



Universidad de Valladolid

Facultad de Derecho

Grado en Derecho

Mercado de derechos de emisión de CO₂

Presentado por:

Jaime Ruiz García

Tutelado por:

Jose Jorge Nogales García

Valladolid, 4 de Junio de 2025

RESUMEN.

Este Trabajo de Fin de Grado analiza el funcionamiento del mercado de derechos de emisión de CO₂ como instrumento económico para reducir las emisiones contaminantes. Se estudian los fundamentos teóricos del sistema, como las externalidades ambientales, los fallos de mercado y el papel del sector público en la regulación climática. Asimismo, se examina el marco normativo que lo sustenta, incluyendo la legislación europea, el Acuerdo de París y el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones, con especial atención a su aplicación en España. El trabajo profundiza en el proceso de asignación y compraventa de derechos, los mecanismos de control y el Registro Nacional de Derechos de Emisión (RENADE). También se evalúa el impacto económico y social del sistema en sectores clave como la energía, la industria y el transporte, así como en los hogares. Finalmente, se abordan sus limitaciones, retos futuros y la necesidad de reformas e innovación tecnológica en el contexto de la transición verde.

ABSTRACT.

This Final Degree Project analyzes the functioning of the CO₂ emissions trading market as an economic instrument to reduce pollutant emissions. It explores the theoretical foundations of the system, such as environmental externalities, market failures, and the role of the public sector in climate regulation. The study also examines the legal framework supporting it, including European legislation, the Paris Agreement, and the European Union Emissions Trading System, with a particular focus on its implementation in Spain. The project delves into the allocation and trading of emission allowances, control mechanisms, and the National Registry of Emission Rights (RENADE). It also assesses the economic and social impact of the system on key sectors such as energy, industry, and transport, as well as on households. Finally, it addresses the system's limitations, future challenges, and the need for reforms and technological innovation within the context of the green transition.

PALABRAS CLAVE.

Derechos de emisión, CO₂, cambio climático, RENADE, externalidades, transición ecológica, mercado de carbono, sector energético.

KEY WORDS.

Emission rights, CO₂, climate change, RENADE, externalities, ecological transition, carbon market, energy sector.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Objetivos del trabajo.....	5
1.2 Estructura del trabajo.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Concepto de externalidades y fallos del mercado.....	8
2.2 Teoría económica de los derechos de emisión.....	11
2.3 Papel del sector público en la regulación ambiental.....	12
3. CONTEXTO LEGAL Y NORMATIVO EN ESPAÑA.....	13
3.1 Legislación europea y su aplicación en España.....	13
3.2 Acuerdo de París.....	14
3.3 Normativa del Sistema Europeo de Comercio de Emisiones.....	16
4. FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO DE EMISIONES DE C02.....	17
4.1 Asignación y comercio de derechos de emisión.....	17
4.2 Mecanismos de control y cumplimiento.....	19
4.3. Registro Nacional de Derechos de Emisión (RENADE).....	20
5. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA REGULACIÓN PÚBLICA.....	21
5.1 Evaluación del cumplimiento de objetivos climáticos.....	21
5.2 Análisis coste-beneficio del mercado de emisiones.....	22
5.3 Críticas y limitaciones del sistema.....	24

6. IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL.....	25
6.1 Repercusiones en el tejido empresarial.....	25
6.2 Impacto en los hogares y en la distribución de renta.....	27
7. ESTUDIO DE CASO: APLICACIÓN EN SECTORES CLAVE.....	29
7.1 Sector energético.....	29
7.2 Industria manufacturera.....	30
7.3 Transporte y movilidad sostenible.....	32
8. RETOS Y PERSPECTIVAS FUTURAS.....	34
8.1 Reformas necesarias en el mercado de emisiones.....	34
8.2 Innovación tecnológica y transición verde.....	35
8.3 Cooperación internacional y cumplimiento de los acuerdos de París.....	36
9. CONCLUSIONES.....	36
9.1 Síntesis de los hallazgos.....	37
9.2 Reflexiones finales sobre el papel del sector público.....	38
10. BIBLIOGRAFÍA.....	40

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Objetivos del trabajo

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene como objetivo principal analizar el mercado de derechos de emisión de CO₂ desde la perspectiva del papel corrector del sector público, evaluando su eficacia como herramienta para mitigar el cambio climático y corregir los fallos de mercado asociados a las externalidades negativas.

Específicamente, se persiguen los siguientes objetivos:

- Examinar el funcionamiento y la estructura del mercado de derechos de emisión de CO₂.
- Analizar el marco legal y regulatorio vigente en España y su alineamiento con las directivas europeas.
- Identificar los principales retos y perspectivas futuras en el contexto de la transición ecológica.

1.2 Estructura del trabajo

El trabajo se estructura en varios capítulos que abordan diferentes aspectos del mercado de derechos de emisión de CO₂:

- El Capítulo 2 presenta el marco teórico necesario para comprender los fallos de mercado y la intervención pública.
- El Capítulo 3 analiza el contexto legal y normativo en España y Europa.
- El Capítulo 4 trata sobre el funcionamiento del Mercado de Emisiones de CO₂.
- El Capítulo 5 evalúa el análisis y evaluación del sistema regulatorio.
- El Capítulo 6 explora el impacto económico y social.
- El Capítulo 7 presenta un estudio de caso en sectores clave.
- El Capítulo 8 discute los retos y perspectivas futuras.

-El Capítulo 9 ofrece las conclusiones y reflexiones finales.

Glosario de términos de la "jerga ecosostenible"

-Sumideros de contratos: Sistemas naturales o artificiales capaces de absorber y almacenar dióxido de carbono de la atmósfera, ayudando así a reducir la concentración de gases de efecto invernadero y mitigar el cambio climático.

-Dióxido de carbono equivalente (tCO₂e): Unidad de medida que se usa para expresar el impacto de los diferentes gases de efecto invernadero en términos del potencial de calentamiento global del dióxido de carbono.

-Cuentas comerciales: Cuenta en el RENADE abierta por una persona jurídica que no está obligada por el RCDE UE, pero que quiere participar voluntariamente en el mercado de derechos de emisión con el propósito de comprar, vender o mantener derechos de emisión.

-Cuentas personales: Cuenta abierta en el RENADE por una persona física o, en algunos casos, por personas jurídicas que quieren operar en el mercado a título personal o institucional, sin estar sujetas al cumplimiento del RCDE UE.

-IPCC: Organismo científico internacional creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

Su misión principal es evaluar el conocimiento científico, técnico y socioeconómico más actualizado sobre el cambio climático, sus impactos, riesgos futuros y posibles estrategias de mitigación y adaptación.

-UNFCCC *Global Stocktake*: Proceso periódico de evaluación global, establecido por el Acuerdo de París dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, para medir el progreso colectivo del mundo hacia el cumplimiento de los objetivos climáticos.

Se realiza cada 5 años siendo el primero completado en 2023.

-Pacto Climático de Glasgow: Acuerdo final adoptado por las Partes de la ONU durante la COP26.

Este pacto refleja el consenso político internacional sobre la urgencia de intensificar la acción climática para cumplir con los objetivos del Acuerdo de París

-Subastas de capacidad: Mecanismos de mercado utilizados en el sector eléctrico para garantizar la seguridad del suministro, asegurando que haya suficiente capacidad de generación eléctrica disponible para cubrir la demanda futura, incluso en momentos de alta exigencia (picos de consumo o emergencia).

-Contratos por diferencias para energías renovables: Mecanismo de apoyo a las energías renovables que proporciona estabilidad de ingresos a los generadores mediante la fijación de un precio de referencia o “precio garantizado” (también llamado strike price).

-PNIEC: Instrumento estratégico que define la política energética y climática de España para cumplir con los objetivos establecidos por la Unión Europea en materia de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, eficiencia energética, energías renovables e interconexiones eléctricas.

-Factor de Reducción Lineal: Parámetro clave del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión Europea en el que se representa el porcentaje o cantidad anual por la cual se reduce el tope total de derechos de emisión que pueden ser emitidos dentro del sistema.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Concepto de Externalidades y Fallos de Mercado

Para el autor Hal R. Varian a través de su obra "microeconomía intermedia" una externalidad ocurre cuando el bienestar de un agente económico depende no solo de sus propias acciones, sino también de las acciones de otros, sin que haya un mecanismo de mercado que medie esa interacción.

Varian, H. R. (1999). *Microeconomía intermedia: Un enfoque actual* (5ª ed.). Antoni Bosch Editor.

Por otra parte para Paul A. Samuelson & William D. Nordhaus una externalidad es un efecto colateral de una actividad económica que afecta a terceros que no participan directamente en esa actividad y que no se refleja en los precios de mercado.

Samuelson, P. A., & Nordhaus, W. D. (2006). *Economía* (18ª ed.). McGraw-Hill.

Estas externalidades pueden ser positivas o negativas. Cuando son negativas, como en el caso de las emisiones del CO₂, se genera un coste social adicional que no es asumido por el emisor, provocando una asignación ineficiente de los recursos. Este fenómeno constituye un claro ejemplo del fallo de mercado.

En el contexto del cambio climático, las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) representan una externalidad global, ya que sus efectos trascienden las fronteras nacionales. Sin mecanismos correctores, las empresas y los individuos tienen pocos incentivos para reducir sus emisiones, ya que el costo de los daños ambientales no recae directamente sobre ellos.

El papel del sector público en corregir estos fallos de mercado es fundamental. Los instrumentos de regulación ambiental se pueden clasificar en tres categorías principales:

1. Regulación directa o comandos y controles: Consiste en establecer

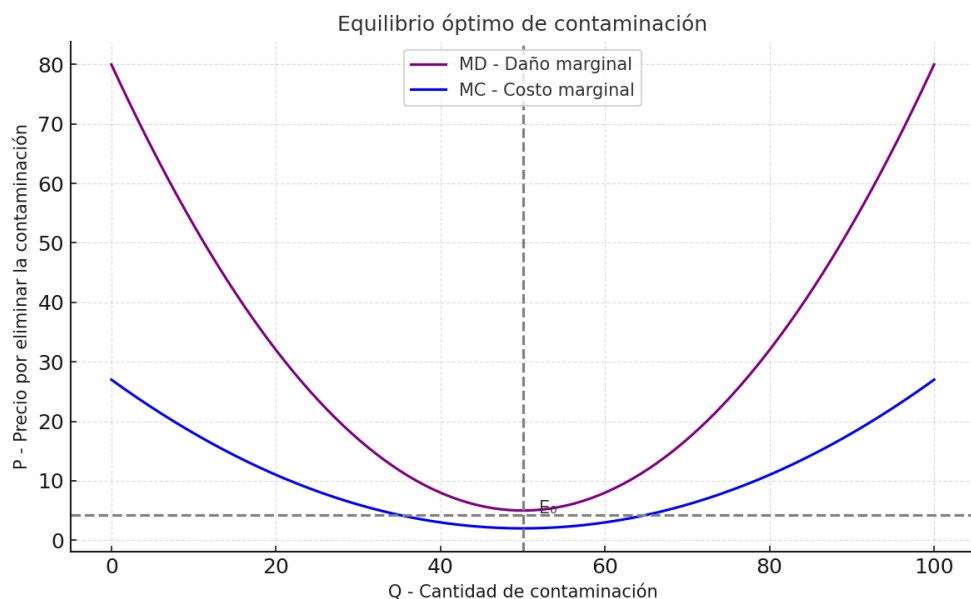
límites máximos de emisiones o en la imposición de tecnologías específicas para reducir la contaminación. Aunque es efectiva para asegurar el cumplimiento, puede ser menos eficiente al no permitir flexibilidad a los agentes económicos.

2. Instrumentos basados en el mercado: Incluyen impuestos ambientales y mercados de derechos de emisión. Estos mecanismos crean incentivos económicos para reducir emisiones al asignar un precio al derecho de contaminar. El mercado de derechos de emisión de CO₂ es un ejemplo destacado, ya que permite a las empresas comprar y vender permisos, incentivando la reducción de emisiones donde sea más rentable hacerlo.

3. Medidas voluntarias y acuerdos negociados: En algunos casos, los gobiernos promueven acuerdos voluntarios con las industrias para reducir las emisiones. Mientras que por un lado son menos coercitivas, por otro pueden sufrir problemas de cumplimiento y efectividad limitada.

El objetivo de estos mecanismos es internalizar las externalidades, es decir, hacer que los emisores asuman el costo social de sus acciones. En este sentido, el mercado de derechos de emisión de CO₂ representa una solución basada en el mercado que busca combinar la eficiencia económica con la protección del medio ambiente.

Fuente: Gráfico Teorema de Coase



El gráfico representa el modelo económico del equilibrio óptimo de contaminación, una herramienta clave en la economía ambiental para analizar cuánto debe contaminar una economía de forma eficiente desde el punto de vista social.

En el eje horizontal (q) se representa la cantidad de contaminación emitida, mientras que el eje vertical (p) indica el precio o coste asociado a eliminar la contaminación (por unidad).

Curvas del gráfico:

-MD - Daño Marginal: Esta curva creciente muestra el daño adicional que provoca una unidad adicional de contaminación. A medida que se contamina más, los daños ambientales (como deterioro de la salud, pérdida de biodiversidad, etc.) aumentan de manera creciente.

-MC - Costo Marginal de Reducción: Esta curva decreciente (hasta cierto punto) representa el costo marginal de reducir una unidad de contaminación. Inicialmente, es barato reducir la contaminación (por ejemplo, mediante filtros o

procesos eficientes), pero conforme se quiere reducir más, el coste se incrementa, ya que las tecnologías se vuelven más complejas o menos efectivas.

-Punto de equilibrio socialmente óptimo (E_0):

El punto de intersección entre ambas curvas determina el nivel de contaminación *eficiente* para la sociedad. Se representa como E_0 :

La imagen muestra el equilibrio eficiente en presencia de una externalidad negativa, en este caso, la contaminación.

A la izquierda de E_0 , los costes de reducción son menores que los daños evitados, por lo tanto, es eficiente seguir reduciendo la contaminación.

A la derecha de E_0 , reducir más la contaminación cuesta más de lo que se gana en términos de reducción de daños, por lo tanto, no es eficiente seguir reduciendo

Este gráfico permite justificar por qué en economía ambiental no siempre es óptimo reducir la contaminación a cero. En lugar de ello, se busca un punto en el que se equilibren los costes y beneficios sociales de contaminar o reducir la contaminación. Este concepto es central en el diseño de políticas públicas como impuestos ambientales, permisos de emisión o normativas regulatorias.

2.2 Teoría económica de los derechos de emisión

Los derechos de emisión de CO₂ se fundamentan en la teoría económica de los bienes de propiedad transferible. Esta teoría sugiere que, cuando un recurso común está sujeto a regulación mediante derechos negociables, los agentes económicos ajustan su comportamiento para minimizar costos, optimizando así la asignación de recursos.

El economista Ronald Coase formuló un Teorema que lleva su propio nombre, en el que establece que, en ausencia de costos de transacción y con derechos

de propiedad bien definidos, los agentes del mercado pueden negociar soluciones eficientes para las externalidades, y que esta solución es independiente de la atribución inicial de derechos de propiedad.

En el contexto del mercado de emisiones, este principio se aplica a través de la asignación inicial de derechos de emisión y la posibilidad de comerciarlos entre empresas, permitiendo que quienes pueden reducir sus emisiones a menor costo lo hagan y vendan sus excedentes a quienes enfrentan costos de reducción más altos.

El sistema de comercio de emisiones funciona bajo dos enfoques principales:

-Cap and Trade (Límite y Comercio): Se establece un límite máximo de emisiones (cap) y se reparten (o subastan) derechos de emisión entre las empresas.

Las empresas que contaminan menos de su cuota pueden vender su excedente a otras que necesitan más, incentivando la reducción de emisiones de manera eficiente.

Este enfoque se da en la Unión Europea así como en Reino Unido, China, Corea Del Sur, Nueva Zelanda o Canadá.

-Baseline and Credit (Línea Base y Crédito): Se otorgan créditos a las empresas que reducen sus emisiones por debajo de un umbral establecido, los cuales pueden ser vendidos a otros emisores que superan dicho umbral.

El éxito de los mercados de derechos de emisión depende de varios factores, como la definición adecuada de los límites de emisión, la supervisión gubernamental y la flexibilidad para ajustar las asignaciones de permisos según las condiciones económicas y tecnológicas. Aunque este sistema ha demostrado ser una herramienta efectiva para reducir las emisiones a menor costo que la regulación directa, también enfrenta desafíos como la volatilidad en los precios del carbono y la necesidad de evitar la fuga de emisiones hacia países con normativas ambientales más laxas.

Se ha usado en Estados Unidos, Japón o Brasil.

2.3 Papel del Sector Público en la Regulación Ambiental

El sector público desempeña un papel clave en la regulación ambiental, actuando como garante del cumplimiento de normativas para reducir el impacto ambiental de la actividad económica. Su intervención se basa en la creación de políticas públicas mediante las cuáles se equilibre el crecimiento económico con la sostenibilidad ambiental.

En España, la Ley 16/2002, de prevención y control integrados de la contaminación (IPPC), regula los permisos ambientales integrados y fija las responsabilidades administrativas para asegurar el cumplimiento de los límites ambientales.

También la Ley 7/2021, de cambio climático y transición energética atribuye al sector público funciones de supervisión, control y fomento de la sostenibilidad a través de instrumentos regulatorios y económicos (artículos 10 y siguientes).

Estos artículos y leyes confirman el papel del sector público como regulador, supervisor y promotor de políticas públicas ambientales que buscan internalizar las externalidades y fomentar el desarrollo sostenible.

Un sector público eficaz en la regulación ambiental no solo impone restricciones, sino que también fomenta la innovación y la adopción de nuevas tecnologías, garantizando que las empresas se adapten a un modelo económico más sostenible sin comprometer su competitividad.

3. CONTEXTO LEGAL Y NORMATIVO EN ESPAÑA

3.1 Legislación europea y su aplicación en España

La regulación de los derechos de emisión de CO₂ en España se enmarca dentro de la normativa de la Unión Europea, siendo el principal mecanismo el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (EU ETS). Este sistema, en vigor desde 2005, establece un mercado común de derechos de emisión con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de manera eficiente y rentable (Directiva 2003/87/CE, artículos 3 y 6).

El marco normativo europeo se basa en la Directiva 2003/87/CE, que ha sido objeto de diversas revisiones para adaptarse a los objetivos climáticos más ambiciosos. A través de regulaciones como el Pacto Verde Europeo y el paquete "*Fit for 55*", el cual se trata de un conjunto de propuestas legislativas presentadas por la Unión Europea para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, la UE busca alcanzar la neutralidad climática en 2050 (Reglamento (UE) 2021/1119, artículo 2). Además, el Reglamento (UE) 2018/842 establece objetivos específicos de reducción para cada Estado miembro, asignando cuotas nacionales en función de su capacidad económica y nivel de emisiones (artículos 4 y 5).

España, como Estado miembro, debe transponer y aplicar esta normativa en su legislación nacional. La integración de estas regulaciones se lleva a cabo a través de la Ley 7/2021, de cambio climático y transición energética, que en sus artículos 3 y 4 establece los principios básicos y objetivos para la reducción de emisiones y transición energética en España. Asimismo, regula la adaptación del EU ETS a la economía española, estableciendo el régimen jurídico para sectores clave como la industria, la generación de energía y la aviación civil (artículo 10).

Principales acuerdos internacionales sobre cambio climático

Nombre del acuerdo	Alcance	Firmantes	Lugar y fecha de firma / Aprobación	Vigencia
Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)	Establece el marco para la cooperación internacional en mitigación y adaptación al cambio climático.	198 países (Partes de la Convención)	Río de Janeiro, 1992 (Cumbre de la Tierra)	En vigor desde marzo de 1994
Protocolo de Kioto	Compromisos legalmente vinculantes de reducción de emisiones para países desarrollados	192 países	Kioto, Japón – 11 de diciembre de 1997	En vigor desde febrero de 2005, fase final de negociaciones
Enmienda de Doha al Protocolo de Kioto	Segunda fase de compromisos de reducción de emisiones (2013–2020)	144 partes (no todas la ratificaron)	Doha, Catar – 8 de diciembre de 2012	Entró en vigor el 1 de diciembre de 2016, expiró el 31 de marzo de 2020
Acuerdo de París	Objetivo de mantener el calentamiento global por debajo de 2 °C y aspirar a 1.5 °C. Cada país presenta sus contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC).	195 países y la UE	París, Francia – 12 de diciembre de 2015 (COP21)	En vigor desde noviembre de 2016
Pacto Climático de Glasgow	Refuerza el Acuerdo de París y promueve la eliminación gradual del carbón y subsidios a combustibles fósiles.	197 Partes de la CMNUCC	Glasgow, Reino Unido – 13 de noviembre de 2021	No vinculante, pero de aplicación en el marco del Acuerdo de París
Agenda 2030 y Objetivos de Desarrollo Sostenible	Incluye metas climáticas dentro del ODS 13, además de sostenibilidad y resiliencia ambiental.	193 Estados Miembros de la ONU	Nueva York, EE.UU. – 25 de septiembre de 2015 (Cumbre de la ONU)	Vigente

3.2 Acuerdo de París

El Acuerdo de París es un tratado internacional jurídicamente vinculante adoptado en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Fue aprobado el 12 de diciembre de 2015 durante la COP21 en París y entró en vigor el 4 de noviembre de 2016, tras haber sido ratificado por al menos 55 países responsables del 55 % de las emisiones globales.

Este acuerdo representa un hito histórico en la gobernanza climática global, ya que por primera vez todos los países, desarrollados y en desarrollo, se comprometen a actuar conjuntamente para mitigar el cambio climático, adaptarse a sus efectos y movilizar financiación sostenible.

En el artículo 2 del Acuerdo de París se establecen los objetivos centrales del tratado, así en el artículo 2.1 se señala que el presente acuerdo, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, tiene por

objeto fortalecer la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza.

Cada país debe presentar su plan nacional de acción climática (NDC), que se actualizará cada cinco años.

Aunque no son jurídicamente vinculantes en sus metas, sí lo es la obligación de informar, revisar y mejorar continuamente la ambición.

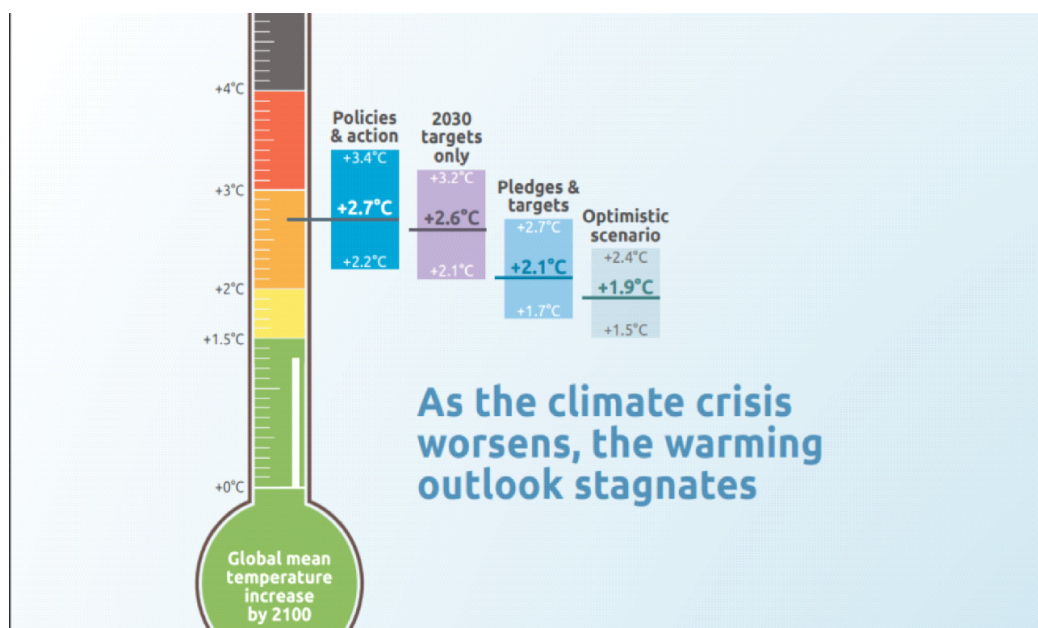
El acuerdo reconoce los impactos irreversibles del cambio climático, especialmente en los países más vulnerables, aunque sin obligaciones legales de compensación.

A través del acuerdo, los países desarrollados se comprometen a movilizar un total de 100.000 millones de dólares anuales hasta el 2025 para apoyar a los países en desarrollo.

A través de este acuerdo no se imponen sanciones directas, pero se generan obligaciones de procedimiento y reporte que fomentan el cumplimiento mediante presión internacional.

En el propio artículo 2.1 del Acuerdo también viene indicado el nivel en el que se debe mantener la temperatura media mundial.

Se debe mantener el aumento de la temperatura media muy por debajo del 2 °C con respecto a los niveles preindustriales y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento a 1,5 °C.



Fuente: *Climate action tracker*

En esta tabla podemos observar a través de diferentes colores cuáles son las temperaturas idóneas (color verde), moderadas (color amarillo), ligeramente peligrosas (color naranja) y peligrosas (color rojo).

Como se ha mencionado anteriormente, los objetivos del acuerdo son estar entre los colores verde y amarillo aunque actualmente estaríamos en el naranja y cerca del color rojo.

3.3 Normativa del Sistema Europeo de Comercio de Emisiones

La normativa del Sistema Europeo de Comercio de Emisiones está regulada a través de la Directiva 2003/87/CE, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Unión Europea (artículos 1 y 3). El objetivo de esta Directiva es establecer el régimen de comercio de derechos de emisión (RCDE) de la Unión Europea (UE).

Esta es la piedra angular de la política de la UE para luchar contra el cambio climático mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de una forma rentable y económicamente eficiente. Se basa en el principio de limitación y comercio (artículo 9).

La legislación originaria se ha modificado en varias ocasiones conforme ha evolucionado el sistema. Los cambios más recientes se adoptaron en la Directiva (UE) 2023/958 y en la Directiva (UE) 2023/959 como parte de la iniciativa Objetivo 55 de la UE, cuyo objetivo es garantizar que las políticas de la UE estén en consonancia con los compromisos y objetivos climáticos de la Ley Europea del Clima en el marco del Pacto Verde Europeo y el Acuerdo de París (artículos 2 y 5).

La Directiva se ha modificado en total hasta cuatro fases, las cuáles son:

Fase I (2005-2007): Período piloto, con asignaciones gratuitas de derechos de emisión (Directiva 2003/87/CE, artículo 10).

Fase II (2008-2012): Ajustes en la asignación y reducción del total de derechos emitidos (Directiva 2009/29/CE).

Fase III (2013-2020): Subasta como principal método de asignación y mayor inclusión de sectores (Directiva 2009/29/CE, artículos 10 y 11).

Fase IV (2021-2030): Reducción más ambiciosa del límite de emisiones y mecanismos para estabilizar el mercado (Directiva UE) 2018/410, artículos 1 y 3).

Para el período actual (el cuarto), la UE ha establecido un nuevo objetivo más ambicioso de una reducción de las emisiones de GEI del 62 % con respecto a los niveles que se emitían en 2005 (Directiva (UE) 2023/958, artículo 2).

4. FUNCIONAMIENTO DEL MERCADO DE EMISIONES DE CO2

4.1 Asignación y comercio de derechos de emisión

Los derechos de emisión son autorizaciones oficiales que permiten a una instalación o empresa emitir una determinada cantidad de gases de efecto invernadero, principalmente dióxido de carbono, durante un período concreto (Directiva 2003/87/CE, artículo 3).

El mercado de derechos de emisión de CO₂ constituye una herramienta fundamental de política ambiental basada en mecanismos de mercado. Su funcionamiento gira en torno a dos procesos esenciales: la asignación de derechos y el comercio de estos entre agentes económicos.

Asignación de derechos de emisión

La asignación de derechos de emisión es el primer paso para que el mercado funcione. Consiste en distribuir permisos que otorgan a su titular el derecho a emitir una tonelada de dióxido de carbono equivalente (tCO₂e) durante un periodo determinado (Directiva 2003/87/CE, artículo 10). Estos derechos pueden asignarse de diferentes maneras, dependiendo de la política adoptada:

Asignación gratuita: Tradicionalmente, para no perjudicar la competitividad de las empresas en sectores expuestos a competencia internacional, muchos derechos se asignaron gratuitamente (Directiva 2009/29/CE, artículo 10). Este método sigue aplicándose en sectores sensibles, como el acero, el cemento o las refinerías, aunque con criterios más restrictivos a medida que avanza la transición energética. La cantidad de derechos gratuitos se basa en parámetros de eficiencia tecnológica y producción histórica, para incentivar la modernización y reducción de emisiones.

Subastas: Actualmente, la asignación por subasta es el mecanismo predominante (Directiva 2009/29/CE, artículo 11). Las empresas deben adquirir los derechos a través de licitaciones públicas donde compiten ofreciendo precios. Este sistema refleja el principio de "quien contamina paga", obliga a

internalizar el coste del carbono y genera ingresos públicos, que se destinan, en parte, a financiar la transición ecológica. Parte de estos ingresos van al Fondo Social para el Clima creado por la UE, que tiene como objetivo garantizar una transición justa y equitativa (Reglamento (UE) 2021/1119, artículo 10).

Reservas específicas: Algunos derechos se reservan para nuevos entrantes en el mercado o para situaciones excepcionales, garantizando flexibilidad y equidad en el sistema (Directiva 2003/87/CE, artículo 10 bis).

Comercio de derechos de emisión

Una vez asignados, los derechos de emisión se convierten en activos negociables. Las empresas que gestionan sus emisiones de manera eficiente pueden generar excedentes y venderlos en el mercado, mientras que aquellas que superan sus asignaciones deben comprar derechos adicionales para cumplir con sus obligaciones (Directiva 2003/87/CE, artículo 12).

El comercio se realiza en dos grandes formas:

Mercado primario: Compra directa en subastas organizadas por las autoridades competentes. Participan empresas obligadas y, en ocasiones, intermediarios financieros.

Mercado secundario: Intercambio libre entre empresas o mediante plataformas específicas como la *European Energy Exchange* (EEX), principal bolsa para el comercio de derechos en Europa, regulada por la UE (Directiva 2003/87/CE, artículo 15). Otras plataformas relevantes incluyen *ICE ENDEX*, *Carbon Trade Exchange* y *NASDAQ OMX Commodities Europe*.

Este comercio permite que la reducción de emisiones ocurra donde sea más barato, generando eficiencia económica.

4.2 Mecanismos de control y funcionamiento

El éxito del mercado depende también de mecanismos efectivos de control y cumplimiento que garanticen la integridad ambiental del sistema (Directiva 2003/87/CE, artículos 14 y 16).

Sistema de seguimiento, notificación y verificación (MRV)

El núcleo del control reside en el sistema MRV (*Monitoring, Reporting and Verification*). Este impone obligaciones estrictas a los operadores:

-Seguimiento de emisiones: Medición o cálculo preciso según un plan aprobado (Directiva 2003/87/CE, anexo IV).

-Notificación anual: Informe detallado de emisiones con formato estandarizado (Directiva 2003/87/CE, artículo 14).

-Verificación independiente: Revisión por verificadores acreditados según la norma ISO 14065, acreditados en España por ENAC (Entidad Nacional de Acreditación) (Directiva 2003/87/CE, artículo 16).

El sistema MRV es esencial para garantizar que cada tonelada de CO₂ emitida esté respaldada por un derecho válido.

Entrega de derechos de emisión

Los operadores deben entregar derechos equivalentes a las emisiones verificadas antes del 30 de abril siguiente al año de emisión (Directiva 2003/87/CE, artículo 12).

Si no entregan suficientes derechos, enfrentan multas (actualmente 100 euros por tonelada no cubierta, indexadas) y deben entregar posteriormente los derechos faltantes, manteniendo la obligación de cumplimiento (Directiva 2003/87/CE, artículo 16 bis).

Inspecciones y auditorías

Las autoridades competentes, como la Oficina Española de Cambio Climático, realizan inspecciones y auditorías para verificar el cumplimiento (Ley 7/2021, artículo 48).

Sanciones

Se establecen multas, suspensión de actividades y pérdida de derechos gratuitos, así como publicación de infractores para preservar la integridad del sistema (Ley 7/2021, artículos 49-51).

4.3. Registro Nacional de Derechos de Emisión (RENADE)

El RENADE es el registro oficial en España para gestionar los derechos asignados o transferidos en el marco del RCDE UE (Real Decreto 437/2010, artículo 2).

Depende del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC).

Técnicamente es gestionado por la Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (SEPI) mediante Tragsatec.

Forma parte del Registro Unificado de la Unión Europea (Union Registry) que integra los registros nacionales para garantizar trazabilidad y seguridad (Reglamento (UE) nº 389/2013).

Funciones principales:

- Apertura y gestión de cuentas para operadores.
- Registro de asignaciones gratuitas, transferencias y transacciones (EUAs).
- Permitir la entrega anual de derechos según emisiones verificadas.
- Garantizar la trazabilidad y legalidad de todas las operaciones (Real Decreto 437/2010, artículo 5).

5. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA REGULACIÓN PÚBLICA

5.1 Evaluación del cumplimiento de objetivos climáticos

La evaluación del cumplimiento de los objetivos climáticos se refiere al proceso mediante el cual se mide, analiza y valora el grado en que los países, regiones o actores individuales están alcanzando las metas establecidas para mitigar el cambio climático, adaptarse a sus impactos y contribuir a la sostenibilidad ambiental. Estos objetivos se basan principalmente en acuerdos internacionales como el Acuerdo de París (2015) y compromisos nacionales conocidos como Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDCs).

a) Acuerdo de París (2015):

Tal como se detalló previamente, el Acuerdo de París constituye el marco internacional de referencia para la acción climática global. En el contexto de la evaluación del cumplimiento de objetivos, este acuerdo establece la arquitectura legal y política mediante la cual los países comunican sus compromisos climáticos (NDCs), rinden cuentas y actualizan sus metas cada cinco años.

b) Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDCs):

Cada país presenta sus compromisos voluntarios (NDCs), los cuales incluyen metas de reducción de emisiones, medidas de adaptación, y estrategias sectoriales (energía, transporte, agricultura, etc.).

Para esta evaluación del cumplimiento se llevan a cabo una serie de métodos y herramientas las cuáles son:

-Inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (GEI):

Los países reportan periódicamente sus emisiones y remociones de GEI usando metodologías del IPCC.

Se utilizan para medir avances frente a los niveles base.

-Evaluaciones técnicas de los NDCs:

Iniciativas como el Climate Action Tracker, la *UNFCCC Global Stocktake*, y el Pacto Climático de Glasgow revisan el cumplimiento y la ambición de los NDCs.

5.2 Análisis costo-beneficio del mercado de emisiones

El funcionamiento del mercado de emisiones implica realizar un análisis costo-beneficio para evaluar si los beneficios sociales, ambientales y económicos superan los costos que impone a las empresas, consumidores y gobiernos.

Este sistema funciona bajo el principio de "*cap and trade*", es decir:

Se establece un techo total de emisiones permitidas.

Se reparten o subastan permisos de emisión entre las empresas reguladas.

Las empresas reguladas son aquellas que operan en sectores con altos niveles de emisiones de gases de efecto invernadero y, por tanto, tienen una obligación legal de participar en el sistema.

La elegibilidad se basa en que estas actividades superan ciertos umbrales de capacidad y emisiones definidos por la normativa europea. En general, se trata de instalaciones industriales o energéticas que emiten más de 25.000 toneladas de CO₂ equivalente al año, aunque hay excepciones específicas.

Estas empresas están obligadas a monitorear y reportar sus emisiones anualmente, y a entregar derechos de emisión equivalentes a sus emisiones reales. Si no lo hacen, enfrentan sanciones significativas.

Las empresas que emiten menos de lo permitido pueden vender sus excedentes, mientras que las que superan su límite deben comprar permisos adicionales o invertir en reducción.

El mercado de emisiones, basado en el sistema "*cap and trade*", es una herramienta diseñada para reducir los gases de efecto invernadero de forma económicamente eficiente. Este mecanismo establece un tope total de emisiones y distribuye derechos de emisión entre las empresas reguladas, que pueden intercambiarlos según su desempeño ambiental.

Desde el punto de vista económico y ambiental, el sistema presenta una serie de beneficios relevantes:

Por un lado, promueve **la eficiencia económica**, al permitir que las reducciones de emisiones se produzcan donde resulte más barato hacerlo. Esto incentiva la innovación tecnológica y evita una carga excesiva sobre el gasto público, al tratarse de un mecanismo de mercado.

Además, el sistema contribuye a **igualar los costos marginales de abatimiento** entre empresas y sectores, lo que permite alcanzar los objetivos ambientales al menor coste agregado posible. Cuando los derechos se subastan, también se genera una **fuentes de ingresos públicos** que puede destinarse a financiar políticas climáticas, transición energética o compensaciones sociales.

Otro aspecto fundamental es la **certidumbre ambiental** que ofrece este sistema: al fijar un límite máximo de emisiones, se garantiza una reducción efectiva de gases contaminantes, algo que no ocurre con otros instrumentos como los impuestos al carbono, que fijan el precio pero no el volumen de reducción.

Sin embargo, el sistema también implica ciertos costos y desafíos:

Las empresas reguladas, especialmente en sectores intensivos en carbono como la siderurgia, el cemento o la energía, enfrentan **costes de cumplimiento** que pueden afectar su competitividad internacional. Estos costes, en parte, pueden trasladarse al consumidor final, encareciendo productos como la electricidad o bienes manufacturados, con un posible efecto regresivo si no se aplican medidas compensatorias.

Asimismo, el funcionamiento del sistema exige una **infraestructura administrativa compleja**, con mecanismos de monitoreo, reporte y verificación (MRV), lo que supone costes de gestión tanto para las autoridades como para las empresas.

Otro riesgo importante es **la volatilidad del precio del carbono**, que puede dificultar la planificación de inversiones a largo plazo y abrir la puerta a la especulación en el mercado secundario.

En el caso europeo, el EU ETS ha demostrado ser una herramienta eficaz: entre 2005 y 2022, las emisiones de los sectores cubiertos se redujeron en un 43 %. En su actual Fase IV (2021–2030), se ha fortalecido el sistema mediante un incremento de la subasta de derechos, una reducción de la asignación gratuita y la introducción de incentivos como el **Fondo de Innovación y el Fondo de Modernización**.

Además, se han introducido sanciones para sectores específicos, como el transporte marítimo, donde se prevén penalizaciones por exceso de emisiones a partir de 2028, y se estudian mecanismos como el **ajuste en frontera por carbono** (CBAM) que consiste en la deslocalización de empresas hacia países donde no existen sistemas equivalentes de precios al carbono para evitar la "fuga de carbono" hacia países con menor regulación ambiental.

5.3 Críticas y limitaciones del sistema

Aunque el sistema de comercio de derechos de emisión (ETS) ha sido uno de los pilares de la política climática europea, su aplicación no está exenta de críticas que apuntan tanto a su diseño como a sus impactos sociales, económicos y ambientales.

En primer lugar, el diseño inicial del EU ETS fue objeto de debate debido a la asignación gratuita masiva de derechos, que redujo los incentivos reales para disminuir emisiones y permitió beneficios extraordinarios a algunos emisores. Además, el techo de emisiones poco ambicioso en las primeras fases generó un exceso de derechos, provocando una caída de precios y reduciendo la efectividad del sistema.

En cuanto a la implementación, uno de los desafíos persistentes es la volatilidad del precio del carbono, que dificulta la planificación de inversiones a largo plazo. A ello se suma la complejidad administrativa, que requiere una infraestructura sólida para el monitoreo y verificación, elevando los costes de gestión.

Desde la perspectiva social, se critica el impacto regresivo del sistema, ya que los costes pueden trasladarse a los consumidores, afectando especialmente a los hogares más vulnerables. Asimismo, no todas las regiones ni sectores han podido adaptarse al mismo ritmo, lo que genera desequilibrios en la transición ecológica.

En términos de eficacia ambiental, el ETS aún no cubre todos los sectores emisores, como el transporte por carretera o la edificación residencial. También persisten riesgos de fuga de carbono, cuando industrias se trasladan a países con normativas más laxas. Aunque se han propuesto mecanismos correctores, como el CBAM, su aplicación es reciente.

Finalmente, desde la economía ecológica se cuestiona la mercantilización de la contaminación, argumentando que el ETS podría facilitar el “*greenwashing*” si

no se acompaña de transformaciones reales en los modelos productivos.

En resumen, el ETS es una herramienta relevante y eficaz en muchos aspectos, pero requiere ajustes, controles más estrictos y políticas complementarias que aseguren su equidad, credibilidad y efectividad ambiental.

6. IMPACTO ECONÓMICO Y SOCIAL

6.1 Repercusiones en el tejido empresarial

El mercado de derechos de emisión, ha generado importantes repercusiones en el tejido empresarial, especialmente en los sectores en los que se emite más carbono. Este instrumento económico, concebido para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero mediante un sistema de asignación y comercio de derechos, introduce un coste adicional por contaminar, lo que incide directamente en la estructura de costes de muchas empresas.

En primer lugar, las empresas de sectores como la energía, la siderurgia, el cemento, la aviación o la industria química se han visto directamente afectadas, ya que están sujetas a obligaciones de cumplimiento dentro del mercado de derechos de emisión. Para estas compañías, el precio del carbono se convierte en un factor estratégico. A medida que el precio de los derechos aumenta, también lo hace el incentivo económico para reducir emisiones o invertir en tecnologías más limpias. Esto puede traducirse en mayores costes de producción, reducción de márgenes o incluso pérdida de competitividad frente a competidores internacionales ubicados en países con normativas menos estrictas.

En ese sentido, uno de los riesgos más debatidos es el fenómeno de fuga de carbono , aunque esto ha generado debates sobre su eficacia y equidad.

Por otro lado, el mercado de derechos también ha impulsado un proceso de transformación y reconversión productiva en el tejido empresarial. Muchas compañías han iniciado procesos de transición energética, apostando por la eficiencia energética, el uso de energías renovables o la innovación tecnológica para reducir sus emisiones y, por tanto, su exposición a los costes del carbono. De este modo, el sistema no solo actúa como penalización económica, sino también como palanca de cambio e innovación en el ámbito empresarial.

Las repercusiones no son homogéneas. Mientras que las grandes empresas, especialmente las multinacionales, disponen de mayores recursos para adaptarse, las pequeñas y medianas empresas (pymes) enfrentan mayores dificultades, debido a su limitada capacidad de inversión y adaptación tecnológica.

Finalmente, cabe señalar que el mercado de derechos de emisión ha dado lugar a nuevas oportunidades de negocio. Han surgido mercados secundarios, servicios de consultoría ambiental, certificación de huella de carbono, tecnologías limpias y otros sectores vinculados a la transición ecológica. Esto representa una reconfiguración del tejido productivo, en el que las empresas más ágiles y comprometidas con la sostenibilidad pueden obtener ventajas competitivas a largo plazo.

6.2 Impacto en los hogares y en la distribución de renta

El funcionamiento del mercado de derechos de emisión no solo tiene implicaciones en el ámbito empresarial, sino que también genera efectos relevantes en los hogares, tanto de forma directa como indirecta. Estas repercusiones pueden observarse especialmente en términos de coste de vida, consumo energético y distribución de la renta, planteando desafíos sociales

que deben ser abordados mediante políticas redistributivas y medidas de protección para los colectivos más vulnerables.

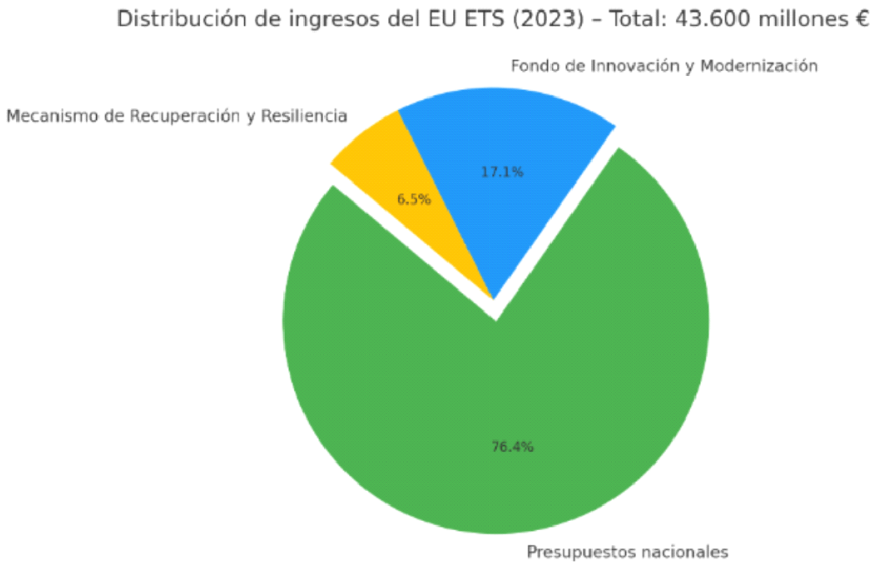
En primer lugar, el aumento del precio del carbono, derivado del funcionamiento del mercado de derechos, tiende a encarecer los bienes y servicios intensivos en emisiones, entre ellos la electricidad, los combustibles fósiles (como el gas y el diésel) y ciertos productos industriales o agrícolas cuyo proceso de producción es intensivo en carbono. Este encarecimiento se traslada, de forma parcial o total, a los precios finales que pagan los consumidores, lo que supone un incremento del coste de vida.

Los hogares se ven afectados en especial por el aumento de los costes energéticos. La calefacción, el transporte particular y, en general, el consumo energético doméstico representan una proporción significativa del gasto en los presupuestos familiares, sobre todo en los hogares de menor renta. Esto se traduce en una carga económica regresiva, ya que los hogares con menores ingresos destinan un mayor porcentaje de su renta al consumo energético. Como resultado, el sistema de comercio de emisiones puede tener un efecto desigual que agrava las desigualdades sociales y territoriales.

Además, la evolución del mercado de derechos de emisión puede influir indirectamente en el mercado laboral y en la renta disponible de los hogares. Por ejemplo, sectores productivos con alta exposición al coste del carbono pueden enfrentar reducciones de plantilla o reestructuraciones, afectando la estabilidad laboral y los ingresos de muchos trabajadores. Así, el sistema ETS, si no va acompañado de medidas correctoras, podría contribuir a tensiones sociales y económicas.

Para contrarrestar estos efectos, es fundamental el diseño y aplicación de políticas redistributivas, financiadas en parte con los ingresos generados por la subasta de derechos de emisión. Estos ingresos pueden destinarse a compensaciones directas a los hogares más afectados (por ejemplo, mediante

transferencias o reducciones fiscales), a la inversión en eficiencia energética doméstica, y al fomento de modos de transporte sostenibles y asequibles.



Fuente: INFORME DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO Y AL CONSEJO sobre el funcionamiento del mercado europeo de carbono en 2023

La gráfica de sectores representa la distribución de los ingresos obtenidos a través del Sistema de Comercio de Emisiones de la Unión Europea (EU ETS) durante el año 2023, cuyo total ascendió a 43.600 millones de euros. Este sistema establece un límite máximo de emisiones para determinados sectores, y permite la compraventa de derechos de emisión entre empresas, generando ingresos públicos mediante la subasta de estos derechos.

Tal como se muestra en el gráfico el 76,4% de los ingresos (unos 33.300 millones de euros) se asigna a los presupuestos nacionales de los Estados miembros. Esta parte representa la principal fuente de financiación disponible para que cada país implemente medidas climáticas, sociales o de transición justa a nivel interno.

El 17,1% (aproximadamente 7.400 millones de euros) se canaliza a través del Fondo de Innovación y Modernización, una herramienta europea destinada a fomentar el desarrollo de tecnologías limpias, la eficiencia energética y la modernización del sector industrial y energético en los países con menores ingresos.

El 6,5% restante (unos 2.800 millones de euros) se destina al Mecanismo de Recuperación y Resiliencia, vinculado al plan de recuperación económica tras la pandemia, con un enfoque en la sostenibilidad y la transformación verde.

Esta distribución es relevante desde el punto de vista de la justicia climática y la equidad social, ya que gran parte de los ingresos en concreto, los canalizados a través de los presupuestos nacionales podrían destinarse a políticas redistributivas para mitigar el impacto de los precios del carbono sobre los hogares vulnerables. La normativa europea recomienda que al menos el 50% de estos ingresos nacionales se utilicen con fines climáticos, lo que abriría un margen significativo para compensaciones sociales, subvenciones o inversiones en eficiencia energética doméstica.

7. ESTUDIO DE CASO: APLICACIÓN EN SECTORES CLAVE

7.1 Sector energético

El sector energético, clave en las emisiones de gases de efecto invernadero, está regulado en España bajo el marco del Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (EU ETS), implementado desde 2005. Las grandes instalaciones eléctricas deben cumplir con la Directiva 2003/87/CE, que establece el régimen para el comercio de derechos de emisión en la UE, y con normativas nacionales derivadas del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030.

Este sector está sujeto a obligaciones de monitorización, verificación y notificación, y la asignación de derechos gratuitos ha ido disminuyendo en las fases más recientes (Fase III y IV). La presión económica del precio del carbono ha acelerado el cierre de centrales térmicas de carbón, conforme a lo dispuesto en la Ley 7/2021, de cambio climático y transición energética, especialmente en sus artículos relativos a la descarbonización del sistema eléctrico.

Asimismo, las subastas de capacidad y contratos por diferencias para renovables están regulados por el Real Decreto 960/2020, que establece medidas para la transición energética y la seguridad del suministro. La Ley 24/2013 del Sector Eléctrico también regula aspectos clave de este proceso.

El impacto económico y social ha generado la necesidad de políticas de transición justa, contempladas en el Artículo 19 de la Ley 7/2021, que prevé mecanismos de apoyo a trabajadores y regiones afectadas.

7.2 Industria manufacturera

La industria manufacturera representa uno de los pilares fundamentales de la economía española y, al mismo tiempo, uno de los sectores más relevantes dentro del Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (EU ETS). Debido a su alta intensidad energética y de carbono, numerosas actividades industriales han estado sujetas a las obligaciones del sistema desde su implementación en

2005. Esto ha tenido importantes implicaciones en términos de costes, transformación tecnológica y competitividad.

Inclusión de la industria manufacturera en el EU ETS

El EU ETS cubre una amplia gama de actividades industriales, incluyendo la producción de cemento, acero, vidrio, cerámica, papel, productos químicos y refino de petróleo, entre otros. Estas instalaciones están obligadas a monitorear y reportar sus emisiones anuales de gases de efecto invernadero (GEI), y deben entregar un número equivalente de derechos de emisión (EUAs) al final de cada periodo de cumplimiento.

En sus primeras fases, muchas de estas industrias recibieron asignaciones gratuitas de derechos con el fin de evitar la “fuga de carbono” (carbon leakage), es decir, la deslocalización de la producción hacia países con regulaciones ambientales menos estrictas. No obstante, con la progresiva maduración del sistema, la cantidad de derechos gratuitos se ha ido reduciendo y se ha vinculado al desempeño en eficiencia energética y a criterios de benchmarking.

Efectos sobre la competitividad y la inversión

El impacto del mercado de emisiones sobre la industria manufacturera ha sido diverso y sectorialmente asimétrico. En general, las industrias más expuestas a la competencia internacional y con menor margen para reducir emisiones han experimentado mayores dificultades. Los costes asociados a la compra de derechos han representado un desafío, sobre todo en momentos de alta volatilidad del precio del carbono.

Sin embargo, para muchas empresas, el EU ETS ha actuado también como un catalizador para la innovación. Se han impulsado inversiones en eficiencia energética, reciclaje de calor, electrificación de procesos y captura de carbono (CCUS). De igual forma, se ha observado una tendencia creciente hacia la digitalización y automatización como estrategias para mejorar la productividad y reducir la huella de carbono.

Medidas de apoyo y compensación

El Gobierno español, en consonancia con la normativa europea, ha implementado diversas medidas para mitigar los posibles efectos adversos del EU ETS sobre la industria. Entre ellas destacan los mecanismos de compensación por costes indirectos de CO₂ (afectación en el precio de la electricidad), líneas de financiación para proyectos de descarbonización industrial y ayudas para la I+D en tecnologías limpias.

Además, el marco normativo se ha ido complementando con iniciativas como los Contratos por Diferencias de Carbono (CCfDs), cuyo objetivo es ofrecer estabilidad y certidumbre en las inversiones industriales bajas en carbono, así como con el despliegue de planes de transición justa en áreas industriales en declive.

Perspectivas y retos

La industria manufacturera se encuentra en una encrucijada clave: debe avanzar hacia una descarbonización profunda sin comprometer su competitividad y su papel estratégico en la economía nacional. Esto exige un equilibrio entre regulación efectiva, incentivos adecuados e innovación tecnológica. El futuro del sector estará condicionado por su capacidad de adaptarse a un entorno en el que el coste del carbono será cada vez más determinante.

La llegada de la Fase IV del EU ETS (2021-2030), junto con el Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono (CBAM), marcarán un punto de inflexión, al reforzar el marco regulatorio y promover condiciones más equitativas en el comercio internacional, protegiendo al mismo tiempo los objetivos climáticos de la Unión Europea.

7.3 Transporte y movilidad sostenible

El sector del transporte representa uno de los mayores desafíos en la lucha contra el cambio climático debido a su elevada dependencia de los combustibles fósiles y su creciente volumen de emisiones. En España, el transporte es responsable de aproximadamente el 29% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI), siendo el subsector del transporte por carretera el principal contribuyente. En este contexto, la regulación pública y el diseño de políticas para fomentar la movilidad sostenible han cobrado un protagonismo creciente en el marco de la transición energética.

Exclusión parcial del transporte del EU ETS

A diferencia de los sectores energético e industrial, el transporte por carretera no ha estado incluido directamente en el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (EU ETS) en sus primeras fases. Sin embargo, el transporte aéreo intraeuropeo sí ha sido incorporado parcialmente desde 2012, con los operadores aéreos obligados a adquirir derechos de emisión para cubrir parte de sus emisiones. A partir de 2027, está prevista la ampliación del EU ETS al transporte por carretera y a los edificios, lo que supondrá un cambio estructural significativo en el tratamiento de este sector dentro del mercado de carbono.

Mientras tanto, las emisiones del transporte por carretera han sido abordadas principalmente mediante instrumentos regulatorios, fiscales y de planificación urbana. Entre ellos destacan los estándares de eficiencia de combustible, los incentivos a la electrificación del parque móvil, y las políticas de peajes urbanos o zonas de bajas emisiones.

Políticas nacionales de movilidad sostenible

España ha desarrollado un marco normativo ambicioso para transformar la movilidad, alineado con los objetivos del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) y la Ley 7/2021, de cambio climático y transición energética. Esta última establece metas como la prohibición de la venta de vehículos de combustión interna a partir de 2040 y la obligación de desplegar zonas de bajas emisiones en municipios de más de 50.000 habitantes.

Asimismo, se han impulsado programas de ayudas como el Plan MOVES, dirigido a fomentar la adquisición de vehículos eléctricos, el desarrollo de infraestructuras de recarga y la renovación del parque móvil. Estas medidas buscan reducir tanto las emisiones directas como los impactos negativos del transporte en términos de ruido, congestión y calidad del aire.

Desafíos estructurales y sociales

El proceso de transición hacia una movilidad más sostenible presenta varios retos. Por un lado, existen barreras tecnológicas y de infraestructura, como la limitada autonomía de algunos vehículos eléctricos, la escasez de puntos de recarga en áreas rurales, y la necesidad de adaptar la red eléctrica a una mayor demanda.

Por otro lado, surgen desafíos sociales asociados a la equidad en el acceso a la movilidad sostenible. El coste de adquisición de vehículos eléctricos, aunque en descenso, sigue siendo elevado para muchas familias, lo que podría generar desigualdades si no se acompañan estas políticas de medidas redistributivas. Además, la reconversión de sectores como la automoción y el transporte profesional requiere programas de *re-skilling* y apoyo laboral.

Hacia un transporte descarbonizado

El futuro del transporte en España pasa por una combinación de descarbonización tecnológica, planificación urbana inteligente y cambio cultural. Se prevé que la electrificación del transporte privado, el impulso al transporte público y compartido, y el desarrollo del hidrógeno renovable para vehículos pesados y de largo recorrido sean elementos clave de esta transformación.

La integración futura del transporte en el mercado de emisiones europeo, junto con mecanismos fiscales como el impuesto al CO₂ en carburantes o el nuevo régimen de comercio de emisiones para carburantes (ETS 2), reforzará los incentivos económicos para reducir emisiones. Sin embargo, su éxito

dependerá en gran medida de una implementación gradual, justa y acompañada de medidas sociales compensatorias.

8. RETOS Y PERSPECTIVAS FUTURAS

8.1 Reformas necesarias en el mercado de emisiones

El Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (EU ETS), regulado inicialmente por la Directiva 2003/87/CE y sus sucesivas actualizaciones, sigue siendo el pilar fundamental de la política climática europea para sectores como la generación eléctrica y la industria pesada. A pesar de sus avances, el sistema ha mostrado limitaciones estructurales, lo que ha impulsado propuestas de reforma contempladas en el Paquete Legislativo Fit for 55 (2021) y en la revisión de la directiva ETS en el Reglamento (UE) 2023/956.

El fortalecimiento del mecanismo de ajuste del mercado se basa en la mejora de la Reserva de Estabilidad del Mercado (MSR), regulada en la Decisión 2015/1814/UE, con propuestas para acelerar la retirada de derechos excedentes y mejorar la señal de precio del carbono, como propone la Comisión Europea en su Comunicación de julio de 2021.

La actualización del Factor de Reducción Lineal (LRF), que determina la disminución anual de los derechos de emisión disponibles, es clave para alcanzar el objetivo del 55% de reducción de emisiones para 2030 establecido en el Reglamento (UE) 2021/1119 (Ley Europea del Clima).

Se plantea también la inclusión de nuevos sectores, con la creación del denominado ETS 2 para transporte por carretera y edificios, previsto en el Reglamento (UE) 2023/957 y que entrará en vigor en 2027. Este nuevo sistema se acompaña del establecimiento del Fondo Social para el Clima, con el fin de

proteger a hogares vulnerables frente a incrementos en costes energéticos derivados del precio del carbono.

En cuanto al régimen de asignación gratuita, regulado en la Directiva 2003/87/CE, Artículo 10a, se prevé su progresiva sustitución por el Mecanismo de Ajuste en Frontera por Carbono (CBAM), regulado por el Reglamento (UE) 2023/956, que busca evitar la fuga de carbono mediante la imposición de un coste sobre las importaciones con alta huella de carbono, asegurando a la vez la compatibilidad con las normas de la Organización Mundial del Comercio (OMC).

Finalmente, se enfatiza la necesidad de reforzar la transparencia y justicia climática en la gestión del EU ETS, con una gobernanza que asegure que los ingresos por subastas se canalicen hacia la transición ecológica, innovación y apoyo social, conforme a los principios del Pacto Verde Europeo y las directrices del Reglamento (UE) 2021/241 relativo al Mecanismo de Recuperación y Resiliencia.

8.2 Innovación tecnológica y transición verde

La innovación tecnológica es esencial para la descarbonización, como reconocen políticas europeas y nacionales. El Fondo de Innovación de la UE, financiado con ingresos del EU ETS y regulado por el Reglamento (UE) 2021/1040, financia proyectos de tecnologías limpias a gran escala.

En España, el Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR) y el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 asignan recursos significativos a la transición verde, incluyendo el impulso a la movilidad eléctrica, la eficiencia energética en edificios y el desarrollo de la Estrategia Nacional del Hidrógeno Verde.

Entre las barreras identificadas para la innovación están el alto coste inicial y la incertidumbre regulatoria, por lo que se requieren marcos normativos estables y predecibles. Mecanismos de mercado innovadores, como los Contratos por Diferencias de Carbono (CCfDs), propuestos en la Estrategia de Innovación para la Descarbonización, garantizan precios mínimos para proyectos pioneros, incentivando la inversión.

La innovación también debe orientarse a generar empleo verde y competitividad, alineando la política tecnológica con la formación y recualificación laboral, en línea con las directrices de la Estrategia Española de Economía Circular y los objetivos de la Agenda 2030.

8.3 Cooperación internacional y cumplimiento de los Acuerdos de París

La cooperación internacional es vital para enfrentar el cambio climático, conforme a los compromisos del Acuerdo de París (2015) y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

La Unión Europea, a través del Pacto Verde Europeo y la legislación climática comunitaria, lidera esfuerzos para alcanzar la neutralidad climática en 2050. España integra estos compromisos en su marco normativo mediante la Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética y el PNIEC, además de participar activamente en iniciativas multilaterales como la Alianza por la Ambición Climática.

La cooperación debe abordar la justicia climática, reconociendo las responsabilidades diferenciadas y apoyando la transferencia tecnológica y financiera a países en desarrollo, conforme a los principios establecidos en la CMNUCC y los mecanismos de financiamiento climático internacional.

Entre los desafíos globales destacan la insuficiencia de los NDCs actuales, el incumplimiento de compromisos y las tensiones geopolíticas. No obstante, existen oportunidades para fortalecer alianzas regionales (p. ej., UE-América

Latina), mejorar mecanismos de transparencia y promover iniciativas conjuntas en innovación tecnológica y sostenibilidad agrícola, alineadas con los objetivos de la Agenda 2030 y los ODS.

9. CONCLUSIONES

9.1 Síntesis de los hallazgos

A lo largo de este trabajo se ha abordado de forma integral el funcionamiento del mercado de emisiones de CO₂ en la Unión Europea, con especial atención a su implementación en España y al papel del sector público en la regulación ambiental. Los hallazgos clave pueden sintetizarse en los siguientes puntos:

1. Externalidades y necesidad de intervención pública

Se ha evidenciado que el cambio climático representa una externalidad negativa de gran magnitud que el mercado por sí solo no puede corregir. La intervención pública es, por tanto, indispensable para internalizar estos costes sociales mediante instrumentos como los derechos de emisión.

2. Funcionamiento del Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (EU ETS)

El EU ETS se ha consolidado como el principal mecanismo de mercado para limitar las emisiones de gases de efecto invernadero en Europa. Su diseño basado en la asignación de derechos de emisión y la posibilidad de comerciarlos ha permitido establecer un precio al carbono, incentivando la reducción de emisiones de forma eficiente.

3. Marco legal español y compromiso climático

España ha incorporado de manera efectiva las directrices europeas a través de normas como la Ley 7/2021 de Cambio Climático y Transición Energética, y planes como el PNIEC. Esto ha permitido consolidar una estructura normativa alineada con los objetivos del Acuerdo de París y con los compromisos europeos en materia climática.

4. Evaluación del sistema de comercio de emisiones

El análisis del desempeño del mercado de emisiones muestra avances significativos en la reducción de emisiones, especialmente en sectores como la energía y la industria. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con su cobertura, volatilidad de precios y equidad distributiva.

5. Impactos económicos y sociales

Se ha identificado un impacto desigual del mercado de carbono, tanto a nivel sectorial como social. Mientras que algunas industrias han logrado adaptarse con mayor facilidad, otras enfrentan costes de transición más elevados. En el plano social, los hogares de menores ingresos son más vulnerables al aumento de costes energéticos, lo que demanda políticas compensatorias más ambiciosas.

6. Importancia de la innovación y la cooperación

La innovación tecnológica se perfila como un eje central para avanzar en la descarbonización, siendo necesario un entorno propicio para el desarrollo de tecnologías limpias. Al mismo tiempo, el cumplimiento de los compromisos climáticos requiere una cooperación internacional sólida, con énfasis en la justicia climática, la transferencia tecnológica y la financiación verde.

9.2 Reflexiones finales sobre el papel del sector público

El papel del sector público en la lucha contra el cambio climático es, hoy más que nunca, crucial y multifacético. A lo largo de este trabajo se ha mostrado cómo los mecanismos de mercado, en particular el Sistema Europeo de Comercio de Emisiones (EU ETS), han demostrado ser herramientas efectivas para reducir emisiones en determinados sectores. Sin embargo, estos instrumentos no pueden funcionar de manera aislada ni corregir por sí solos todos los fallos de mercado, sociales o institucionales asociados al cambio climático. De ahí la necesidad de una intervención pública decidida, planificada y justa.

Coordinación, planificación y regulación activa

El Estado debe actuar como coordinador de la transición ecológica, estableciendo marcos regulatorios claros y estables que generen confianza en los agentes económicos. Esto implica no sólo legislar, sino también anticipar cambios estructurales, facilitar la reconversión industrial y garantizar que las normas ambientales estén alineadas con los objetivos de largo plazo, como la neutralidad climática para 2050.

La planificación pública a través de estrategias como el PNIEC o la Ley 7/2021 permite dar coherencia a las distintas políticas sectoriales (energía, transporte, industria), lo que es esencial para evitar solapamientos, contradicciones o ineficiencias.

Corrección de desigualdades y protección de los más vulnerables

Otro de los roles fundamentales del sector público es garantizar la equidad en la transición. El cambio climático y las políticas climáticas no afectan a todos por igual: hogares con menos recursos y regiones altamente dependientes de industrias intensivas en carbono pueden sufrir más. Por tanto, se requiere un enfoque redistributivo que incluya medidas compensatorias, acceso justo a tecnologías limpias y políticas de reindustrialización verde.

Estímulo a la innovación y a la colaboración internacional

El sector público también debe ejercer un rol proactivo como impulsor de la innovación tecnológica. Esto incluye el apoyo a la investigación, el desarrollo de infraestructuras verdes y la financiación de proyectos pioneros en descarbonización. Asimismo, debe actuar como facilitador de la cooperación internacional, aportando recursos, conocimientos y liderazgo en foros multilaterales.

Gobernanza y participación ciudadana

Por último, la legitimidad de las políticas públicas en materia climática exige una gobernanza transparente y participativa. Es fundamental fomentar la participación ciudadana, la rendición de cuentas y la colaboración con el sector privado y la sociedad civil. Solo así se puede asegurar una transición ecológica que sea no solo técnica y económica, sino también democrática y socialmente aceptada.

10. BIBLIOGRAFÍA

Climate Action Tracker. (14 de noviembre de 2024). *Global Update: A medida que la crisis climática empeora, las perspectivas de calentamiento se estancan.*
https://climateactiontracker.org/documents/1277/CAT_2024-11-14_GlobalUpdate_COP29.pdf

Comisión Europea. (2003). *Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un sistema para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad.* EUR-Lex: acceso al Derecho de la Unión Europea.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32003L0087>

Comisión Europea. (2024). *Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre el funcionamiento del mercado europeo del carbono en 2023.* COM(2024) 538 final.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX%3A52024DC0538>

Comisión Europea. (s. f.). *El Pacto Verde Europeo.*
https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es

Comisión Europea. (s. f.). *Innovation Fund.*
https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-funding-climate-action/innovation-fund_en

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
(2015). *Acuerdo de París.*
https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (s. f.). *Contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC).*
<https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/contribuciones-determinadas-a-nivel-nacional-ndc>

Econococo. (marzo de 2024). *Las externalidades.* Econococo.
<https://econococo.colectivorecet.com/las-externalidades/>

Gobierno de España. (2005). *Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.* Boletín Oficial del Estado.
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2005-3941>

Gobierno de España. (2021). *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición Energética* (Boletín Oficial del Estado).
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-8447

Gobierno de España. (2024). *El Pacto Verde Europeo: iniciativas para alcanzar la neutralidad climática en la UE*. La Moncloa: Servicios de Prensa.
<https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/transicion-ecologica/paginas/2024/que-es-el-pacto-verde-europeo.aspx>

Hernández, A. (25 de abril de 2025). *La ONU impone su primer impuesto al carbono: ¿cruzada ecológica o asalto fiscal global?* Libertad Digital: Ciencia y Tecnología.
<https://www.libertaddigital.com/ciencia-tecnologia/ciencia/2025-04-25/la-onu-impone-su-primer-impuesto-al-carbono-cruzada-ecologica-o-asalto-fiscal-global-7246435>

Hernández, A. (30 de junio de 2023). *El mercado de carbono ensancha la desigualdad y penaliza a las rentas bajas*. El Confidencial: Economía.
https://www.elconfidencial.com/economia/2023-06-30/mercado-carbono-ensancha-desigualdad-penaliza-rentas-bajas_3682964

Jefatura del Estado. (2021). *Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética*. Boletín Oficial del Estado.
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-8447

Martín, J. F. (21 de mayo de 2025). *Qué son los fondos del Plan Social para el Clima que España debe presentar*. El País: Clima y Medio Ambiente. <https://elpais.com/clima-y-medio-ambiente/2025-05-21/que-son-los-fondos-del-plan-social-para-el-clima-que-espana-debe-presentar.html>

Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (s. f.). *Guía para la evaluación del cumplimiento del principio de no causar un perjuicio significativo (DNSH) al medio ambiente en relación con la Inversión 2 del Componente 12 (C12.I2) del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia del Reino de España (PRTR)*. https://www.mintur.gob.es/es-es/recuperacion-transformacion-resiliencia/Documents/DNSH_Analisis_sectores_industriales_v15.pdf

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *¿Qué es el comercio de derechos de emisión?* MITECO: Cambio Climático. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/que-es-el-comercio-de-derechos-de-emision.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Comercio de derechos de emisión*. MITECO: Cambio Climático. <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *El comercio de derechos de emisión de la UE para transporte marítimo*. MITECO: Cambio Climático.
<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/transporte-maritimo.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Introducción a la asignación de derechos de emisión*. MITECO: Comercio de derechos de emisión.
<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/intro-asignacion.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Normativa*. MITECO: Comercio de derechos de emisión.
<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/normativa.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030*. Gobierno de España. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030*. Gobierno de España. <https://www.prtr.miteco.gob.es/es/el-plan.html>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). *Registro Nacional de Derechos de Emisión de Gases de Efecto Invernadero (RENADE)*. MITECO: Cambio Climático. <https://www.renade.es/esp/Sobre-Renade>

Moreno, P. (23 de febrero de 2021). *Economía del cambio climático (IV): Fallos de mercado*. Blog NewDeal. <https://blognewdeal.com/pablo-moreno/economia-del-cambio-climatico-iv-fallos-de-mercado/>

Publications Office de la Unión Europea. (1 de marzo de 2024). *EU emissions trading system*. EUR-Lex: Resumen del régimen de comercio de derechos de emisión de la UE. <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/eu-emissions-trading-system.html>

Publications Office de la Unión Europea. (21 de marzo de 2024). *EU emissions trading system*. EUR-Lex: resumen del sistema de comercio de

emisiones de la UE.
<https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/eu-emissions-trading-system.html>

Publications Office de la Unión Europea. (s. f.). *Seguimiento, notificación y verificación de las emisiones de los buques.* EUR-Lex: Resumen del Reglamento (UE) 2015/757.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=LEGISSUM:20010301>;

Redacción ticjob. (18 de noviembre de 2024). *Tecnología sostenible: innovación para un futuro verde.* Blog ticjob.es.
<https://blog.ticjob.es/tecnologia-sostenible-innovacion-para-un-futuro-verde/>

The Decision Lab. (s. f.). *William Nordhaus.*
<https://thedecisionlab.com/es/thinkers/economics/william-nordhaus>

