = \log(B_{i,t})$$

$$\mathbf{y}'_{i,t} = (\log(Y_{i,t}), I_{2005}, I_{2006}, I_{2007}, I_{2008}, I_{2009}, I_{2010}, I_{2011}, I_{2012})$$

PLANTEAMIENTO

MODELO DE FRONTERA DE PRODUCCIÓN

Desviaciones del nivel máximo de producción.

Cuanto mayor es su valor más ineficiente técnicamente es la empresa

$$y_{i,t} = \mathbf{x}'_{i,t} \boldsymbol{\beta}_y - \boxed{z_i^y} + \varepsilon_{i,t}^y \quad \text{con} \quad \varepsilon_{i,t}^y \sim N(0, \sigma_y^2)$$

Ineficiencia técnica

$$y_{i,t} = \log(Y_{i,t})$$

$$\mathbf{x}'_{i,t} = (\log(\text{Labour}_{i,t}), \log(\text{Capital}_{i,t}), \log(\text{Supplies}_{i,t}), I_{2005}, I_{2006}, I_{2007}, I_{2008}, I_{2009}, I_{2010}, I_{2011}, I_{2012})$$

MODELO DE FRONTERA MEDIOAMBIENTAL

Desviaciones del nivel mínimo de emisiones.

Cuanto mayor es su valor más ineficiente ambientalmente es la empresa

$$b_{i,t} = \mathbf{y}'_{i,t} \boldsymbol{\beta}_b + \boxed{z_i^b} + \varepsilon_{i,t}^b \quad \text{con} \quad \varepsilon_{i,t}^b \sim N(0, \sigma_b^2)$$

Ineficiencia medioambiental

$$b_{i,t} = \log(B_{i,t})$$

$$\mathbf{y}'_{i,t} = (\log(Y_{i,t}), I_{2005}, I_{2006}, I_{2007}, I_{2008}, I_{2009}, I_{2010}, I_{2011}, I_{2012})$$

PLANTEAMIENTO

Asumimos que las ineficiencias técnica y medioambiental son **constantes en el tiempo** para cada empresa y que **podían existir características g_i (px1) que podían afectar las distribuciones de las ineficiencias**. En nuestro caso, consideramos únicamente el **tamaño de la empresa como variable explicativa** de las distribuciones de ambas ineficiencias:

$$\begin{pmatrix} z_i^y \\ z_i^b \end{pmatrix} | g_i \sim \text{TN}_{2^{R^+ \times R^+}} \left(\begin{pmatrix} \mu_i^y \\ \mu_i^b \end{pmatrix}, \Omega \right) \text{ con } \begin{pmatrix} \mu_i^y \\ \mu_i^b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_y' \\ \phi_b' \end{pmatrix} g_i$$

$\text{TN}_p^A(\mathbf{m}, \mathbf{S})$ denota una distribución normal p-dimensional truncada en el conjunto A con vector de medias $\mathbf{m}$ y matriz de covarianza $\mathbf{S}$.



CONCLUSIONES

Las **empresas técnicamente eficientes** tendían a ser **también ambientalmente eficientes**. Por tanto, los gerentes deben convencerse de que **ambos tipos de eficiencia no son objetivos contradictorios, sino que pueden ser alcanzable simultáneamente**.

Las **grandes empresas tendían a ser más eficientes en términos técnicos**. Sin embargo, mientras que el tamaño es un factor menos determinante para la eficiencia ambiental, sí **había algunas empresas grandes a las que les va muy mal medioambientalmente**. Por ello, los gerentes de las **grandes empresas deberían prestar más atención a sus ineficiencias ambientales**, mientras que los de las **empresas pequeñas deberían centrarse más en políticas para mejorar su eficiencia técnica**.

EVALUACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DE LOS DERECHOS ASIGNADOS POR EL EU ETS

Analizamos si las emisiones de CO₂ asignadas a una empresa por el EU ETS fueron apropiados en cada año, en el sentido de que estaban en línea con su nivel óptimo de emisiones. Para ello, comparamos para cada empresa i en el periodo t el nivel óptimo de emisiones de CO₂ estimado por nuestro modelo que viene dado por:

$$\exp(y'_{i,t}\beta_b)$$

con la cantidad A_{it} asignada por el EU ETS. En realidad calculamos las diferencias:

$$d_{it}(\beta_b) = y'_{i,t}\beta_b - \log(A_{it}) ; t = 1, \dots, T; i = 1, \dots, n_t$$



EVALUACIÓN DE LA CALIBRACIÓN DE LOS DERECHOS ASIGNADOS POR EL EU ETS

Para analizar la influencia del nivel de ineficiencia ambiental en esta diferencia establecimos la siguiente **regresión cuantil**, con el fin de analizar las diferencias no solo en el centro de su distribución, sino también en sus zonas intermedias y en la cola.

$$\text{Quantile}_{\theta}(d_{i,t}(\beta_b) | z_i^b) = \alpha_{\theta} + \gamma_{\theta} z_i^b$$

En este caso, el valor de $(\alpha_{\theta}, \gamma_{\theta})$ lo obtuvimos minimizando:

$$\min_{(\alpha_{\theta}, \gamma_{\theta})} \left\{ \theta \sum_{i: d_{i,t}(\beta_b) \geq \alpha_{\theta} + \gamma_{\theta} z_i^b} |d_{i,t}(\beta_b) - \alpha_{\theta} - \gamma_{\theta} z_i^b| + (1 - \theta) \sum_{i: d_{i,t}(\beta_b) < \alpha_{\theta} + \gamma_{\theta} z_i^b} |d_{i,t}(\beta_b) - \alpha_{\theta} - \gamma_{\theta} z_i^b| \right\}$$

Si estas diferencias **no son significativamente diferentes de 0** entonces podríamos confirmar que **las políticas de control de EU ETS están bien calibradas**.



CONCLUSIONES

En **el periodo analizado**, nuestros resultados destacan que los **requisitos implícitos en el EU ETS fueron demasiado indulgentes** porque **los derechos de emisión de CO₂ asignados a cada empresa fueron significativamente mayores que los niveles de emisiones eficientes esperados** durante toda la muestra período, siendo estas diferencias mayores para las empresas más ineficientes.

Por ello, creemos que el **EU ETS debe imponer límites más ajustados a las emisiones de CO₂** para poder gestionar el comportamiento medioambiental de las empresas y **mejorar su eficiencia**, puesto que como hemos demostrado no existe conflicto para poder alcanzar mayores niveles de eficiencia técnica.

El desempeño económico del EU ETS desde el punto de vista de los inversores



MOTIVACIÓN

El **esquema del EU ETS** surgió con el fin de poder crear un **estímulo para reducir las emisiones** de CO₂ mediante la sustitución de **energías sucias por renovables**,, En este contexto, queríamos **averiguar si las empresas de energía limpia, alineadas con su papel hacia iniciativas socialmente responsables, están ganando aceptación en términos de inversiones**, lo que sería beneficioso para el medio ambiente.

Para conseguir que el EU ETS pueda ser el motor que ayude a cumplir con los objetivos de una **transición energética hacia fuentes renovables dentro de una perspectiva de economía circular**, es **necesario realizar un análisis riguroso** que incluya los **principales mercados financieros involucrados**, y su relación con el **precio de los EUA**.

Este análisis permitirá **identificar los canales de transmisión de la volatilidad y la correlación entre los mercados financieros energéticos y el EU ETS** e intentar proporcionar una base científica que muestre el **interés de incorporar activos sostenibles en el diseño de estrategias de inversión de mínimo riesgo**.



MOTIVACIÓN

Concretamente, nos interesaría poder responder a las siguientes cuestiones:

- ¿Los **precios de los permisos motivan a invertir en acciones de empresas de energías renovables y desincentivan la inversión en acciones de empresas dedicadas a petróleo y gas?**
- ¿Influye el **precio de las acciones de ambos tipos de compañías energéticas en los precios de los permisos?**
- ¿Existe **relación entre los precios de las acciones de empresas de energías renovables y los de las empresas de energías fósiles (petróleo y gas)?**.

Article

Co-Movements between Eu Ets and the Energy Markets: A Var-Dcc-Garch Approach

Pilar Gargallo ¹, Luis Lample ², Jesús A. Miguel ¹ and Manuel Salvador ^{1,*}

Mathematics **2021**, *9*, 1787. <https://doi.org/10.3390/math9151787>

OBJETIVOS

- ✓ El objetivo principal de este trabajo es **analizar dinámicamente la relación entre el EU ETS**, los **precios de las energías fósiles** y **el mercado bursátil de las empresas energéticas**, así como su persistencia en el tiempo. Para ello, utilizamos la familia de modelos **VAR-DCC-GARCH** que proporciona un marco muy adecuado para describir la **evolución conjunta de estas series, teniendo en cuenta su carácter heterocedástico**, así como la **evolución temporal de las correlaciones** existentes entre ellas.
- ✓ Otro objetivo consiste en cuantificar el **tamaño** y la **persistencia** de esas conexiones a través del análisis de las **funciones impulso-respuesta del vector de medias y de las matrices de volatilidad y de correlación**, para varios shocks aleatorios y distintos horizontes temporales. El análisis de estas **funciones impulso-respuesta** de estos momentos permiten captar los patrones existentes en la **evolución conjunta de la serie en términos del binomio riesgo-rentabilidad**, que constituye información crucial para el diseño de carteras de inversión.



DATOS

Precios diarios de los **derechos de emisión**, de dos materias primas (**petróleo y gas**), y precios diarios de cierre de tres índices bursátiles (empresas de **energías limpias**, empresas **petroleras y de gas** y empresas **industriales**).

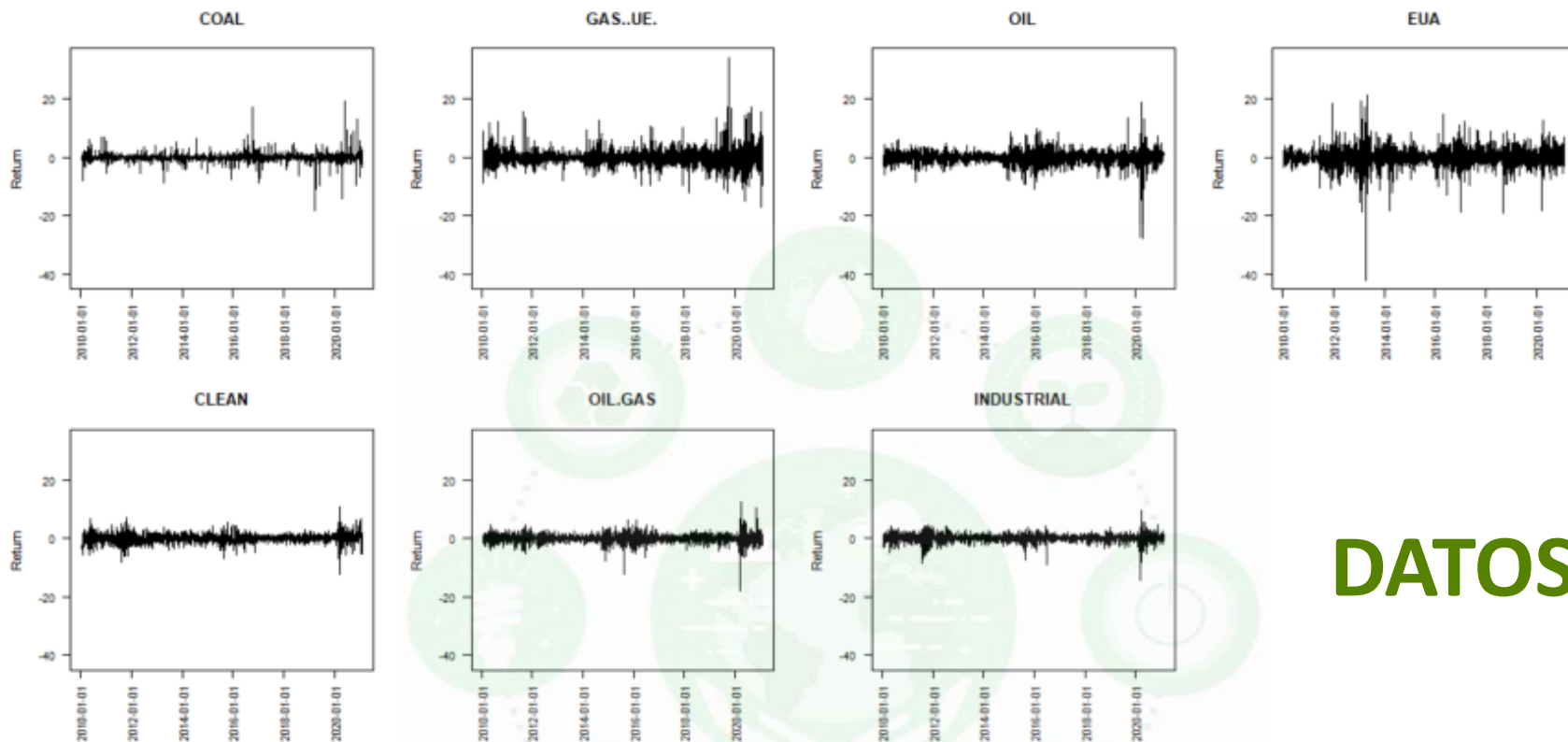
Periodo: 19/01/**2010** hasta 05/02/**2021**

Número de observaciones: **2675**

Todas las variables están **expresadas en euros**

Puesto que las **series en niveles son no estacionarias** y porque interesan más desde nuestro punto de vista financiero, vamos a trabajar con las series de **rentabilidades diarias continuas**





DATOS

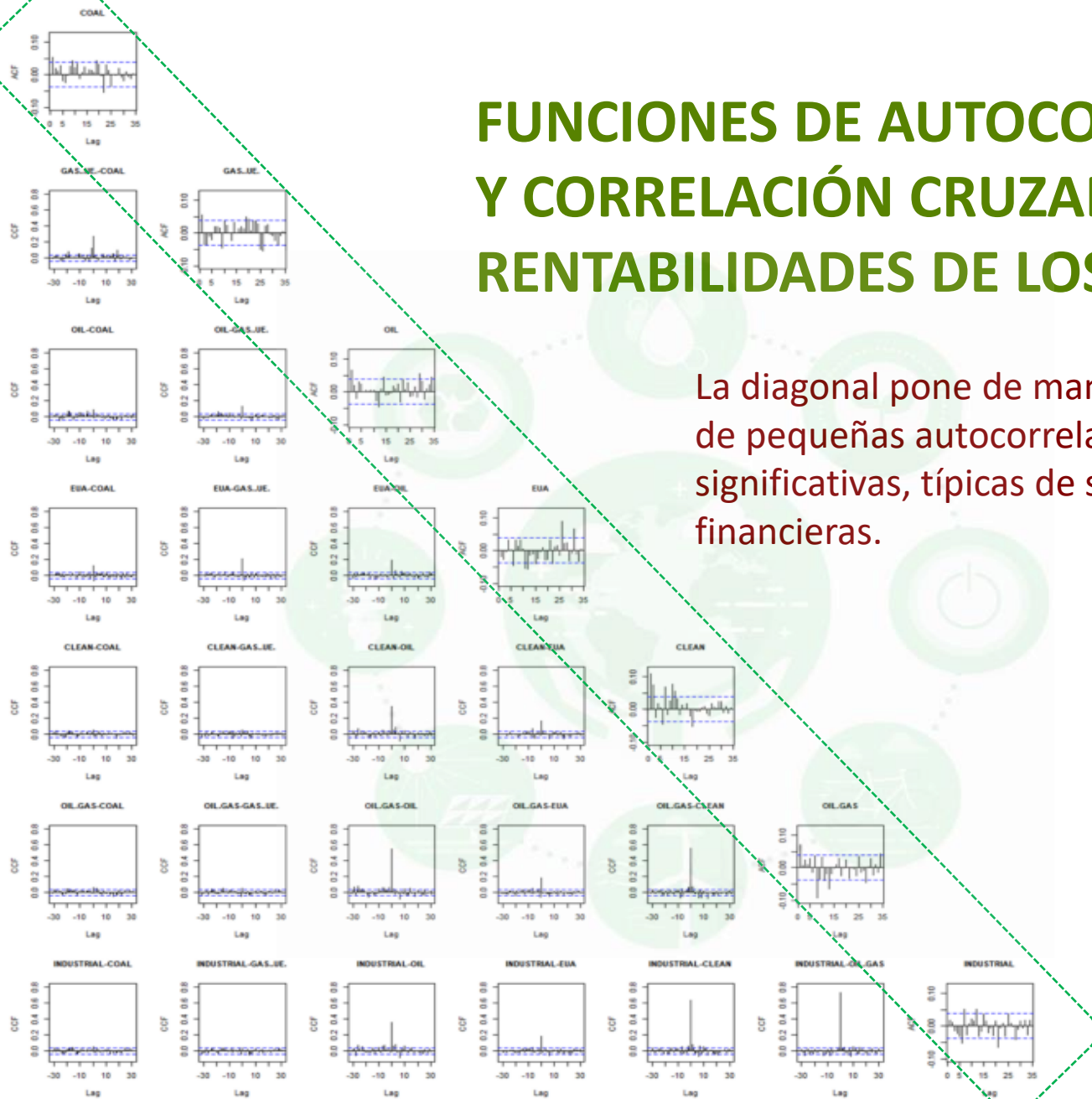
Descriptive analysis of the daily returns of the seven series.

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Dev.	Skewness	Kurtosis
COAL	-18,090	19,416	-0.009	1394	0.737 *	47,574 *
GAS.UE	-17,253	34,275	0.012	2926	1.098 *	11,975 *
OIL	-27,976	19,077	-0.009	2303	-1.043 *	21,159 *
EUA	-42,252	21,586	0.039	3244	-0.979 *	15,572 *
CLEAN	-12,497	11,033	0.013	1527	-0.606 *	7415 *
OIL.GAS	-17,953	12,387	-0.012	1527	-1.067 *	17,061 *
INDUSTRIAL	-14,344	9414	0.041	1337	-0.928 *	9818 *

* Significant at 0.1%.

FUNCIONES DE AUTOCORRELACIÓN Y CORRELACIÓN CRUZADA DE LAS RENTABILIDADES DE LOS 7 ACTIVOS

La diagonal pone de manifiesto la existencia de pequeñas autocorrelaciones no significativas, típicas de series temporales financieras.



FUNCIONES DE AUTOCORRELACIÓN Y CORRELACIÓN CRUZADA DE LAS RENTABILIDADES DE LOS 7 ACTIVOS



Gráfico matricial con las **funciones de correlación cruzada de todas las rentabilidades** fuera de la diagonal y sus **funciones de autocorrelación** en la diagonal.

EL MODELO

Series de **precios diarios de los activos** financieros considerados

$$\{p_{i,t}; i = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T\}$$

Series de **rentabilidades financieras diarias**

$$\{\mathbf{r}_t = (r_{1,t}, \dots, r_{N,t})'; t = 1, \dots, T\}$$

$$r_{i,t} = 100 \cdot \log\left(\frac{P_{i,t}}{P_{i,t-1}}\right)$$

Asumimos que:

$$\mathbf{r}_t | \mathcal{F}_{t-1} = \boldsymbol{\mu}_t + \boldsymbol{\varepsilon}_t$$

$\mathcal{F}_t = \{\mathbf{r}_1, \dots, \mathbf{r}_t\}$ el conjunto de información en el periodo t

$\boldsymbol{\mu}_t = E[\mathbf{r}_t | \mathcal{F}_{t-1}]$ el vector de medias condicional en el periodo t

$\text{var}(\mathbf{r}_t | \mathcal{F}_{t-1}) = \text{var}(\boldsymbol{\varepsilon}_t | \mathcal{F}_{t-1}) = \mathbf{H}_t$ matriz de varianzas y covarianzas condicional

$\boldsymbol{\varepsilon}_t = (\varepsilon_{1,t}, \dots, \varepsilon_{N,t})'$ el termino de error en el periodo t

EL MODELO

El **vector de medias condicional** se modeliza de acuerdo a un modelo vectorial autorregresivo de orden K siendo K el número de retardos VAR (K) dado por:

$$\mu_t = \sum_{k=1}^K \Phi_k r_{t-k} \quad \text{donde K representa el número de retardos}$$

Resultados de la estimación de los coeficientes de un modelo VAR(1)

Coefficients	COAL(-1)	GAS.UE(-1)	OIL(-1)	EUA(-1)	CLEAN(-1)	OIL.GAS(-1)	INDUSTRIAL(-1)
COAL	0.02338 (0.24255)	0.05579 ** (0.00000)	0.00922 (0.51479)	-0.00919 (0.28874)	0.02650 (0.25299)	-0.05097 * (0.07805)	0.03341 (0.30190)
GAS.UE	0.02176 (0.60628)	0.05417 ** (0.00818)	-0.00455 (0.87886)	0.00584 (0.74917)	0.01190 (0.80771)	-0.10689 * (0.07985)	-0.01403 (0.83716)
OIL	-0.03012 (0.36423)	-0.00792 (0.62306)	0.07510 ** (0.00138)	0.00359 (0.80293)	0.06640 * (0.08432)	0.01437 (0.76465)	-0.13066 ** (0.01498)
EUA	-0.11469 ** (0.01410)	-0.05019 ** (0.02686)	-0.01282 (0.69803)	0.00617 (0.76041)	0.04902 (0.36527)	-0.15851 ** (0.01894)	0.04049 (0.59218)
CLEAN	-0.04084 * (0.06196)	0.01264 (0.23390)	0.00291 (0.85097)	0.01138 (0.22939)	0.13734 ** (0.00000)	0.05042 (0.11099)	-0.11047 ** (0.00180)
OIL.GAS	-0.01479 (0.50154)	-0.00295 (0.78264)	0.00410 (0.79208)	-0.01071 (0.26052)	0.06667 ** (0.00891)	0.06888 ** (0.03034)	-0.05208 (0.14340)
INDUSTRIAL	-0.01428 (0.45801)	-0.00292 (0.75483)	0.02909 ** (0.03263)	-0.01063 (0.20168)	0.09595 ** (0.00002)	0.00449 (0.87190)	-0.06639 ** (0.03298)

The p-values are enclosed in parentheses, indicated with * significant at 10% and ** significant at 5%.

EL MODELO

DCC(M_1, M_2)-GARCH(P, Q)

$$\mathbf{H}_t = \mathbf{D}_t \mathbf{R}_t \mathbf{D}_t$$

$$\mathbf{D}_t = \text{diag}(\sqrt{h_{11,t}}, \dots, \sqrt{h_{NN,t}}) \quad h_{ii,t} = \text{var}(r_{i,t} | \mathcal{F}_{t-1}) \text{ for } i = 1, \dots, N$$

GARCH(P, Q)

$$\text{diag}(\mathbf{H}_t) = \mathbf{\Omega} + \sum_{p=1}^P \mathbf{A}_p \varepsilon_{t-p} \odot \varepsilon_{t-p} + \sum_{q=1}^Q \mathbf{B}_q \text{diag}(\mathbf{H}_{t-q})$$

$$\mathbf{\Omega} = \text{diag}(\omega_i)$$

$$\{\mathbf{A}_p = \text{diag}(\alpha_{i,p}); p = 1, \dots, P\}$$

$$\{\mathbf{B}_q = \text{diag}(\beta_{i,q}); q = 1, \dots, Q\}$$

EL MODELO

DCC(M_1, M_2)-GARCH(P, Q)

$$\mathbf{H}_t = \mathbf{D}_t \mathbf{R}_t \mathbf{D}_t$$

$$\mathbf{R}_t = \mathbf{Q}_t^{*-1} \mathbf{Q}_t \mathbf{Q}_t^{*-1}$$

$$\mathbf{Q}_t = \bar{\mathbf{Q}} + \sum_{m=1}^{M_1} a_m \left(\mathbf{z}_{t-m} \mathbf{z}_{t-m}' - \bar{\mathbf{Q}} \right) + \sum_{n=1}^{M_2} b_n \left(\mathbf{Q}_{t-m} - \bar{\mathbf{Q}} \right)$$

$$\mathbf{Q}_t^* = \text{diag}(\mathbf{Q}_t)$$

$\mathbf{z}_t = \mathbf{D}_t^{-1} \varepsilon_t$ residuos estandarizados

$\bar{\mathbf{Q}}$ matriz de covarianzas incondicional de los residuos estandarizados

$$\sum_{m=1}^{M_1} a_m + \sum_{n=1}^{M_2} b_n < 1,$$

EL MODELO

PROCEDIMIENTO DE ESTIMACIÓN

Los parámetros del modelo se estiman en un procedimiento de tres pasos:

Paso 1.- Estimación del modelo VAR (K) para r_t

En este paso obtenemos $\hat{\varepsilon}_t$ una estimación de los residuos ε_t

Paso 2.- Estimación del modelo GARCH (P,Q) para cada serie de residuos univariante $\{\hat{\varepsilon}_{i,t}; i = 1, \dots, n; t = 1, \dots, T\}$ obteniendo así una estimación de la matriz

$$\hat{D}_t = \text{diag}\left(\sqrt{\hat{h}_{11,t}}, \dots, \sqrt{\hat{h}_{NN,t}}\right), t = 1, \dots, T$$

Paso 3.- Estimación de los parámetros $a_1, \dots, a_{M1}$ and $b_1, \dots, b_{M2}$ maximizando esta pseudo-log-verosimilitud

$$L = \begin{cases} L_1 \text{ if } \mathbf{z}_t \sim N(0, \mathbf{R}_t) \\ L_2 \text{ if } \mathbf{z}_t \sim t_v(0, \mathbf{R}_t) \\ L_3 \text{ if } \mathbf{z}_t \sim L(0, \mathbf{R}_t) \end{cases}$$



SELECCIÓN DEL MODELO

	VAR(1)-GARCH(1,1)-DCC(1,1)			VAR(2)-GARCH(1,1)-DCC(1,1)			VAR(3)-GARCH(1,1)-DCC(1,1)		
Distribution	AIC	BIC	HQC	AIC	BIC	HQC	AIC	BIC	HQC
M. Normal	25.127	25.332	25.202	25.160	25.473	25.273	25.201	25.622	25.353
M. T Student	24.319	24.526	24.394	24.357	24.672	24.471	24.408	24.831	24.561
M. Laplace	24.655	24.860	24.729	24.698	25.011	24.811	24.759	25.180	24.912

ESTIMACIÓN DEL MODELO SELECCIONADO

Coefficients	COAL	GAS.UE	OIL	EUA	CLEAN	OIL.GAS	INDUSTRIAL
ω_i	0.0098 ** (0.0374)	0.0629 * (0.0504)	0.0325 ** (0.0328)	0.1089 ** (0.0479)	0.0286 ** (0.0107)	0.0226 ** (0.0104)	0.0394 ** (0.0000)
α_i	0.0087 * (0.0527)	0.1051 ** (0.0000)	0.0797 ** (0.0000)	0.1196 ** (0.0000)	0.01018 ** (0.0000)	0.0925 ** (0.0001)	0.1106 ** (0.0000)
β_i	0.9866 ** (0.0000)	0.8939 ** (0.0000)	0.9179 ** (0.0000)	0.8794 ** (0.0000)	0.8880 ** (0.0000)	0.9019 ** (0.0000)	0.8666 ** (0.0000)
a	0.0116 ** (0.0000)	Todos los coeficientes son significativos y la persistencia de la volatilidad es muy alta en todas las series, oscilando entre 0,90 y 0,999. Esto indica, por un lado, el carácter heterocedástico de la serie (los coeficientes alfa son todos significativamente diferentes de cero). También es alta la persistencia en correlación (b está muy cerca de 1).					
b	0.9683 ** (0.0000)						
v	6.3634 ** (0.0000)						

The p-values are enclosed in parentheses, indicated with * significant at 10% and ** significant at 5%.

ESTIMACIÓN DEL MODELO

Esta figura muestra la **volatilidad estimada** de las rentabilidades diarias de las siete series **en las celdas diagonales**



ESTIMACIÓN DEL MODELO

La **correlación estimada** entre dos variables aparecen en las celdas **fuera de la diagonal**. Una línea horizontal roja marca el valor medio que correspondería a un modelo de correlación constante (modelo CCC).



ESTIMACIÓN DEL MODELO

Se pueden distinguir **tres grupos de activos** de acuerdo a la importancia de sus correlaciones:

- COAL y GAS
- OIL, CLEAN, OIL.GAS e INDUSTRIAL
- EUA

Tienen correlaciones relevantes intragrupos e insignificantes entre grupos.

Correlaciones significativas con todas las series



FUNCIONES IMPULSO RESPUESTA

Las **funciones impulso respuesta** representan los mecanismos a través de los cuales los shocks se propagan en el tiempo. Su propósito principal es describir la evolución de las variables del modelo como reacción a un shock en una o en varias de ellas.

Estas funciones exploran la **dinámica de un shock en el error del modelo en la predicción de la media, varianza y correlación de las variables**. Para simplificar las expresiones, a continuación detallamos estas funciones para el modelo **VAR (1) -DCC (1,1) -GARCH (1,1)**, que es el que hemos seleccionado en nuestra aplicación empírica.

$VIRF_M$ - Función impulso respuesta para la media condicional

$VIRF_H$ - Función impulso respuesta para la matriz de varianzas y covarianzas condicionales

$VIRF_R$ - Función impulso respuesta para la matriz de correlaciones condicionales



FUNCIONES IMPULSO RESPUESTA

VECTOR DE MEDIAS CONDICIONALES

Como suponemos que $\mu_t = E[r_t | \mathcal{F}_{t-1}] = \Phi_1 r_{t-1}$

$$\text{VIRF}_M(h, \mathcal{F}_{t-1}) = E[r_{t+h} | z_t = e_t, \mathcal{F}_{t-1}] - E[r_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}]$$

h representa el horizonte de predicción
 e_t es el shock estandarizado en el instante t

$$\text{VIRF}_M(h, \mathcal{F}_{t-1}) = \Phi_1 \text{VIRF}_M(h-1, \mathcal{F}_{t-1}), \text{ when } h \geq 1$$

$$\text{VIRF}_M(0, \mathcal{F}_{t-1}) = H_t^{1/2} e_t$$

FUNCIONES IMPULSO RESPUESTA

MATRIZ DE VARIANZAS Y COVARIANZAS CONDICIONALES

$$\text{VIRF}_H(h, \mathcal{F}_{t-1}) = E[\mathbf{H}_{t+h} | \mathbf{z}_t = \mathbf{e}_t, \mathcal{F}_{t-1}] - E[\mathbf{H}_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}]$$

$$E[\mathbf{H}_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}] \cong E[\mathbf{D}_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}] E[\mathbf{R}_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}] E[\mathbf{D}_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}]$$

$$\text{VIRF}_D(h, \mathcal{F}_{t-1}) = E[\mathbf{D}_{t+h}^2 | \mathbf{z}_t = \mathbf{e}_t, \mathcal{F}_{t-1}] - E[\mathbf{D}_{t+h}^2 | \mathcal{F}_{t-1}]$$

$$\text{VIRF}_R(h, \mathcal{F}_{t-1}) = E[\mathbf{R}_{t+h} | \mathbf{z}_t = \mathbf{e}_t, \mathcal{F}_{t-1}] - E[\mathbf{R}_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}]$$

FUNCIONES IMPULSO RESPUESTA

VARIANZAS CONDICIONALES

$$\text{VIRF}_D(h, \mathcal{F}_{t-1}) = E\left[\mathbf{D}_{t+h}^2 | \mathbf{z}_t = \mathbf{e}_t, \mathcal{F}_{t-1}\right] - E\left[\mathbf{D}_{t+h}^2 | \mathcal{F}_{t-1}\right]$$

$$\text{diag}(\mathbf{H}_t) = \mathbf{\Omega} + \mathbf{A}\mathbf{\varepsilon}_{t-1} \odot \mathbf{\varepsilon}_{t-1} + \mathbf{B}\text{diag}(\mathbf{H}_{t-1})$$

$$\text{VIRF}_D(h, \mathcal{F}_{t-1}) = (\mathbf{A} + \mathbf{B})\text{VIRF}_D(h-1, \mathcal{F}_{t-1}), \text{ when } h > 1$$

$$\text{VIRF}_D(1, \mathcal{F}_{t-1}) = \mathbf{A} \cdot \text{diag}\left(\mathbf{H}_t^{\frac{1}{2}} (\mathbf{e}_t \mathbf{e}_t' - \mathbf{I}_N) \mathbf{H}_t^{\frac{1}{2}}\right)$$



FUNCIONES IMPULSO RESPUESTA

MATRIZ DE CORRELACIONES CONDICIONALES

$$\text{VIRF}_R(h, \mathcal{F}_{t-1}) = E[\mathbf{R}_{t+h} | \mathbf{z}_t = \mathbf{e}_t, \mathcal{F}_{t-1}] - E[\mathbf{R}_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}]$$

$$E[\mathbf{R}_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}] \approx E[\mathbf{Q}_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}]$$

$$\text{VIRF}_R(h, \mathcal{F}_{t-1}) \approx E[\mathbf{Q}_{t+h} | \mathbf{z}_t = \mathbf{e}_t, \mathcal{F}_{t-1}] - E[\mathbf{Q}_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}]$$

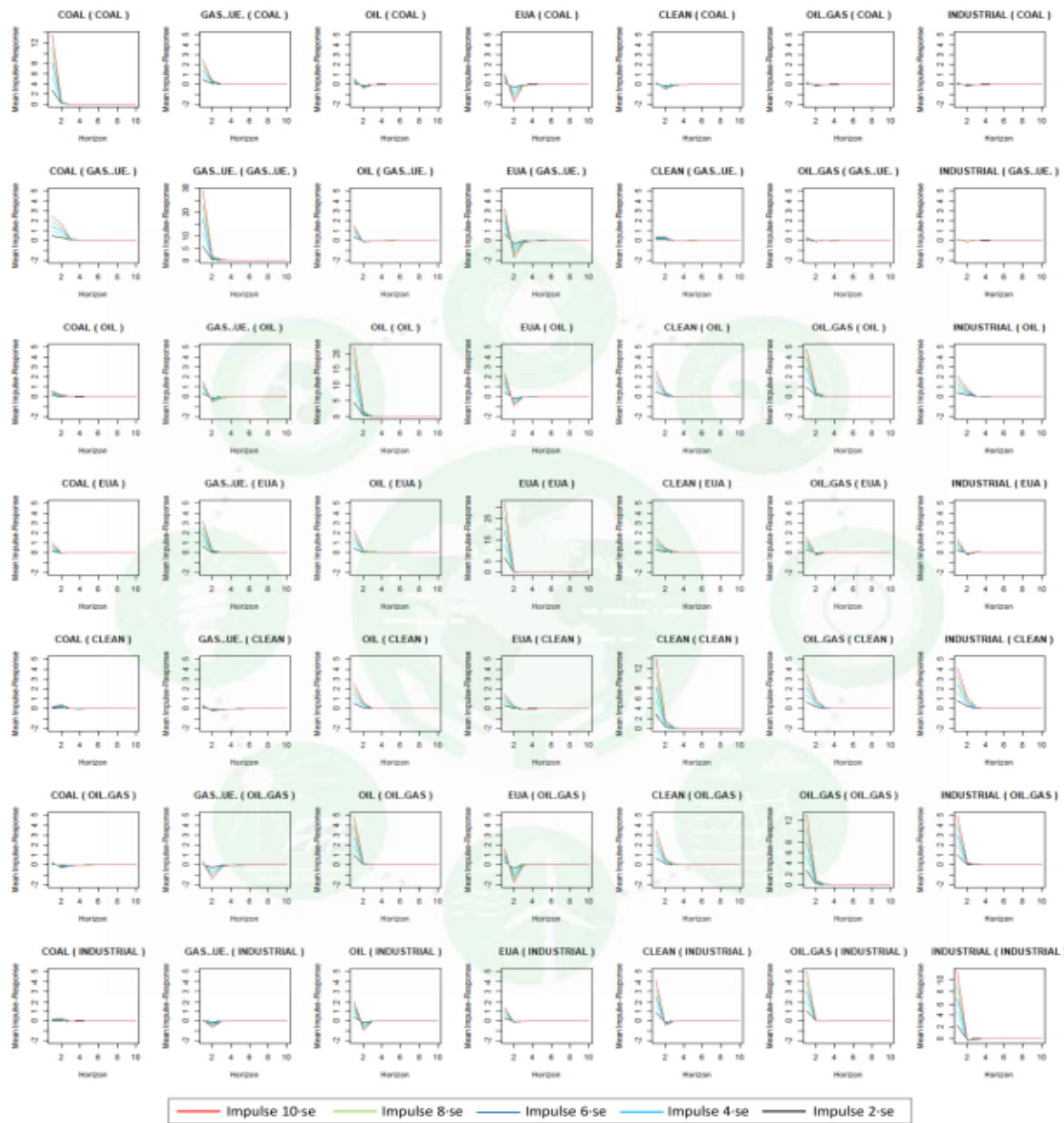
$$E[\mathbf{Q}_{t+h} | \mathcal{F}_{t-1}] = (1 - a - b)\bar{\mathbf{Q}} + a\mathbf{z}_{t+h-1}\mathbf{z}_{t+h-1}' + bE[\mathbf{Q}_{t+h-1} | \mathcal{F}_{t-1}]$$

$$\text{VIRF}_R(h, \mathcal{F}_{t-1}) = (a + b)\text{VIRF}_R(h - 1, \mathcal{F}_{t-1}), \text{ when } h > 1$$

$$\text{VIRF}_R(1, \mathcal{F}_{t-1}) = a \cdot \mathbf{D}_t^{-1} \mathbf{H}_t^{\frac{1}{2}} (\mathbf{e}_t \mathbf{e}_t' - \mathbf{I}_N) \mathbf{H}_t^{\frac{1}{2}} \mathbf{D}_t^{-1}$$



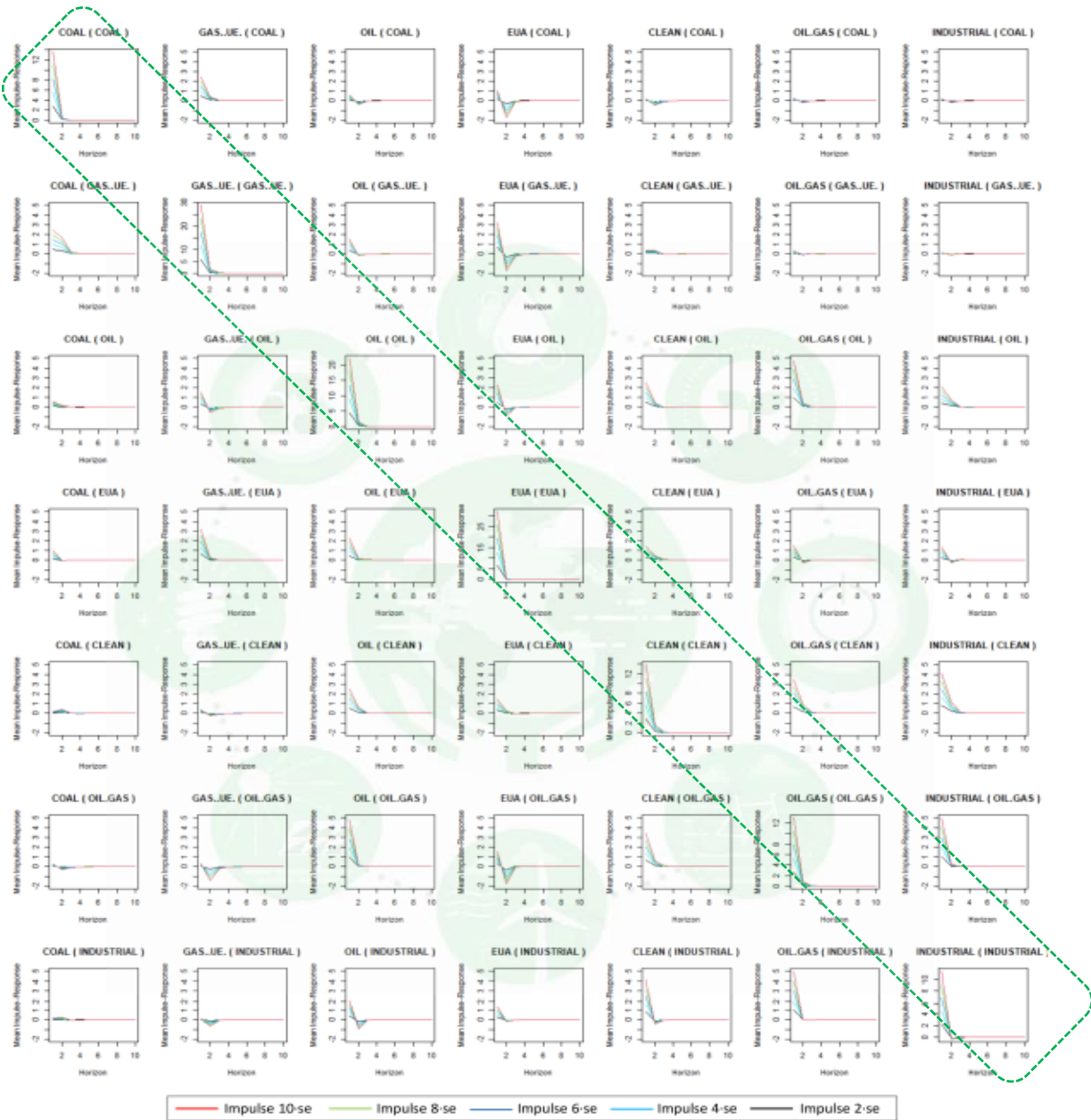
FUNCIONES IMPULSO RESPUESTA PARA LA MEDIA CONDICIONAL



Cada fila corresponde a la variable impulsada y cada columna a la respuesta de cada variable.

FUNCIONES IMPULSO RESPUESTA PARA LA MEDIA CONDICIONAL

Los efectos desaparecen rápidamente debido al fuerte carácter de reversión a la media de todas las series



La diagonal contiene la respuesta de cada variable a su impacto. Los mayores efectos ocurren dentro de los tres bloques comentados, por su alto nivel de intra-conexión, mientras que los efectos más bajos se producen entre series de diferentes bloques



FUNCIONES IMPULSO RESPUESTA PARA LA MEDIA CONDICIONAL

Los efectos desaparecen rápidamente debido al fuerte carácter de reversión a la media de todas las series



La diagonal contiene la respuesta de cada variable a su impacto. Los mayores efectos ocurren dentro de los tres bloques comentados, por su alto nivel de intra-conexión, mientras que los efectos más bajos se producen entre series de diferentes bloques



Para cada serie, los principales impactos de volatilidad se producen como respuesta a sus propios shocks. Con respecto a las celdas fuera de la diagonal, los principales impactos corresponden a algunos de las series interconectadas.



FUNCIONES IMPULSO RESPUESTA PARA LA VARIANZA CONDICIONAL

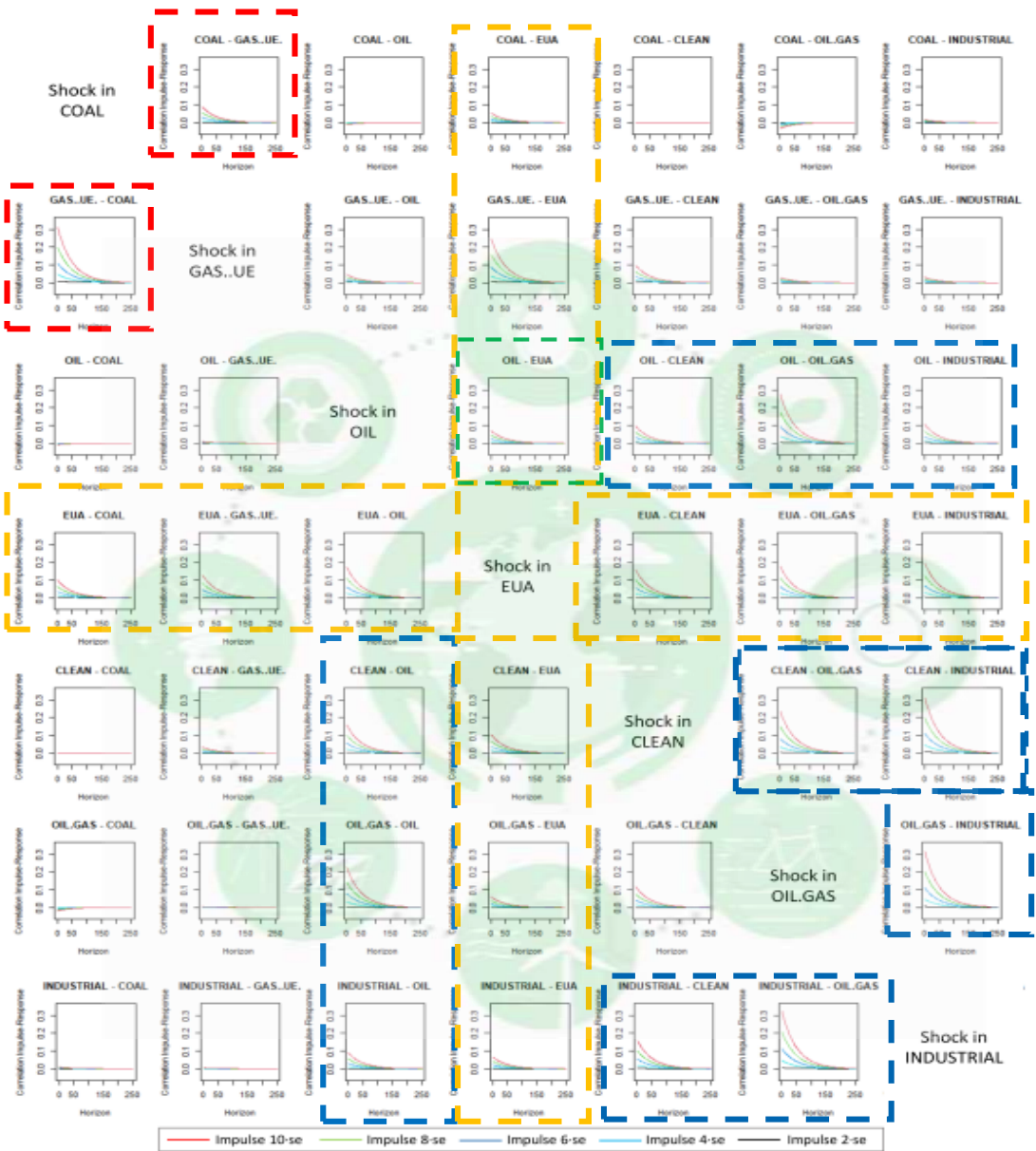
FUNCIONES IMPULSO RESPUESTA PARA LA VARIANZA CONDICIONAL



Además, en todos los casos, un mayor tamaño del impulso implica una mayor respuesta en volatilidad. En general, los efectos son duraderos debido a la alta persistencia de la volatilidad



FUNCIONES IMPULSO RESPUESTA PARA LA MATRIZ DE CORRELACIONES CONDICIONAL



Los mayores impactos sobre la correlación se dan entre las series de los
grupos anteriormente descritos
COAL y GAS
OIL, CLEAN, OIL.GAS e INDUSTRIAL
EUA afecta a todos pero principalmente a COAL



CONCLUSIONES

Existencia de **tres grupos de activos** con poca influencia entre sí.

- ✓ Un grupo está compuesto por **COAL y GAS.UE**, un segundo grupo por **OIL, CLEAN, OIL.GAS e INDUSTRIAL** y, por último, un tercer grupo por solo los precios de los **EUA**.
- ✓ Los **dos primeros grupos tienden a moverse simultáneamente** en la misma dirección con **correlaciones significativamente positivas y con alta persistencia en la volatilidad**. Aunque si bien es cierto que las correlaciones cambian con el tiempo, fluctúan relativamente poco alrededor de un valor promedio y también reflejan una alta persistencia.
- ✓ En cuanto a la **rentabilidad de los derechos de emisión de CO₂**, su **correlación es positiva con todas las series de rentabilidades, aunque no es muy fuerte**. Los **impactos más importantes** de los shocks EUA sobre los rendimientos esperados y el riesgo se ejercen **sobre sí mismo y sobre GAS.UE**, y viceversa.



CONCLUSIONES

- ✓ El **impacto sobre la media tiene una duración máxima de dos días**, y se potencian con shocks que afectan a otras variables cuando son del mismo signo, y se compensan si son de diferente signo. **La persistencia de los impactos sobre la volatilidad es alta** y se observa un efecto potenciador de EUA sobre GAS.UE cuando se combina con un shock en COAL, mientras que este impulso hacia arriba ocurre en EUA si el shock en el GAS.UE se combina con shocks de otras variables.
- ✓ Finalmente, **los impactos más significativos en las correlaciones del EUA con otra variable son los que ejercen los shocks que afectan a ellas mismas**. Estos impactos aumentan el valor de la correlación y, por tanto, la **posibilidad de un efecto de sinergia de riesgo entre ellos**. Este efecto es persistente y mayor cuanto mayor es el valor absoluto del shock. Además, este efecto se potencia si se producen simultáneamente shocks del mismo signo en ambas variables.

¿ES POSIBLE NO INCREMENTAR EL RIESGO INVIRTIENDO ÚNICAMENTE EN ENERGÍAS LIMPIAS?

MOTIVACIÓN

- La **evolución tecnológica** y la **reducción de los costes** de producción en el sector de las energías limpias, es señal de que la industria está madurando.
- El **interés de los gobiernos** en tema de sostenibilidad. Las energías renovables están incluidas en la agenda gubernamental de la Unión Europea (**un 27% del total de energía utilizada debe proceder de fuentes renovables en 2030**).
- No obstante, a pesar de que las **tendencias de inversión son positivas**, se necesita invertir mucho más en energías renovables para poder **cumplir con los objetivos de desarrollo sostenible**.
- La transición energética no se acelerará hasta que **los inversores reconozcan que cambiar a una energía más sostenible no solo es esencial para detener el cambio climático, sino que también tiene un sentido económico sólido**.

OBJETIVO

- En este trabajo se analiza el **mercado de la energía desde una perspectiva de selección y valoración de activos**. Para ello se realiza un análisis de la **interrelación entre los precios de los derechos de emisión y mercados bursátiles**.
- Los resultados constituyen una **información muy útil** para que los inversores en el mercado energético **construyan sus carteras** alcanzando menores niveles de volatilidad, mayores rentabilidades o ambas. Este trabajo pretende demostrar que **es posible reducir el riesgo invirtiendo en carteras formadas únicamente por** acciones de empresas del sector de las **energías limpias**.

OBJETIVO

- Se realiza un **estudio comparativo dinámico** de la volatilidad de **tres tipos de carteras**: una cartera formada exclusivamente por energías fósiles, una cartera formada sólo por acciones de empresas en el sector de las energías limpias y una cartera combinada con los dos tipos de energía.
- La significación de las **diferencias en volatilidad** se analiza utilizando la **metodología propuesta por Engle y Colacito (2006)** que tiene en cuenta su valor económico.
- La **interrelación entre los precios** de los diferentes activos se lleva a cabo mediante una **estrategia dinámica basada en modelos GARCH multivariantes** que **selecciona aquellos modelos que proporcionan la mejor estimación de la evolución de la matriz de varianzas y covarianzas** de las rentabilidades diarias de los activos.



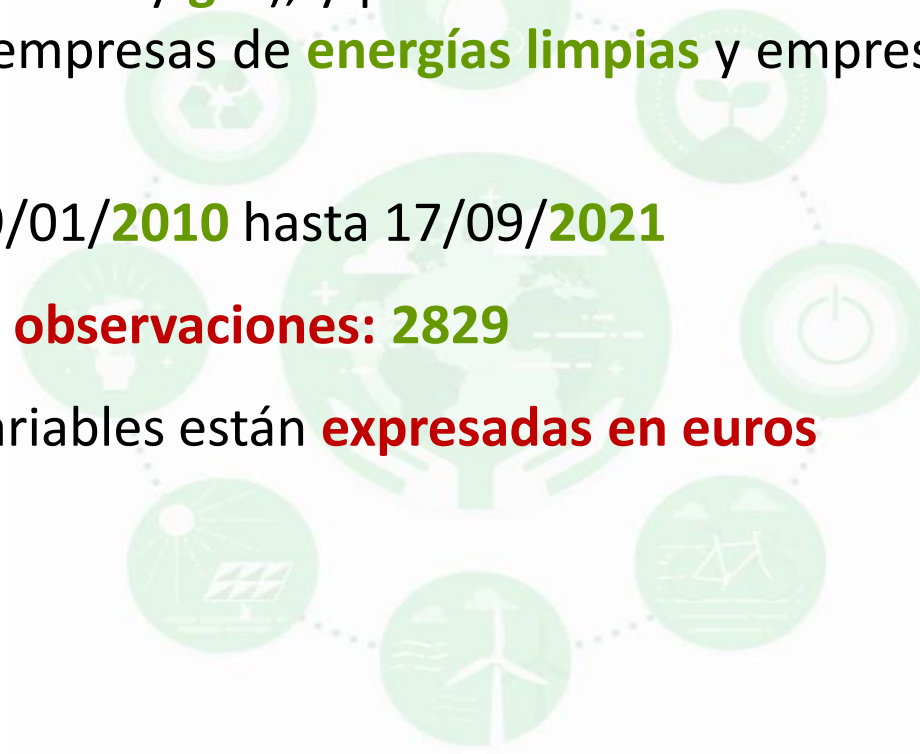
DATOS

Precios diarios de los **derechos de emisión**, de dos materias primas (**petróleo** y **gas**), y precios diarios de cierre de dos índices bursátiles (empresas de **energías limpias** y empresas **petroleras y de gas**).

Periodo: 19/01/**2010** hasta 17/09/**2021**

Número de observaciones: **2829**

Todas las variables están **expresadas en euros**



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Seleccionar la mejor cartera, es decir, los **pesos de cada activo que componen la cartera óptima**. Por tanto, tendremos que resolver el siguiente **problema de optimización**:

$$\begin{aligned} \min_{\mathbf{w}_t} \text{Var}(\mathbf{w}_t' \mathbf{r}_t \mid I_{t-1}) &= \mathbf{w}_t' \Omega_t \mathbf{w}_t \\ \text{s.a.} \quad \mathbf{w}_t' \boldsymbol{\mu}_t &= \mu_0 \end{aligned}$$

siendo $\Omega_t = \text{Cov}(\mathbf{r}_t \mid I_{t-1})$ matriz de varianzas y covarianzas condicional de $\mathbf{r}_t$ e I_t información disponible en el periodo t

La solución viene dada por el vector de pesos $\mathbf{w}_t^* = \frac{\Omega_t^{-1} \boldsymbol{\mu}_t}{\boldsymbol{\mu}_t' \Omega_t^{-1} \boldsymbol{\mu}_t} \mu_0$

Nota.- La suma de los pesos de N activos en el instante t no tiene porque ser 1 ($\sum_{i=1}^N w_{i,t} \neq 1$) de hecho el peso restante $1 - \sum_{i=1}^N w_{i,t}$ corresponde al activo libre de riesgo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Si estimamos la matriz de varianzas y covarianzas Ω_t por una matriz H_t la solución para **los pesos vendría dada** por:

$$\mathbf{w}_t = \frac{H_t^{-1} \mu_t}{\mu_t' H_t^{-1} \mu_t} \mu_0$$

Con las dos soluciones $\mathbf{w}_t^*$ y $\mathbf{w}_t$ podemos calcular las **desviaciones estándar de la cartera**:

$$\frac{\sigma_t^*}{\mu_0} = \frac{\sqrt{\mathbf{w}_t^{*'} \Omega_t \mathbf{w}_t^*}}{\mu_0} = \sqrt{\frac{1}{\mu_t' \Omega_t^{-1} \mu_t}}$$
$$\frac{\sigma_t}{\mu_0} = \frac{\sqrt{\mathbf{w}_t' \Omega_t \mathbf{w}_t}}{\mu_0} = \frac{\sqrt{\mu_t' H_t^{-1} \Omega_t H_t^{-1} \mu_t}}{\mu_t' \Omega_t^{-1} \mu_t}$$

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

MÍNIMA PÉRDIDA DE EFICIENCIA

Engle y Colacito (2006) demuestran que si H_t es una estimación de la matriz de varianzas y covarianzas condicional y Ω_t es la matriz de varianzas y covarianzas verdadera; además μ es un vector cualquiera con los excesos de rentabilidades respecto del activo libre de riesgo se tiene que $\sigma_t \geq \sigma_t^* \quad \forall H_t \neq \Omega_t$

A partir del este resultado obtenemos para la varianza de la cartera que:

$$E\left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\sigma_t^*)^2\right] \leq E\left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\sigma_t)^2\right]$$

Es decir, este resultado nos proporciona **una estrategia para comparar matrices de varianzas y covarianzas**. El objetivo es **elegir la matriz de varianzas y covarianzas que proporcione la menor varianza de la cartera para cualquier vector de rentabilidades esperadas**.



PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS PESOS Y LAS VOLATILIDADES DE LA CARTERA ÓPTIMA

PASO 0 (Iniciación)

Se **fijan los datos** que se van a utilizar $r_t = (r_{1,t}, \dots, r_{p,t})$ con $t = 1, \dots, T$, siendo p el número de activos que van a combinarse para confeccionar la cartera óptima.

Se **establece el conjunto de modelos** $M = \{M_1, \dots, M_k\}$ que van a utilizarse para seleccionar la cartera dinámica óptima.

Se fijan el **tamaño h_1 de la ventana** de estimación de los modelos y el **tamaño h_2 (con $1 \leq h_2 \leq h_1$) de la ventana** de selección dinámica del mejor modelo en cada instante de tiempo.

Por tanto, para $t = h_1 + h_2 + 1, \dots, T$ se realizarán los siguientes pasos:

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS PESOS Y LAS VOLATILIDADES DE LA CARTERA ÓPTIMA

PASO 1 (Estimación de los modelos y de sus matrices de varianzas y covarianzas)

Para cada uno de los modelos $M \in \mathbb{M}$ y para el periodo de tiempo $u = t-h_2+1, \dots, t$ se obtiene la **estimación de la matriz de varianzas y covarianzas** cuyo vector de parámetros es θ_M

$$H_{u,h_1,M} = \text{Cov}(r_u|M, \hat{\theta}_{M,u,h_1}, I_{u-1,h_1})$$

donde $\hat{\theta}_{M,u,h_1}$ es el estimador MV de θ_M correspondiente al periodo $u-h_1, \dots, u-1$ e $I_{u-1,h_1} = \{r_{u-h_1}, \dots, r_{u-1}\}$

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS PESOS Y LAS VOLATILIDADES DE LA CARTERA ÓPTIMA

PASO 2 (Determinación de las carteras de mínima varianza para cada uno de los modelos)

Cálculo del vector de **pesos óptimos** para cada modelo M en cada periodo de tiempo u

$$\mathbf{w}_{u,h_1,M} = \frac{\mathbf{H}_{u,h_1,M}^{-1} \mathbf{m}_{u,h_1}}{\mathbf{m}_{u,h_1}' \mathbf{H}_{u,h_1,M}^{-1} \mathbf{m}_{u,h_1}}$$

con $u = t-h_2+1, \dots, t$

$$\mathbf{m}_{u,h_1} = \frac{1}{h_1} \sum_{v=u-h_1}^{u-1} r_v$$



Cálculo del **riesgo asociado a la cartera óptima** para cada modelo M en cada periodo de tiempo u

$$\begin{aligned} \sigma_{u,h_1,M}^2 &= \frac{1}{\mathbf{m}_{u,h_1}' \mathbf{H}_{u,h_1,M}^{-1} \mathbf{m}_{u,h_1}} = \\ &= \mathbf{w}_{u,h_1,M}' \mathbf{H}_{u,h_1,M} \mathbf{w}_{u,h_1,M} \end{aligned}$$

con $u = t-h_2+1, \dots, t$

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS PESOS Y LAS VOLATILIDADES DE LA CARTERA ÓPTIMA

PASO 3 (Selección dinámica de la cartera óptima)

Para seleccionar el mejor modelo se calcula lo siguiente:

$$\min_{M \in M} \frac{1}{h_2} \sum_{u=t-h_2+1}^t \sigma_{u,h_1,M}^2$$

Y así, obtenemos $M_{opt,t}$ que es el modelo que presenta el menor riesgo asociado a la cartera en el periodo t



Obtenemos **el vector de pesos** $w_{t,h_1,M_{opt,t}}$ y su volatilidad $\sigma_{t,h_1,M_{opt,t}}^2$

COMPARACIÓN DE CARTERAS ÓPTIMAS

PROCEDIMIENTO BASADO EN EL CONTRASTE DE DIEBOLD Y MARIANO

Sean (1) y (2) dos carteras dinámicas óptimas y calculamos para cada una de ellas su rentabilidad $\pi_t^{(1)}$ y $\pi_t^{(2)}$:

$$\pi_t^{(1)} = \mathbf{w}'_{(1),t} (\mathbf{r}_{t,(1)} - \mathbf{m}_{t,h_1,(1)})$$

$$\pi_t^{(2)} = \mathbf{w}'_{(2),t} (\mathbf{r}_{t,(2)} - \mathbf{m}_{t,h_1,(2)})$$

siendo

$$\mathbf{m}_{t,h_1,(i)} = \frac{1}{h_1} \sum_{v=t-h_1}^{t-1} r_{v,(i)}$$

$$\mathbf{w}_{(i),t} = \frac{\mathbf{H}_{t,(i)}^{-1} \mathbf{m}_{t,(i)}}{\mathbf{m}'_{t,(i)} \mathbf{H}_{t,(i)}^{-1} \mathbf{m}_{t,(i)}} \quad i=1,2$$

Construimos la rentabilidad al cuadrado de ambas carteras y las restamos

$$u_t^{(1),(2)} = \left(\pi_t^{(1)} \right)^2 - \left(\pi_t^{(2)} \right)^2 \quad \text{para } t = T_1, \dots, T_2$$

$$\mathbf{U}_{T_1:T_2}^{(1),(2)} = \left(u_{T_1}^{(1),(2)}, \dots, u_{T_2}^{(1),(2)} \right)'$$

COMPARACIÓN DE CARTERAS ÓPTIMAS

PROCEDIMIENTO BASADO EN EL CONTRASTE DE DIEBOLD Y MARIANO

Utilizamos los valores de las **diferencia u divididas por su desviación estándar**, sin embargo, como la verdadera **matriz de varianza y covarianzas** no se conoce, utilizamos como **estimador** de dicha matriz la **media geométrica de los dos estimadores de la varianza** de los dos modelos comparados.

$$v_t^{(1),(2)} = u_t^{(1),(2)} \left[0.5 \left(\mathbf{m}'_{t,(1)} \mathbf{H}_{t,(1)}^{-1} \mathbf{m}_{t,(1)} \right) \left(\mathbf{m}'_{t,(2)} \mathbf{H}_{t,(2)}^{-1} \mathbf{m}_{t,(2)} \right) \right]^{1/2}$$



$$\mathbf{V}_{T_1:T_2}^{(1),(2)} = \left(v_{T_1}^{(1),(2)}, \dots, v_{T_2}^{(1),(2)} \right)'$$

Esta transformación no cambia lógicamente las hipótesis nula y alternativa, ya que el factor que multiplica a u es positivo, simplemente debería mejorar las propiedades de muestreo del test.

COMPARACIÓN DE CARTERAS ÓPTIMAS

PROCEDIMIENTO BASADO EN EL CONTRASTE DE DIEBOLD Y MARIANO

Por tanto, para contrastar si es mejor la estimación de la matriz de varianzas y covarianzas proporcionada por el procedimiento (1) o la proporcionada por el procedimiento (2), realizamos la siguiente regresión:

$$\mathbf{V}_{T_1:T_2}^{(1),(2)} = \beta_v^{(1),(2)} \mathbf{1}_{(T_2-T_1+1) \times 1} + \boldsymbol{\varepsilon}_{v,T_1:T_2}^{(1),(2)}$$

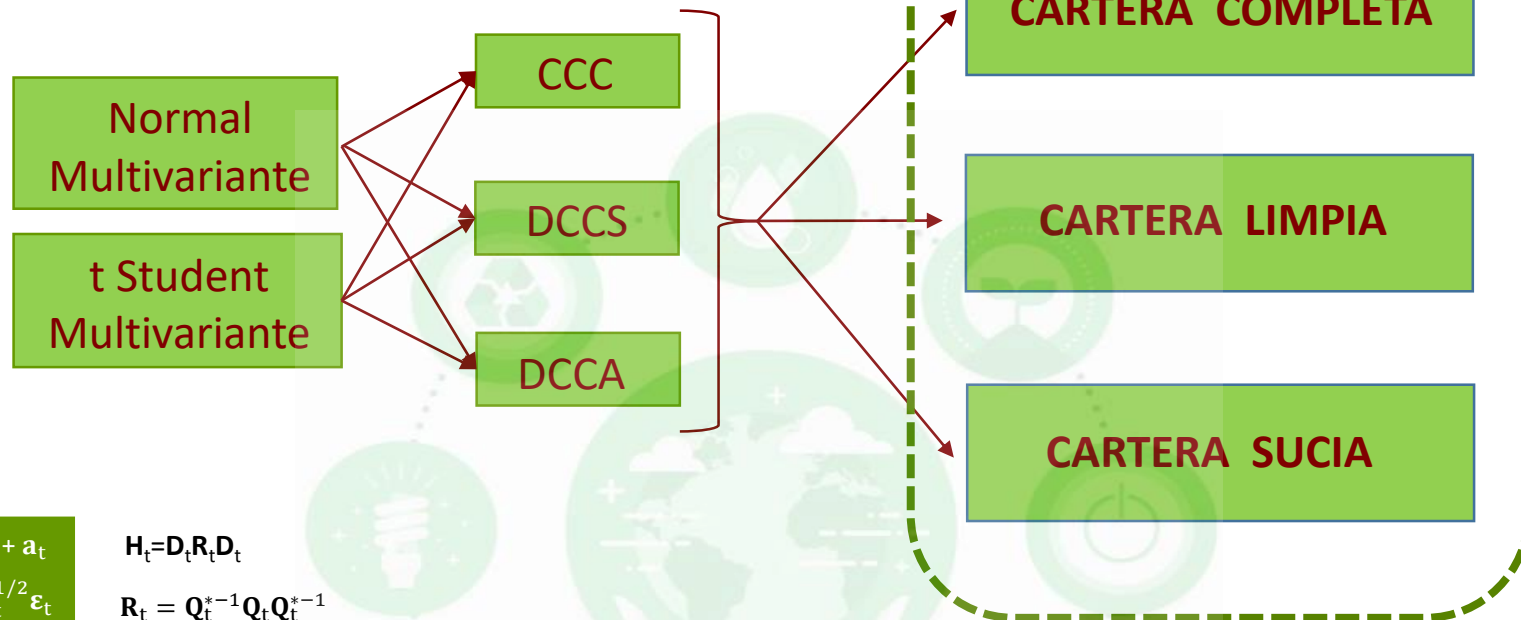
y contrastamos si el coeficiente $\beta_v^{(1),(2)}$ es igual a cero o no. Si se rechaza la igualdad, se puede examinar en qué sentido se da la desigualdad. Para ello, calculamos el estadístico t_u

$$t_v = \frac{\hat{\beta}_v^{(1),(2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_v^{(1),(2)})}} \quad \left\{ \begin{array}{l} \hat{\beta}_v^{(1),(2)} = \frac{1}{T_2 - T_1} \sum_{t=T_1}^{T_2} v_t^{(1),(2)} \\ \text{Var}(\hat{\beta}_v^{(1),(2)}) \cong \frac{1}{(T_2 - T_1)^2} \left(\mathbf{V}_{T_1:T_2}^{(1),(2)} \right)' \mathbf{G}_v^{-1} \mathbf{V}_{T_1:T_2}^{(1),(2)} \end{array} \right.$$

siendo $\mathbf{G}_v$ un estimador robusto de la matriz de varianzas y covarianzas (Newey-West) que tiene en cuenta la correlación y heterocedasticidad de los residuos.



ESQUEMA DE TRABAJO



$$r_t = \mu_t + a_t$$

$$a_t = H_t^{1/2} \varepsilon_t$$

$$H_t = D_t R_t D_t$$

$$R_t = Q_t^{*-1} Q_t Q_t^{*-1}$$

$$Q_t = (1 - a - b) \bar{Q} + a u_{t-1} u_{t-1}^T + b Q_{t-1} + g u_t^- u_t^{-T}$$

COMPARACIÓN DE LOS RIESGOS DE LAS TRES CARTERAS DINÁMICAS

6 modelos

Vamos a trabajar con 3 posibles modelos:

CCC $a = b = g = 0$

DCCS $g = 0$ y $a \neq 0, b \neq 0$

DCCA $g \neq 0, a \neq 0, b \neq 0$

Y empleamos 2 posibles distribuciones en el error a_t :

Distribución normal multivariante

t-Student multivariante

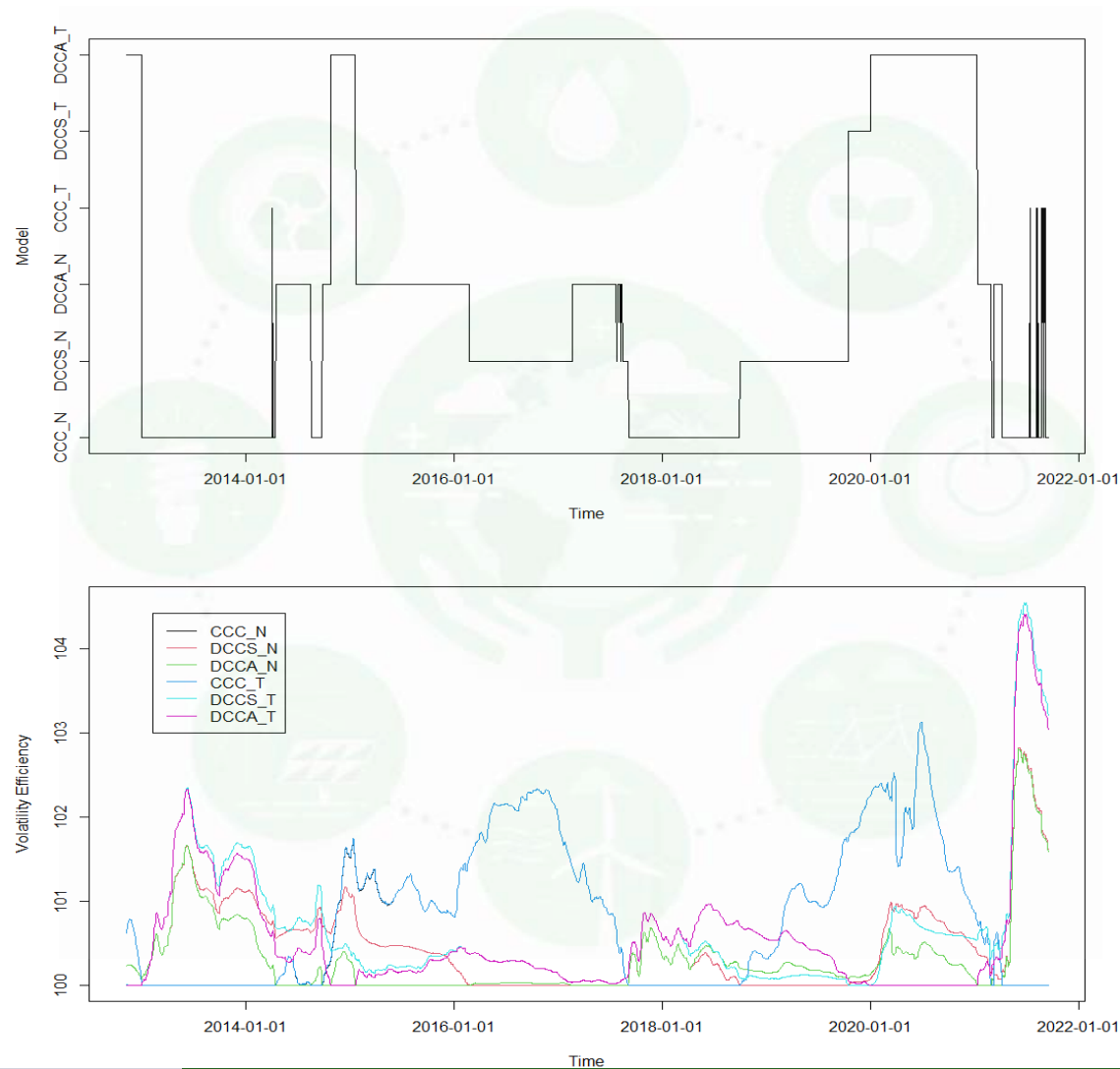
Ventana de estimación

$h_1 = 504$ (2 años)

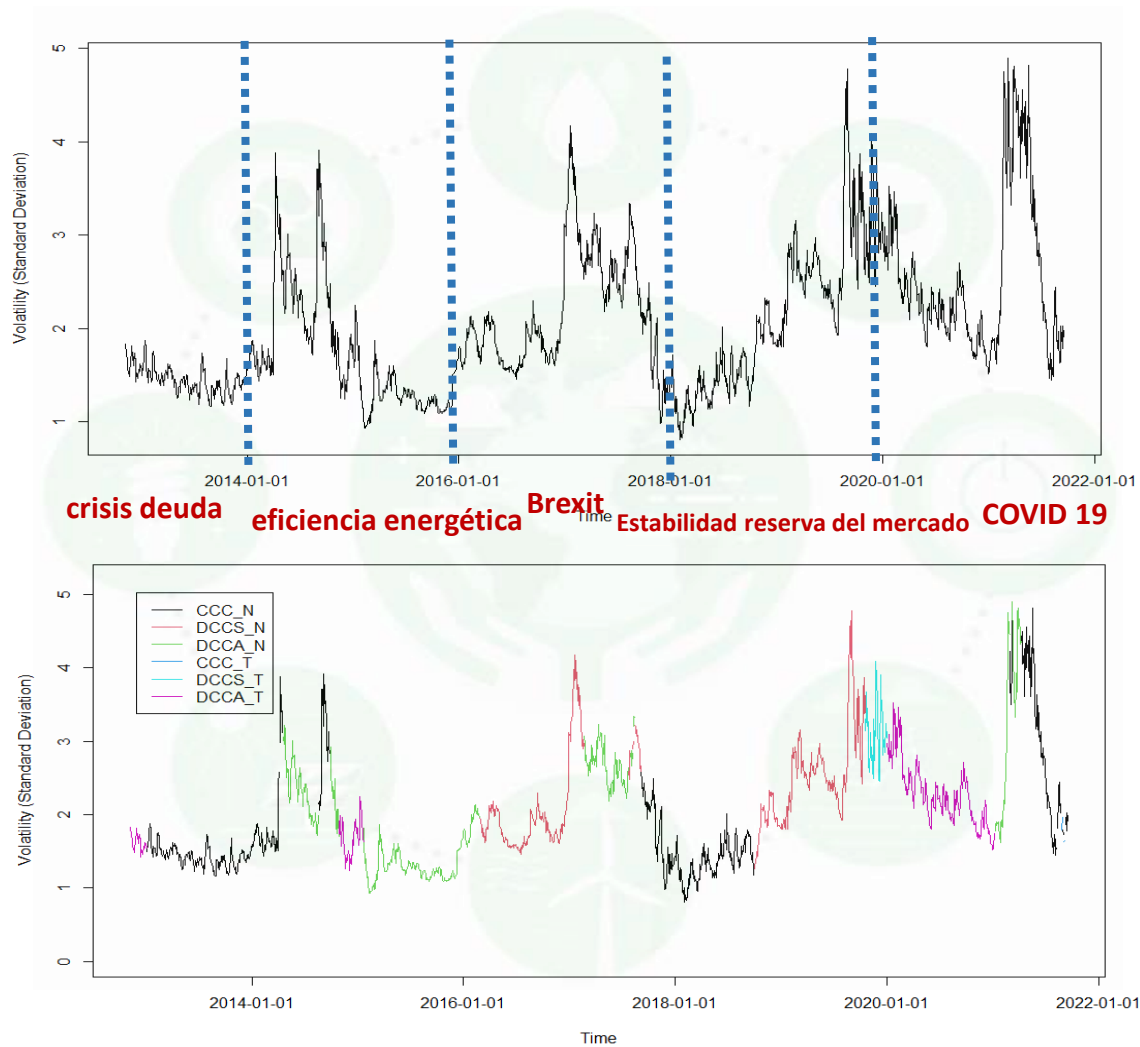
Ventana de selección

$h_2 = 252$ (1 año)

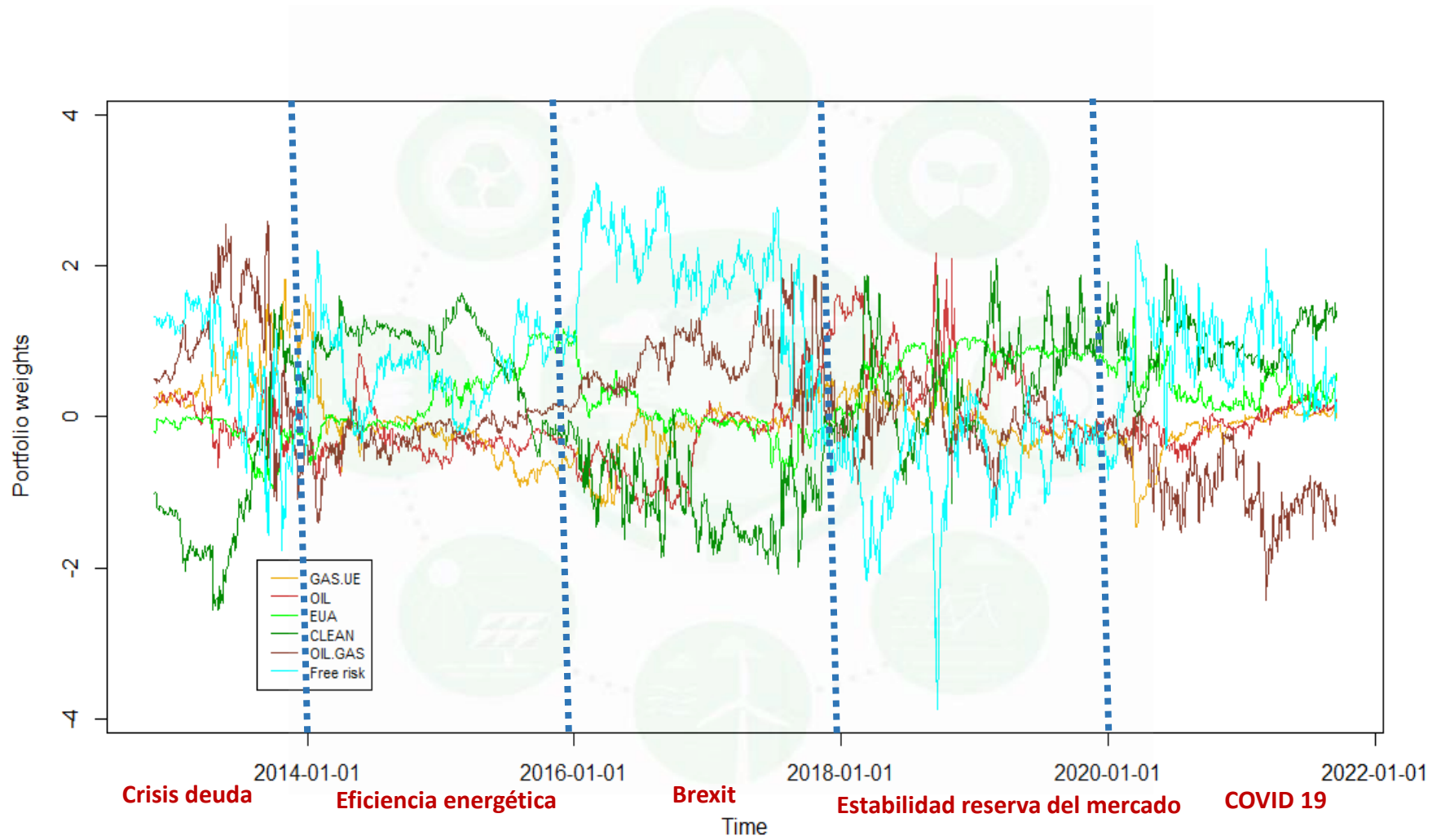
CARTERA COMPLETA



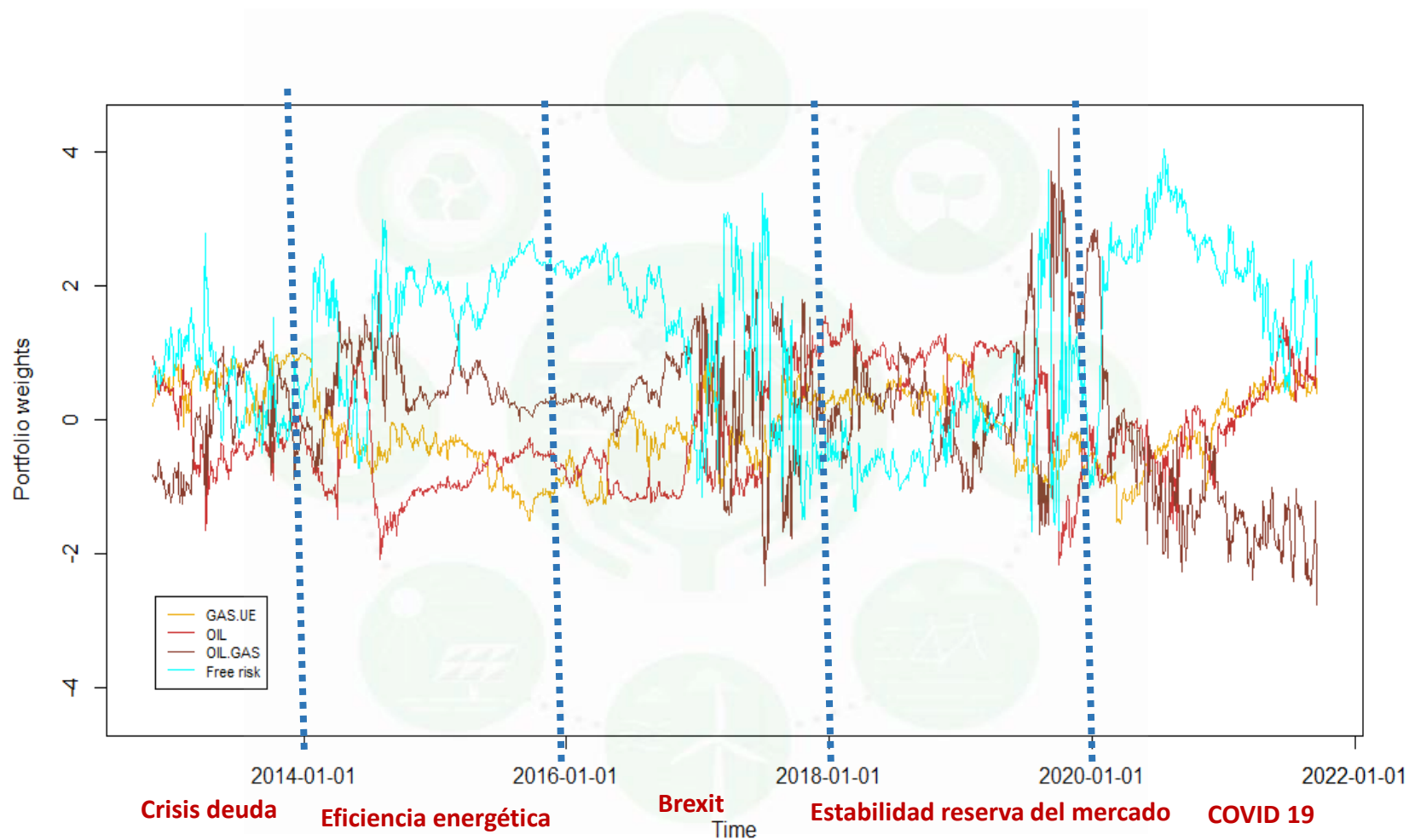
CARTERA COMPLETA



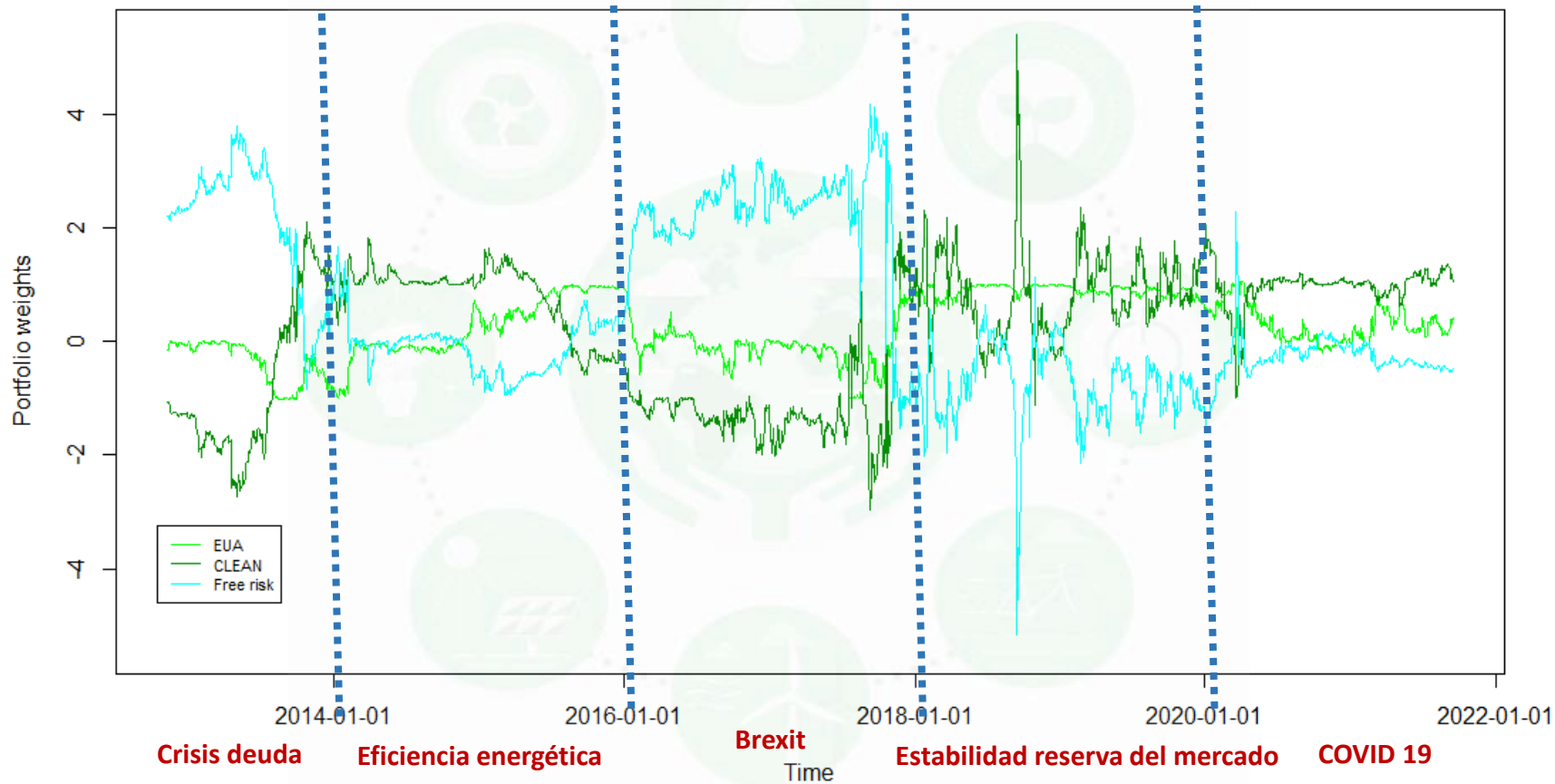
CARTERA COMPLETA



CARTERA SUCIA



CARTERA LIMPIA



COMPARACIÓN DE CARTERAS

Diebold y Mariano

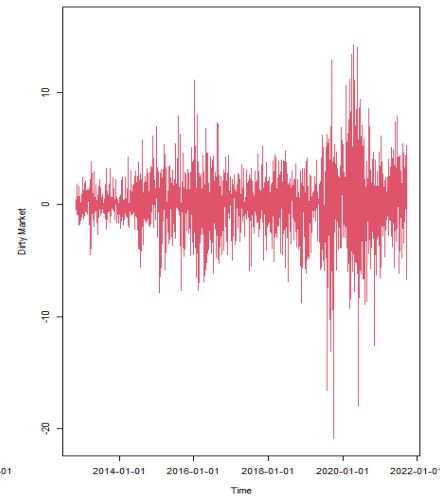
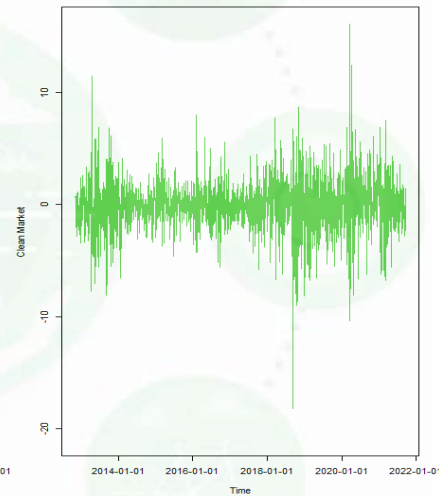
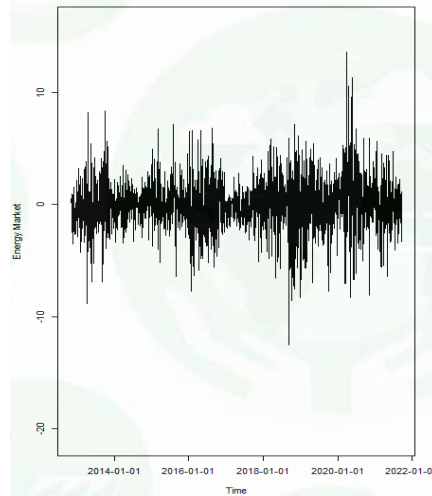
$$t_u = \frac{\hat{\beta}_u^{(1),(2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_u^{(1),(2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		0,500	-2,718
CLEAN MARKET	0,500		-2,454
DIRTY MARKET	2,718	2,454	

$$t_v = \frac{\hat{\beta}_v^{(1),(2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_v^{(1),(2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		-0,459	-3,576
CLEAN MARKET	0,459		-2,771
DIRTY MARKET	3,576	2,771	

PERIODO COMPLETO: 8/Noviembre/2012 al 17/Septiembre/2021



**SOSTENIBILIDAD Y
RESPONSABILIDAD
SOCIAL**



Instituto Universitario de Investigación
**en Empleo, Sociedad
Digital y Sostenibilidad**
Universidad Zaragoza

COMPARACIÓN DE CARTERAS

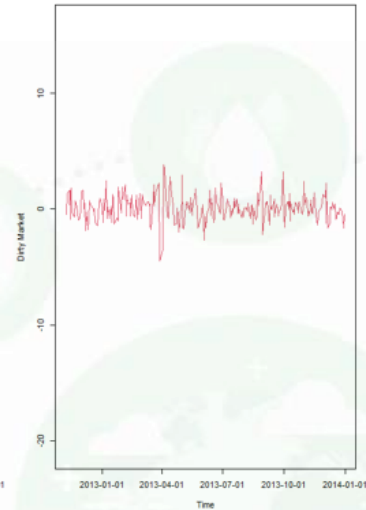
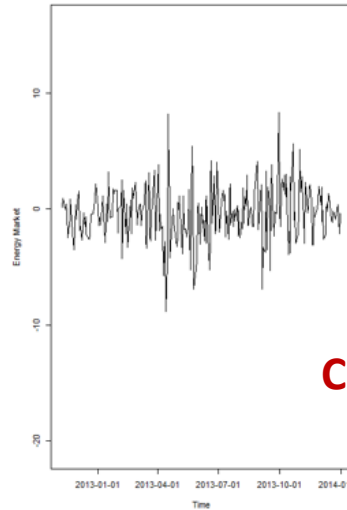
PRIMER PERIODO: 8/Noviembre/2012 al 30/Diciembre/2013

$$t_u = \frac{\hat{\beta}_u^{(1),(2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_u^{(1),(2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		-2,647	4,952
CLEAN MARKET	2,647		4,635
DIRTY MARKET	-4,952	-4,635	

$$t_v = \frac{\hat{\beta}_v^{(1),(2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_v^{(1),(2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		-1,424	4,809
CLEAN MARKET	1,424		4,265
DIRTY MARKET	-4,809	-4,265	



Crisis de deuda

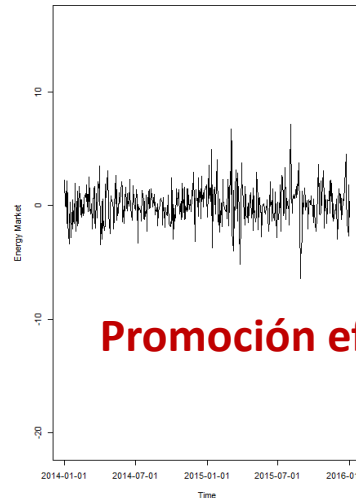
SEGUNDO PERIODO: 2/Enero/2014 al 30/Diciembre/2015

$$t_u = \frac{\hat{\beta}_u^{(1),(2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_u^{(1),(2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		1,154	-4,154
CLEAN MARKET	-1,154		-3,942
DIRTY MARKET	4,154	3,942	

$$t_v = \frac{\hat{\beta}_v^{(1),(2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_v^{(1),(2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		2,161	-4,407
CLEAN MARKET	-2,161		-4,542
DIRTY MARKET	4,407	4,542	



Promoción eficiencia energética por el Consejo Europeo

COMPARACIÓN DE CARTERAS

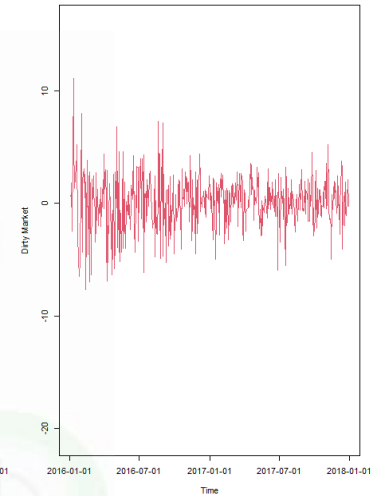
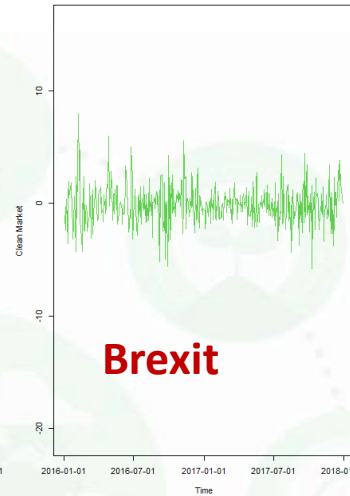
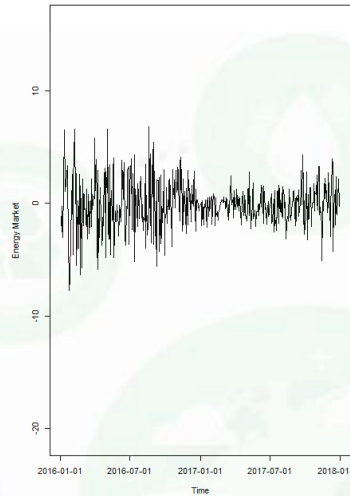
TERCER PERIODO: 4/Enero/2016 al 30/Diciembre/2017

$$t_u = \frac{\hat{\beta}_u^{(1,2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_u^{(1,2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		3,170	-3,737
CLEAN MARKET	-3,170		-4,285
DIRTY MARKET	3,737	4,285	

$$t_v = \frac{\hat{\beta}_v^{(1,2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_v^{(1,2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		3,256	-2,106
CLEAN MARKET	-3,256		-3,779
DIRTY MARKET	2,106	3,779	



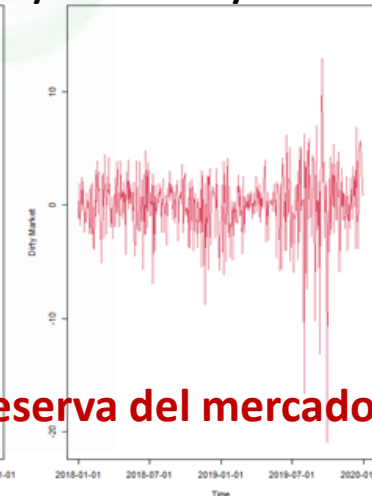
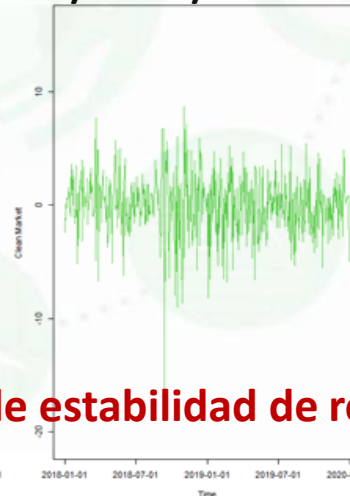
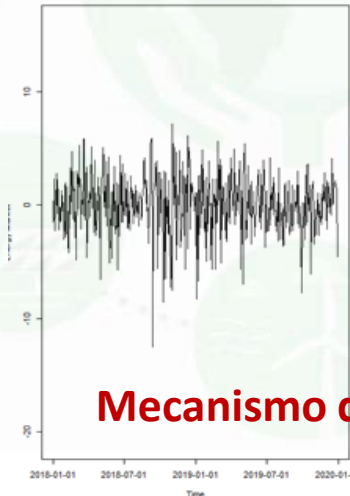
CUARTO PERIODO: 2/Enero/2018 al 30/Diciembre/2019

$$t_u = \frac{\hat{\beta}_u^{(1,2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_u^{(1,2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		-1,669	-0,910
CLEAN MARKET	1,669		-0,270
DIRTY MARKET	0,910	0,270	

$$t_v = \frac{\hat{\beta}_v^{(1,2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_v^{(1,2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		-2,060	0,224
CLEAN MARKET	2,060		0,620
DIRTY MARKET	-0,224	-0,620	



Mecanismo de estabilidad de reserva del mercado

COMPARACIÓN DE CARTERAS

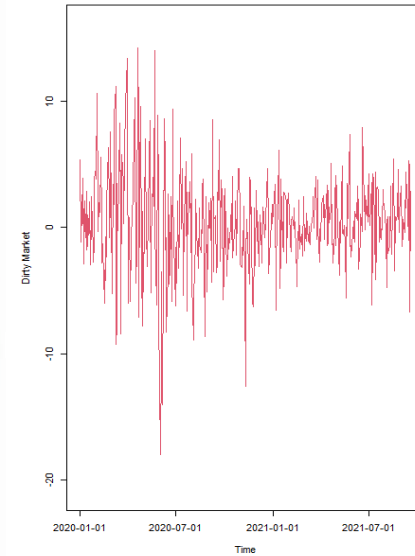
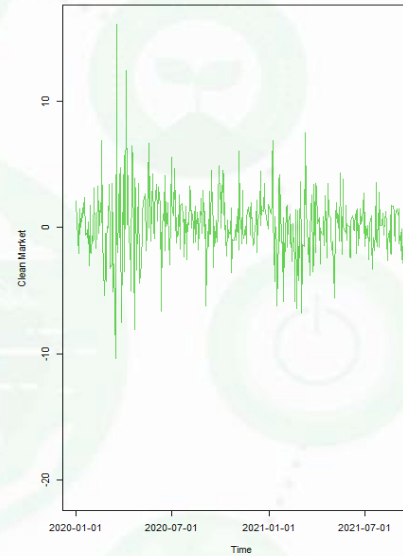
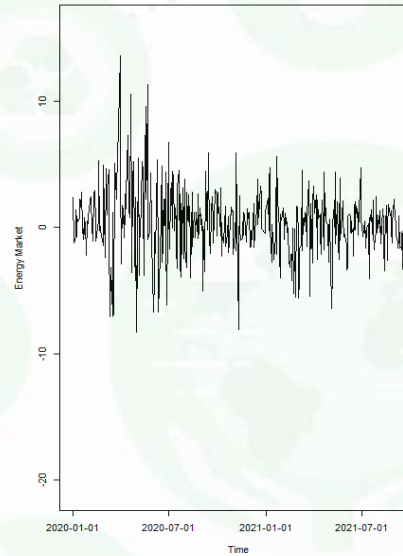
QUINTO PERIODO: 2/Enero/2020 al 17/Septiembre/2021

$$t_u = \frac{\hat{\beta}_u^{(1),(2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_u^{(1),(2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		0,695	-4,080
CLEAN MARKET	-0,695		-3,660
DIRTY MARKET	4,080	3,660	

$$t_v = \frac{\hat{\beta}_v^{(1),(2)}}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_v^{(1),(2)})}}$$

	ENERGY MARKET	CLEAN MARKET	DIRTY MARKET
ENERGY MARKET		0,266	-5,015
CLEAN MARKET	-0,266		-5,522
DIRTY MARKET	5,015	5,522	



COVID 19

CONCLUSIONES

- En cuanto a la **composición de las carteras** se observa que a partir de 2020 con la introducción de la **reserva de estabilidad del mercado** que ha hecho posible unos precios del carbono más altos y estables, parece haber ayudado a **impulsar la inversión en energías limpias**, mostrando en los pesos de las mismas una tendencia creciente tal vez porque además de ser fuentes de energías limpias e inagotables son cada día más competitivas.
- Se han encontrado diferencias significativas que indican que **invertir sólo en energías fósiles no parece aconsejable ya que se incrementa el riesgo**. Pero que **no se aprecian diferencias significativas entre los riesgos de invertir solo en energías limpias frente a una cartera que combine ambos tipos de energías**.
- Por tanto, si un inversor decide apostar por activos financieros para **colaborar con la transición energética** hacia energías renovables que son inagotables y no contaminan, no debería estar preocupado puesto que parece una buena opción. **Invertir sólo en acciones de empresas del sector de las energías limpias no es más arriesgado**.



FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

- A pesar de que los modelos han ido cambiando a lo largo del tiempo, no ha habido mucha diferencia entre ellos salvo en periodos puntuales,por ello, con el fin de ser más parsimoniosos, queremos **cambiar de modelo no diariamente sino cada cierto tiempo, por ejemplo, trimestralmente**, que se adapta mejor a como rehacen sus carteras los gestores de fondos de inversión.
- Queremos probar con **más tamaños de ventanas de selección**: trimestres, semestres, etc.
- Queremos incorporar el **valor de riesgo** que tenga en cuenta la incertidumbre asociada a los pesos de selección.