

# EMISIONES Y CAMBIO CLIMÁTICO ¿QUIÉN CONTAMINA EL PLANETA?

Gerard Llobet\*

CEMFI y CEPR

## Resumen

Este artículo ofrece una visión general sobre la evolución y distribución global de las emisiones de CO<sub>2</sub>, su efecto sobre el cambio climático y los esfuerzos para su reducción. Analiza el origen de las emisiones y, en particular, cómo dependen del nivel de desarrollo de los países y la contribución de los diferentes sectores de la economía. Muestra que la reducción de las emisiones en los países desarrollados de las últimas décadas se asocia principalmente al proceso de descarbonización de la producción de electricidad, fruto de la sustitución del carbón por fuentes de energía renovable como la eólica o la solar.

*Palabras clave:* cambio climático, energía renovable, desarrollo económico, emisiones de CO<sub>2</sub>.

## Abstract

This paper provides an overview of the evolution and global distribution of CO<sub>2</sub> emissions, their effect on climate change, and the efforts aimed at their reduction. It analyzes the origin of emissions and, in particular, how they depend on the countries' level of development and the contribution of different economic sectors. It shows that the reduction of emissions in developed countries over recent decades is mainly associated with the process of decarbonizing electricity production, resulting from the substitution of coal with renewable energy sources such as wind or solar power.

*Keywords:* climate change, renewable energy, economic growth, CO<sub>2</sub> emissions.

*JEL classification:* Q42, Q54.

## I. INTRODUCCIÓN: EL CAMBIO CLIMÁTICO

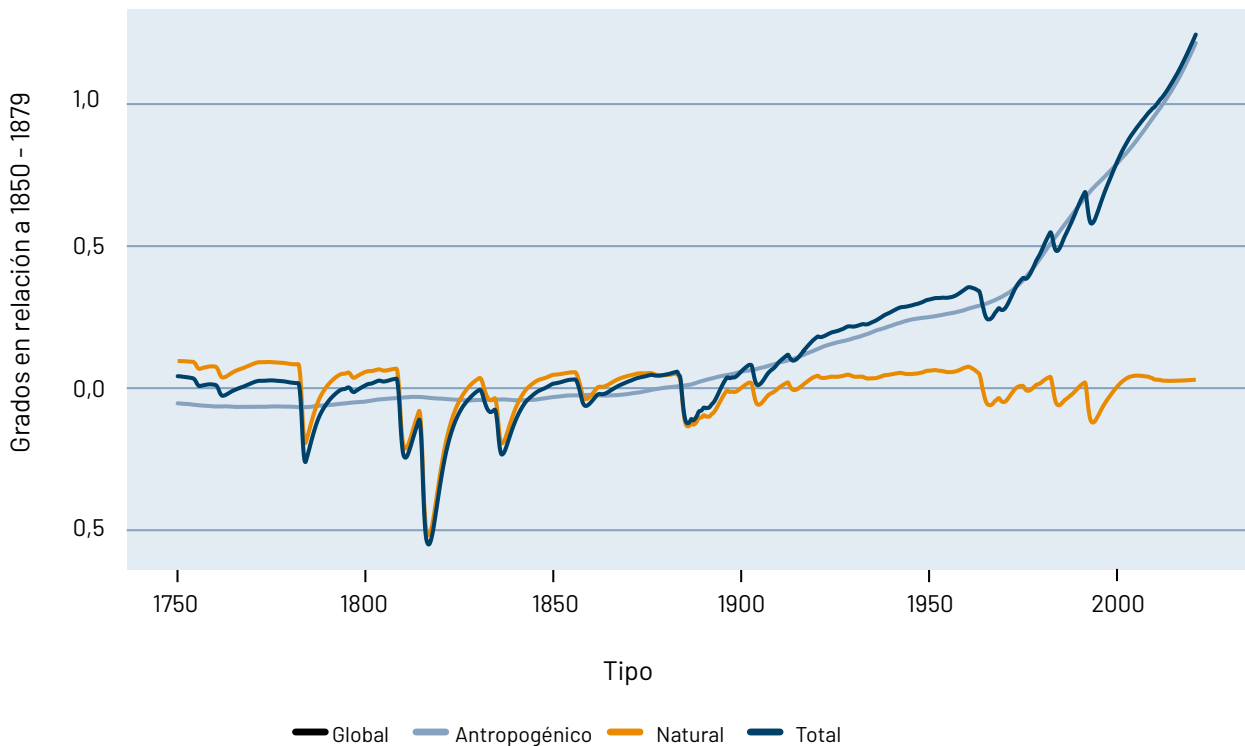
El mes de junio de 2025 fue el más cálido en España desde que existen registros. Mientras que en los años setenta del siglo XX los episodios de ola de calor raramente excedían los cinco días al año, desde 2020 este número ha crecido a más de 20 de manera habitual (AEMET, 2024). Esta es una de las muchas manifestaciones del cambio climático que, entre otras cosas, incrementa la prevalencia de fenómenos extremos.

El gráfico 1 muestra la evolución de la temperatura media del planeta entre 1750 y 2020 respecto a la media del período 1850-1879. El gráfico separa la parte de la anomalía térmica observada que se puede explicar por motivos naturales, tales como

variaciones en la radiación solar o erupciones volcánicas, atribuyendo el resto a la acción del hombre (1). El gráfico muestra que la temperatura históricamente ha fluctuado de manera considerable por motivos naturales, tal como sucedió, por ejemplo, en el primer cuarto del siglo XIX. Sin embargo, estas variaciones naturales son eminentemente transitorias y no explican el crecimiento sostenido de las temperaturas observado durante el último siglo. La divergencia entre ambas medidas es atribuible a la acción del hombre.

La ciencia muestra que el efecto antropogénico del cambio climático opera a través de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Dichos gases capturan parte de la radiación infrarroja provenien-

**GRÁFICO 1**  
**EVOLUCIÓN DE LA TEMPERATURA DEL PLANETA 1750-2020**



Fuente: globalwarmingindex.org.

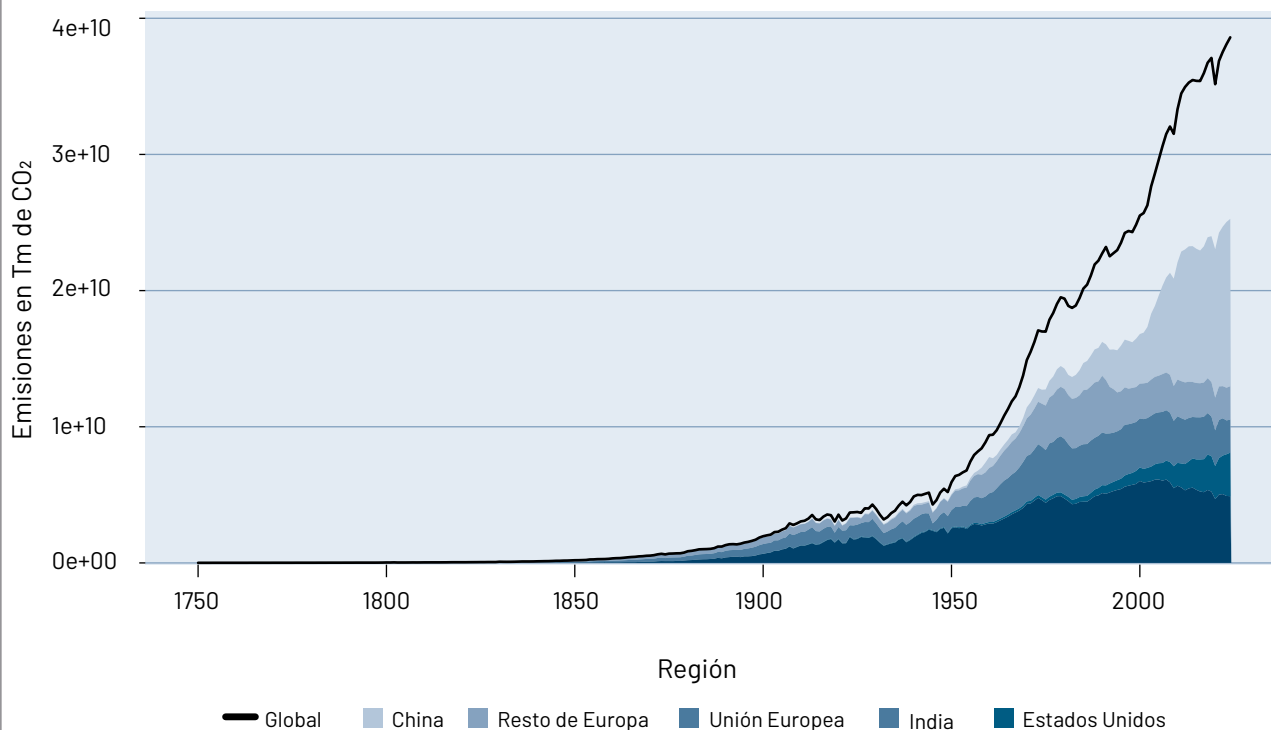
te de la luz solar que refleja la superficie del planeta y contribuyen al calentamiento de la atmósfera. Los GEI ya estaban presentes en la atmósfera antes de la acción del hombre y, al reducir la disipación del efecto calorífico del col, han sido los responsables de que el planeta tenga un clima relativamente benigno. La actividad humana ha potenciado este efecto al incrementar el volumen de estos gases en la atmósfera. Esta relación es conocida desde hace más de cincuenta años, como lo atestigua un trabajo de 1975 del Premio Nobel William Nordhaus de reciente publicación (Nordhaus, 2019).

Cuando hablamos de las emisiones de GEI, habitualmente nos referimos a las emisiones de CO<sub>2</sub> que provienen de la quema de combustibles fósiles, principalmente carbón, derivados del petróleo y gas natural. Es importante tener en cuenta, sin embar-

go, que aunque el CO<sub>2</sub> constituye la mayor parte de las emisiones de GEI, sus efectos por unidad de volumen son muy inferiores al de otros gases, como es el caso del metano. Este gas se libera a la atmósfera principalmente como subproducto de la extracción de hidrocarburos, además de otras actividades como la ganadería. En los últimos años, ha aumentado la percepción acerca de los efectos de las emisiones de metano y de cómo una mejor gestión de las explotaciones de petróleo y gas podría contribuir a mitigar su efecto sobre el cambio climático (2).

Los efectos del cambio climático están documentados en multitud de ámbitos. El nivel de los océanos ha aumentado en unos 20 centímetros entre 1901 y 2018. También se considera responsable de la mayor prevalencia de las sequías y de las olas de calor y del progresivo retroceso de los glaciares (IPCC, 2023).

GRÁFICO 2

EVOLUCIÓN DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DESDE 1750

Fuente: Global Carbon Budget (2025), procesado por Our World in Data.

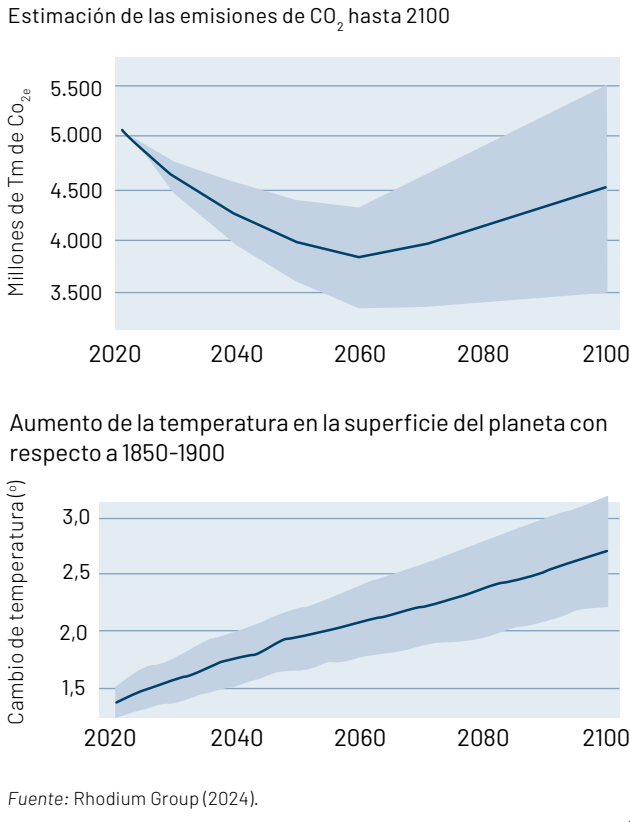
Se estima que entre 3.300 y 3.600 millones de personas viven en zonas altamente vulnerables al cambio climático, al amenazar su seguridad alimentaria y su acceso al agua. El calentamiento del agua del mar ha contribuido a la reducción de la pesca en muchas regiones, y el incremento de las temperaturas ha reducido la productividad de muchos cultivos.

Todo parece indicar que en las próximas décadas el cambio climático tendrá consecuencias económicas sustanciales y contribuirá a aumentar las desigualdades entre los países. Así, se estima que para final de este siglo la renta per cápita se reducirá en promedio entre un 1,1 y un 5,8 por 100 (Greenstone, 2024). Sin embargo, este efecto será prácticamente nulo para los países de la OCDE y se concentrará en los países con menor renta per cápita, con disminuciones de entre el 2 y el 8,1 por 100.

El aumento de las temperaturas incrementará la desigualdad en otros ámbitos, como la mortalidad, que crecerá más en los países en desarrollo. Así, Burgess *et al.*, 2024 muestran que en la India un día de temperaturas por encima de los 35 grados centígrados se asocia con un aumento en la probabilidad de muerte de un 0,8 por 100 en comparación con temperaturas de entre 22 y 24 grados. En los países más avanzados, este efecto será bastante más modesto debido a la mayor prevalencia del aire acondicionado.

La línea negra en el gráfico 2 muestra la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> desde el inicio de la Revolución Industrial. También muestra cómo el origen de estas emisiones ha ido variando en el tiempo. Así, mientras que hasta la mitad del siglo XX Europa y los Estados Unidos eran los principales emisores

**GRÁFICO 3**  
**PREDICCIÓN DE EMISIONES Y TEMPERATURA HASTA 2100**



de CO<sub>2</sub>, en los últimos cincuenta años la situación ha cambiado radicalmente y China ocupa actualmente la primera posición mundial. La tendencia actual indica que las emisiones de la India superarán en breve las provenientes de la Unión Europea.

La concienciación acerca de los efectos negativos del cambio climático ha crecido en las últimas décadas. Teniendo las emisiones de CO<sub>2</sub> un efecto global, su reducción requiere de la cooperación entre los países. El Protocolo de Kioto de 1997 fue el primer acuerdo internacional en esa dirección. En él se apostaba por una reducción de las emisiones de GEI en 2020 de entre el 25 por 100 y el 40 por 100 con respecto al nivel de 1990. La meta era limitar el incremento global de las temperaturas a 1,5 grados por encima del nivel anterior a la Revolución Industrial. Sin embargo, las emisiones no solo no disminu-

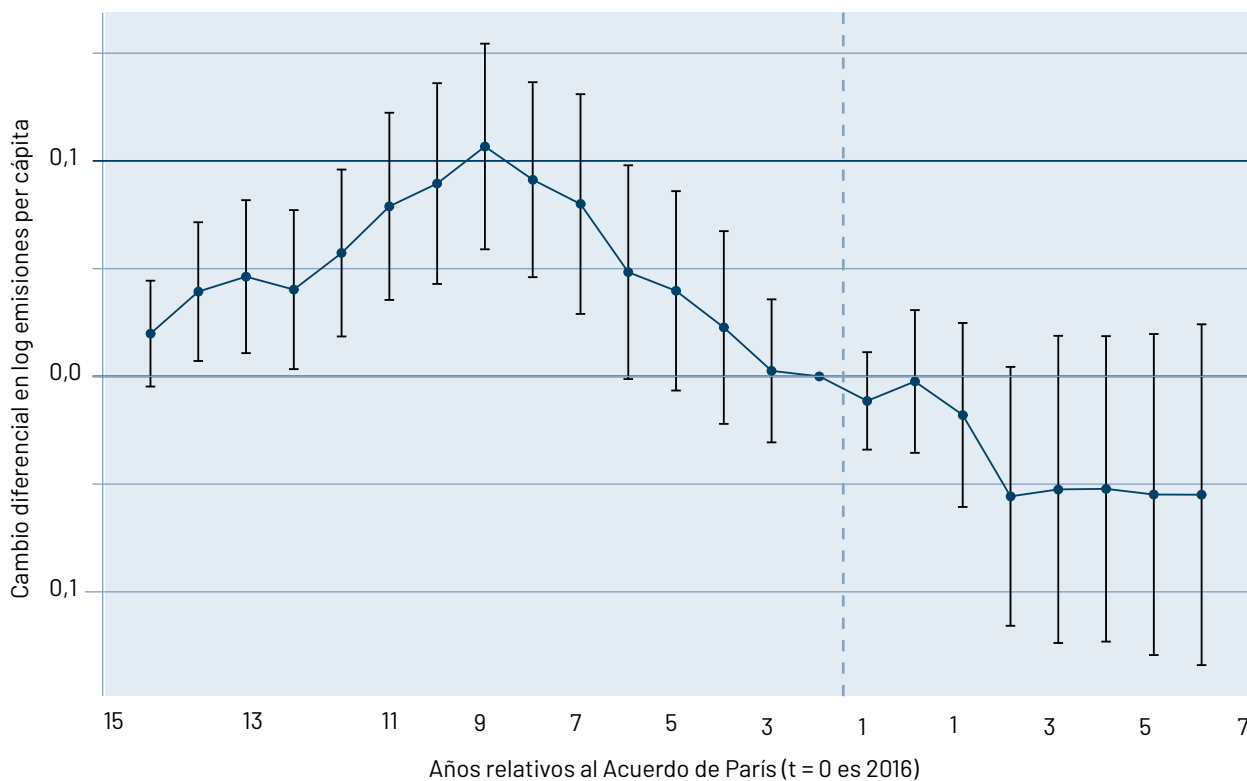
ieron, sino que siguieron creciendo desde entonces de tal forma que, actualmente, este incremento se considera inevitable.

El Acuerdo de París de 2015 buscaba sustituir el Protocolo de Kioto cuya vigencia terminaba en 2020, y revisaba los objetivos anteriores, poniendo ahora un límite en los 2 grados de incremento de la temperatura. Sin embargo, y con el objetivo de conseguir un consenso entre los firmantes, no imponía límites vinculantes. En lugar de ello, cada país debía proponer un objetivo de reducción voluntaria de emisiones de GEI. Basadas en estos compromisos y sin medidas adicionales, las predicciones realizadas para las próximas décadas (ver gráfico 3) auguran un incremento sostenido de la temperatura, superando en el escenario central los dos grados que ponía como objetivo el Acuerdo de París antes de 2060 (Rhodium Group, 2024). Se consideran muy probables escenarios con aumentos a final de siglo de entre 2,2 y 3,2 grados (percentiles 17 a 83 de la distribución de temperaturas). Siendo este incremento muy preocupante, se descartan los escenarios más catastróficos que en predicciones anteriores incluían hasta los 7 grados dentro del intervalo de confianza. De acuerdo con la misma predicción, las emisiones se reducirían hasta 2060, pero volverían a crecer a partir de esa fecha.

La efectividad de este acuerdo voluntario de reducción de emisiones está siendo objeto de debate aprovechando su décimo aniversario (3). Para analizar este resultado, aquí proponemos un *event study* que caracteriza cómo la tendencia de las emisiones ha variado después de 2015. El resultado se puede observar en el gráfico 4. Este gráfico muestra el diferencial de las emisiones entre los países desarrollados y los países en desarrollo. En la medida en que los compromisos eran más ambiciosos para los primeros, podemos entender un valor negativo del coeficiente desde 2016 como un síntoma de su efectividad. Este ejercicio, eminentemente descriptivo, no muestra un cambio visible asociado al Acuerdo de París (4).

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2023 (conocida como COP28) puso de manifiesto esta falta de progreso y apeló a los países para que propusieran objetivos más am-

GRÁFICO 4  
EFECTO DEL ACUERDO DE PARÍS



Notas: Los coeficientes representan el cambio diferencial en el logaritmo de las emisiones para los países desarrollados en relación con los países en desarrollo. Los coeficientes están normalizados con relación a 2015. Ver Anexo para más detalle

Fuente: Elaboración propia.

biciosos que revertieran la tendencia. El Rhodium Climate Outlook (Rhodium Group, 2024) estima que si los países adoptaran compromisos de eliminar las emisiones netas para 2050, podrían limitar el incremento de temperaturas a entre 1,5 y 2,2 grados, pudiéndose cumplir los objetivos del Acuerdo de París con una probabilidad del 62 por 100.

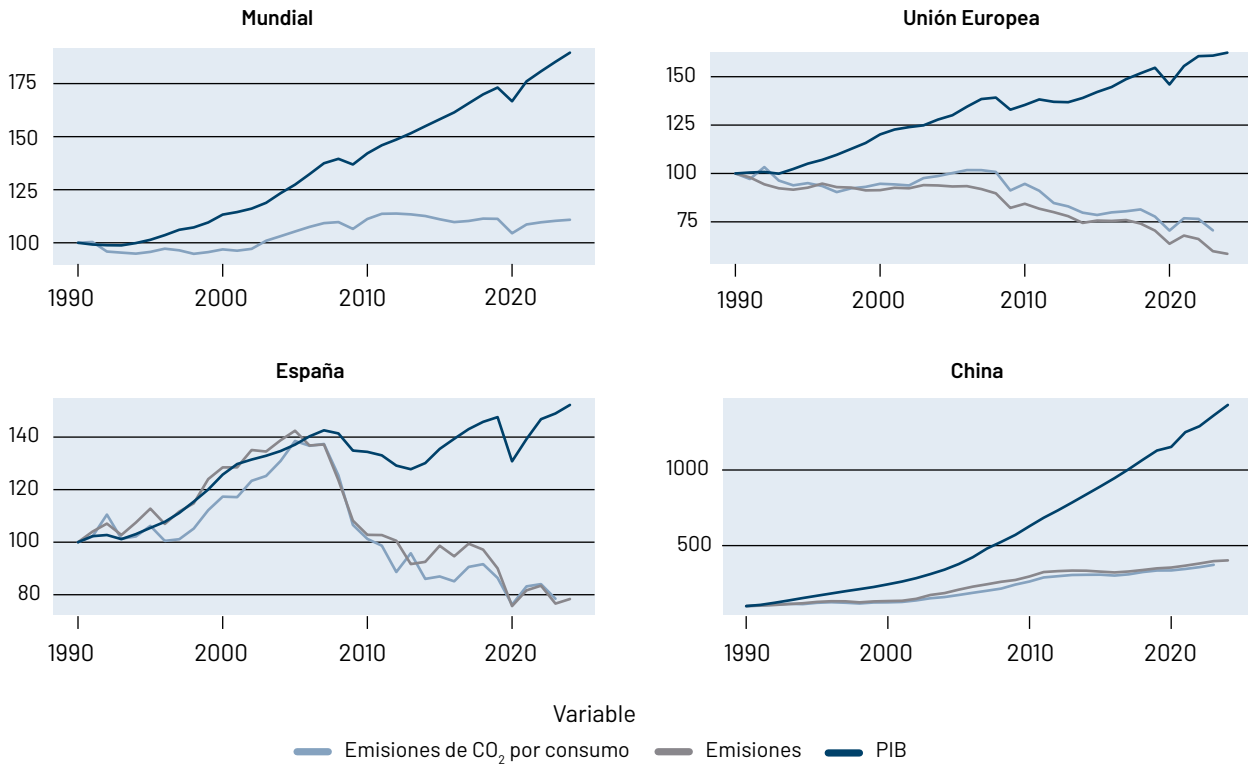
Los resultados anteriores, en gran medida, extrapolan los efectos del cambio climático en base a datos históricos. Sin embargo, es importante reconocer que este tipo de análisis tiene limitaciones porque se abstrae de cambios en las decisiones económicas, que tendrán cada vez una mayor relevancia en la medida en que el incremento global de la temperatura implica un efecto convexo sobre la economía. Para entender estos efectos, trabajos re-

cientos como (Cruz y Rossi-Hansberg, 2023) proponen un modelo que captura la heterogeneidad a nivel geográfico tanto en el desarrollo económico actual como en las consecuencias del cambio climático.

Los resultados muestran que, como se mencionaba anteriormente, los efectos en el crecimiento serán heterogéneos entre países y estarán condicionados por la temperatura actual. En particular, los autores estiman que en los sitios actualmente más fríos un incremento en la temperatura de un grado podría conllevar un crecimiento de los servicios locales (*amenities*, en inglés) de más de un 2 por 100 y de la productividad de un 7,44 por 100. En cambio, en los lugares más cálidos, estos servicios podrían reducirse en un 2 por 100, pero disminuir la productividad en más de un 16 por 100. De manera

GRÁFICO 5  
EMISIONES PER CÁPITA

Evolución con base=1990



Fuente: Eurostat, OCDE y Banco Mundial, procesado por Our World in Data.

general, y consistente con la discusión anterior, parece que la mayor parte de los países más desarrollados, al estar en latitudes relativamente altas, con la excepción de países como España, se verán relativamente poco perjudicados a largo plazo por el cambio climático. Los países más negativamente afectados serán los que se encuentran más cerca del ecuador. Estos efectos tan heterogéneos implican que el efecto global del cambio climático dependerá mucho de cómo se redistribuyan las ganancias a través de la reasignación de bienes y factores de producción. Así, los resultados del modelo indican que el comercio puede tener un efecto significativo a nivel global al trasladar la producción a aquellos países en los que la productividad aumente más en detrimento de aquellos en los que la temperatura constituya un mayor impedimento.

Más importante aún es el efecto de la migración como manera de mitigar las consecuencias del cambio climático. En la medida en que las zonas que más se beneficiarán del cambio climático están actualmente muy poco habitadas precisamente por su clima poco propicio (por ejemplo, Alaska, Siberia o el norte de Canadá), su potencial de desarrollo estará determinado por el acceso a mano de obra que quiera emigrar a esas latitudes. A la vez, las consecuencias negativas para los países más afectados por el cambio climático, como algunas zonas de África, se mitigarán si sus habitantes pueden emigrar a zonas con un clima más benigno. Las ganancias serán menores cuanto mayores sean las fricciones asociadas a la migración, no solo en términos del coste personal, sino también debidas al abandono de activos productivos y a la congestión a nivel geográfico en el lugar de destino.

## II. ANATOMÍA DE LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub>

En el resto de este trabajo aportaremos una descripción general del origen de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Para ello, debemos adoptar una visión que incorpore las diferencias entre industrias, fuentes de energía y países. Empezamos por esta última dimensión.

### 1. Diferencias entre países

El gráfico 5 muestra cómo la economía mundial en las últimas décadas se ha vuelto menos intensiva en el uso de energía. El incremento de más del 80 por 100 del PIB per cápita mundial desde 1990 se ha llevado a cabo con alrededor de un 10 por 100 de crecimiento en las emisiones per cápita. Sin embargo, cuando analizamos las diferencias entre países, observamos dos tendencias distintas en las emisiones de CO<sub>2</sub>. Así, en los países más desarrollados, como Estados Unidos o la Unión Europea, las emisiones per cápita han disminuido de manera significativa. Este resultado contrasta con los países en desarrollo, donde la tendencia es hacia un rápido incremento de las emisiones per cápita.

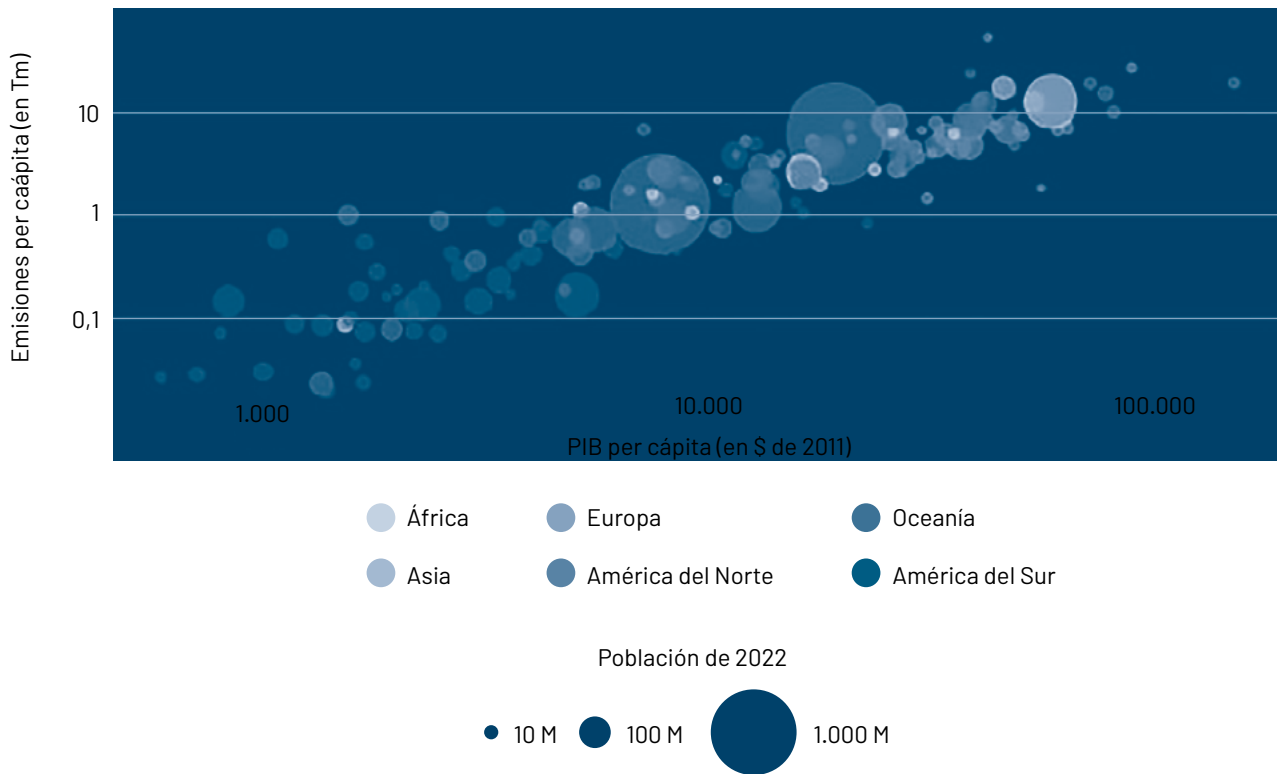
Podemos descomponer esta diferente evolución en dos efectos contrapuestos. Por un lado, como sugiere el gráfico 6, existe una relación muy estrecha entre emisiones y nivel de renta. En la medida en que grandes países en desarrollo como China o India han aumentado rápidamente el tamaño de sus economías, sus emisiones per cápita han aumentado, contribuyendo al incremento global de las emisiones (5).

El consumo de energía, origen principal de las emisiones de CO<sub>2</sub>, está inherentemente relacionado con el nivel de bienestar de los ciudadanos. Una mayor riqueza ha permitido, por ejemplo, sustituir la bicicleta por el automóvil como medio de transporte en muchas ciudades asiáticas, y ha ayudado a que los hogares tengan acceso a una climatización adecuada. La transición de la agricultura a la producción industrial no solo ha aumentado el bienestar de millones de personas, sino que, al ser un sector más intensivo en el uso de energía, también ha conllevado un incremento en las emisiones.

Por otro lado, la mayor eficiencia de las economías en la emisión de GEI ha dado lugar a un desacople entre crecimiento económico y crecimiento de las emisiones, particularmente en los países más desarrollados. Este resultado se debe a una combinación de factores que incluyen una mayor eficiencia energética (irónicamente, sustituyendo en las ciudades el automóvil, que ha dejado de ser considerado como símbolo de progreso, por otros medios de transporte como la bicicleta), la creciente penetración de la energía renovable, pero también, y de manera muy notable, el desplazamiento de la producción industrial precisamente a China o a países en desarrollo del sudeste asiático. En contraste, los países más ricos cada vez están más especializados en el sector servicios que, habitualmente, requiere menos energía que la industria por unidad de valor generada.

Para entender esta evolución, el gráfico 5 proporciona dos medidas de emisiones per cápita con implicaciones algo diferentes. La medida habitual captura las emisiones generadas por las actividades económicas generadas en el país. En el caso de la Unión Europea, estas emisiones se redujeron per cápita en un 40 por 100 entre 1990 y 2023, a la vez que el PIB aumentaba en más de un 50 por 100. Esta cifra, sin embargo, sobreestima la verdadera disminución de las emisiones, en la medida en que no tiene en cuenta que el consumo de un bien genera emisiones si es producido en ese país, pero no si es importado (generando emisiones en las cuentas del país de origen), y lo contrario es cierto cuando la producción se exporta. Tal como también se muestra en el gráfico, si las emisiones se calculan sobre los bienes que consume la población del país, independientemente de donde se hayan producido, la disminución en el caso de la Unión Europea es inferior al 30 por 100. La especialización de los países desarrollados en el sector servicios implica que la importación de productos industriales que genera emisiones en los países en desarrollo es mayor que la disminución originada por sus exportaciones. Los efectos de este desplazamiento de la producción se pueden exacerbar si el país que exporta los bienes tiene una menor eficiencia energética o utiliza fuentes de energía más sucias (6). A ello habría que añadir también el volumen de las emisiones relacionadas con el transporte.

GRÁFICO 6  
RELACIÓN ENTRE PIB PER CÁPITA Y EMISIONES EN 2022



Fuente: Global Carbon Budget (2025), población de varias fuentes, procesado por Our World in Data.

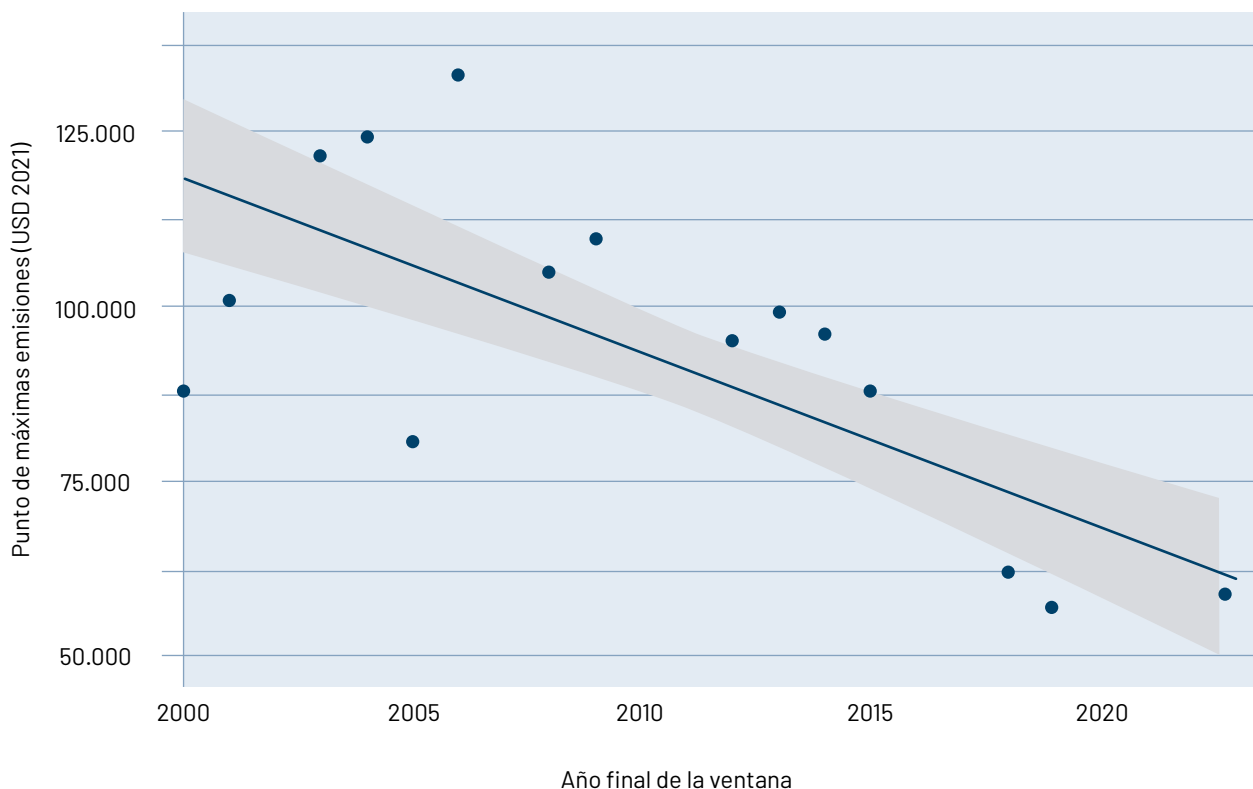
Por su relevancia a nivel global, es también importante analizar el caso de China, donde observamos que, aunque las emisiones per cápita se han multiplicado casi por cinco en las últimas tres décadas, la velocidad ha sido muy inferior al incremento del PIB per cápita, que se ha multiplicado por más de diez. Como veremos más adelante, este crecimiento en las emisiones se da en la mayor parte de los sectores, pero, principalmente, en la producción de electricidad y en la construcción. Medir las emisiones en términos de producción o consumo no da lugar a importantes diferencias.

En el caso español, las emisiones tienen un comportamiento un tanto peculiar que combina características de ambos modelos discutidos anteriormente, como puede verse en el mismo

gráfico 5. El desacople entre crecimiento y emisiones que observamos en la mayor parte de los países avanzados no se dio en España durante el período 1990-2007, cuando ambas series crecieron alrededor de un 40 por 100. Igual que en el caso de China, el incremento se concentró en sectores como la producción de electricidad y la construcción, a hombros del *boom* inmobiliario y, en menor medida, en el transporte. Desde 2007, en cambio, observamos una disminución de las emisiones muy notable y un desacople más acusado que en otros países europeos. Esta divergencia no es atribuible principalmente a la disminución de la actividad económica durante la Gran Recesión, sino, como veremos más adelante, a la descarbonización de la producción de electricidad asociada a la inversión en energía renovable.

GRÁFICO 7

## NIVEL DEL PIB PER CÁPITA CON MÁXIMAS EMISIONES



Fuente: Elaboración propia. Datos de Global Carbon Budget (2025), población de varias fuentes, procesado por Our World in Data.

Otra diferencia importante en el caso de España es que, en comparación con la Unión Europea en términos globales, las medidas de emisiones que tienen en cuenta el destino del consumo arrojan resultados que no son muy distintos de las que se basan en la producción, particularmente en los últimos años.

El patrón de evolución conjunta del crecimiento económico y de las emisiones en etapas iniciales del desarrollo y la posterior divergencia en los países más avanzados, ilustrado anteriormente, es una manifestación de la llamada *curva de Kuznetz medioambiental*, que describe una relación en forma de U invertida. Empíricamente, podemos describir esta relación con la siguiente especificación econométrica,

$$\ln(CO_2)_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta_1 \times \ln(PIBpc_{it}) + \beta_2 \times \ln(PIBpc_{it})^2 + \varepsilon_{it}, \quad [1]$$

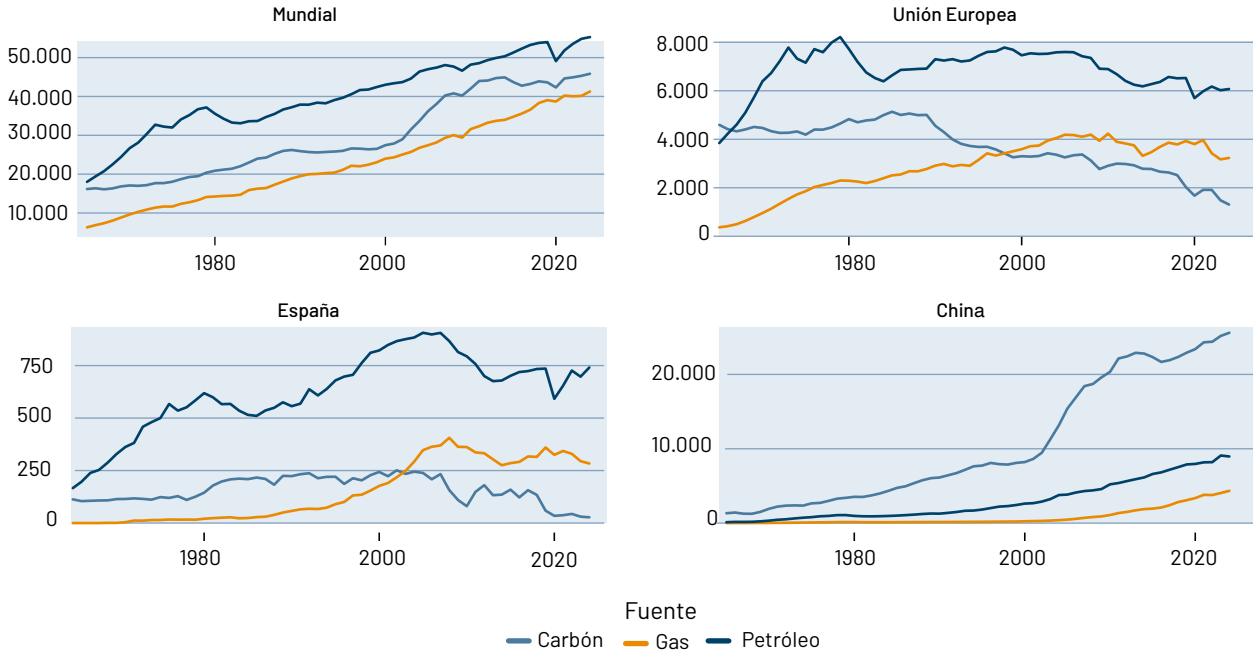
donde es el  $PIBpc_{it}$  es el PIB per cápita del país  $i$  en el año  $t$ ; los parámetros  $\alpha_i$  y  $\lambda_t$  recogen efectos fijos de país y tiempo y los parámetros  $\beta_1 > 0$  y  $\beta_2 < 0$  son los efectos de escala y progreso tecnológico. Con esta especificación podemos calcular el nivel de renta en que se alcanzan las máximas emisiones como

$$PIBpc_{it}^* = \exp\left(\frac{-\beta_1}{2\beta_2}\right).$$

El gráfico 7 muestra la evolución en el tiempo del nivel de PIB per cápita en el que las emisiones de  $CO_2$  alcanzan su valor máximo. Aunque la ecuación [1] implica un único punto de máximo para unos coeficientes dados, este valor puede variar a lo largo del tiempo si la relación entre emisiones y renta cambia. Para capturar esta posible evolución, la ecuación [1] se reestima utilizando ventanas

**GRÁFICO 8**  
**FUENTES DE ENERGÍA**

En teravatios Hora (TWh)



Fuente: The Energy Institute Statistical Review of World Energy 2025, procesado por Our World in Data.

móviles de quince años. Cada punto del gráfico corresponde, por tanto, al nivel de PIB per cápita que maximiza las emisiones según los coeficientes estimados en cada ventana temporal. Aunque los resultados oscilan considerablemente entre años, podemos observar una clara tendencia decreciente que sugiere que las emisiones máximas han pasado de alcanzarse en más de 100.000 euros per cápita a principios de siglo a cerca de la mitad en la actualidad (7).

Para entender mejor los patrones anteriores, nuestro siguiente paso es analizar el origen de las emisiones de CO<sub>2</sub> a partir de las fuentes de energía que las generan, su evolución en el tiempo y las diferencias entre países en su uso.

## 2. Emisiones y fuentes de energía

Globalmente, las tres principales fuentes de emisiones de CO<sub>2</sub> son el carbón, el gas natural y el petróleo y sus derivados. El gráfico 8 muestra

la energía producida utilizando cada una de estas fuentes. A nivel mundial, observamos que el petróleo es predominante, seguido por el carbón y el gas natural. Destaca en particular el enorme crecimiento del consumo de carbón a principios de este siglo, que se ha mantenido competitivo en la producción de electricidad. Esto es así a pesar de que el precio del gas natural se ha reducido en las últimas décadas (hasta 2022) y que tiene notables ventajas respecto al carbón, puesto que genera la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> y es mucho más limpio en términos de otras sustancias contaminantes que tienen efectos más locales, como el azufre, y que da lugar a la conocida como lluvia ácida.

Aquí encontramos también una importante diferencia entre los países avanzados y aquellos en desarrollo. Como se puede observar en el gráfico, en el caso de la Unión Europea el carbón ha ido reduciendo su importancia y en 2020 su uso en la producción de energía era menos de la mitad que en 1965. A la vez, el consumo de gas natural ha au-

mentado progresivamente, con la única excepción de los últimos años, debido al COVID-19 y a los altos precios que siguieron a la invasión rusa de Ucrania en 2022. De la misma manera, el uso del petróleo se ha mantenido relativamente constante, en parte debido al incremento de la eficiencia energética del transporte. El caso español tiene características parecidas a la Unión Europea en su conjunto, destacando por el rápido proceso de sustitución del carbón por el gas natural en la producción de electricidad en las últimas dos décadas.

Como contraste, observamos que países en desarrollo como China (y también la India) aún dependen en gran medida del carbón. Son además los responsables de la mayor parte del incremento de su uso a nivel global. Este combustible ha alimentado la producción necesaria para cubrir el incremento de la demanda eléctrica asociado a su rápido crecimiento económico. A pesar de su mayor coste medioambiental, muchos países valoran los puestos de trabajo a nivel local que genera (8) y la independencia estratégica que conlleva en comparación con el gas natural. Aunque la inversión en energía renovable en China ha sido ingente, su expansión está limitada por el coste aún elevado del almacenamiento y la limitada interconexión de la red eléctrica entre las regiones, que no permite aprovechar todas las ganancias derivadas de la variabilidad de la meteorología entre regiones.

La distinta composición del consumo energético de cada país tiene importantes implicaciones a la hora de explicar las diferencias entre las emisiones de los países ricos y aquellos en desarrollo. El desplazamiento de la producción industrial a estos últimos implica un incremento en las emisiones globales, al aumentar el uso de carbón.

Las predicciones apuntan a que en la próxima década la tasa de crecimiento mundial del consumo de energía se reducirá a cerca del 0,5 por 100 por año, en comparación con el 1,4 por 100 de los últimos diez años. Esto sucederá debido a una combinación de factores que incluyen un menor incremento de la población, mayor eficiencia energética, mayor crecimiento del sector servicios en detrimento de la industria y la electrificación de sectores como la automoción. Este menor incre-

mento permitiría una gradual reducción del consumo de carbón y del petróleo, manteniendo estable el uso de gas natural a niveles parecidos a los finales de esta década. En este escenario, la producción utilizando energía renovable se multiplicaría por tres y permitiría reducir la cuota de mercado de los combustibles fósiles del 80 por 100 en 2023 a cerca del 58 por 100 en 2050 (International Energy Agency, 2024).

### 3. Emisiones por sector

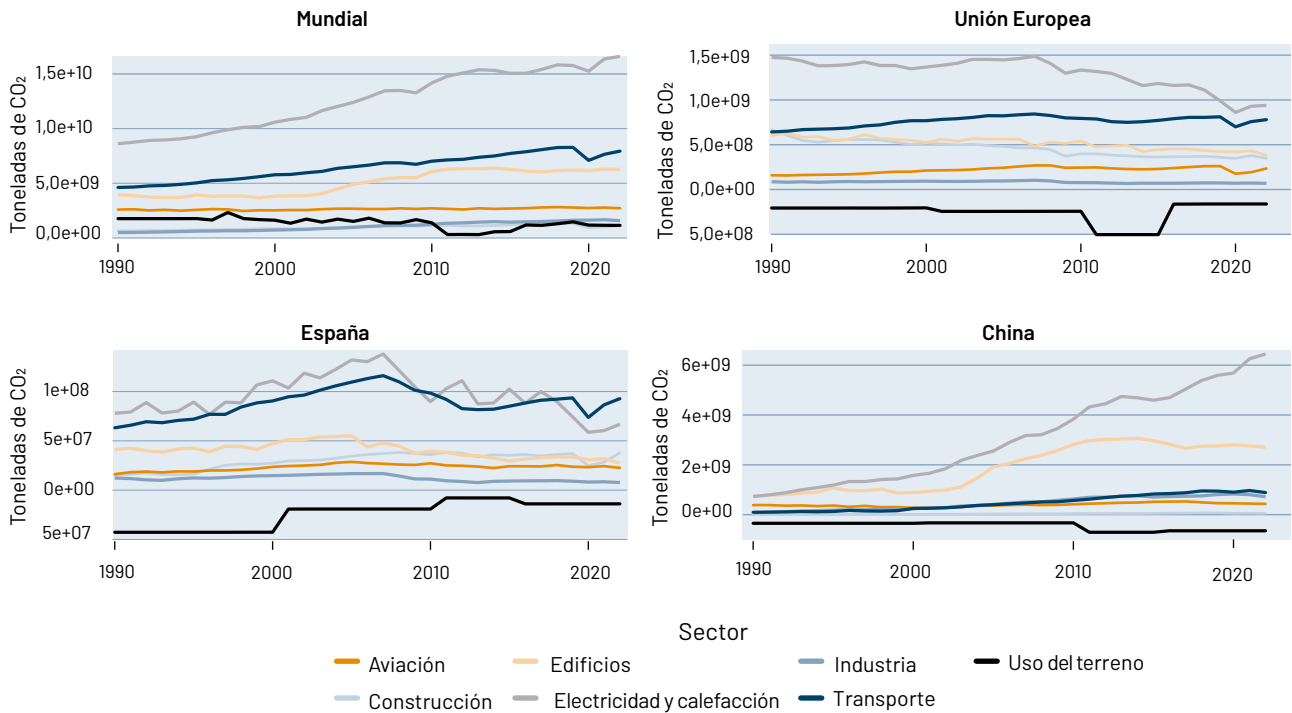
El gráfico 9 muestra la composición y la evolución de las emisiones en los diferentes sectores de la economía. Destaca el papel predominante que tiene la producción de electricidad y calefacción, que absorbe la mayor parte del consumo de carbón y gas natural y una proporción significativa del petróleo. Por ello, no es sorprendente que este sector sea responsable de casi la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial. A gran distancia, el transporte es la segunda fuente de emisiones más importante (excluyendo la aviación y el transporte marítimo). En tercer lugar, se encuentran la industria y la construcción.

Como en los casos anteriores, esta visión agregada esconde dos modelos distintos. Así, por ejemplo, en el caso de China, es difícil sobrevalorar el efecto de la producción de electricidad y calefacción en las emisiones globales. Como hemos visto en la sección anterior, al haberse satisfecho la demanda principalmente mediante la construcción de plantas de carbón (y en menor medida de gas natural), China actualmente genera el 40 por 100 de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> asociadas a este sector.

Es importante destacar que el segundo sector que más ha contribuido a las emisiones de CO<sub>2</sub> en las últimas décadas en China es la construcción, probablemente debido a la enorme inversión de las infraestructuras públicas y en vivienda, mientras que el transporte ha tenido un papel menos destacado y que probablemente habrá llegado a su máximo, dada la reciente expansión del coche eléctrico.

Con respecto a la Unión Europea, observamos que los dos sectores más contaminantes coinciden con lo que observamos a nivel mundial. La diferen-

GRÁFICO 9  
EMISIONES POR SECTOR



Fuente: Climate Watch, procesado por Our World in Data.

cia está en la tendencia, en especial de la producción de electricidad y calefacción, que cada vez representa una menor proporción de las emisiones. Entre 1990 y 2021, las emisiones de este sector se han reducido en un 36 por 100. Esto contrasta con el transporte, cuyas emisiones han aumentado, aunque a una tasa inferior de lo que observamos a nivel mundial. Dos diferencias importantes son la menor contribución de la construcción y la industria, que representan solo el 14 por 100 y el 6 por 100 de las emisiones, respectivamente, y la mayor importancia de la aviación que, aun así, apenas implica el 3 por 100 del total de CO<sub>2</sub> emitido.

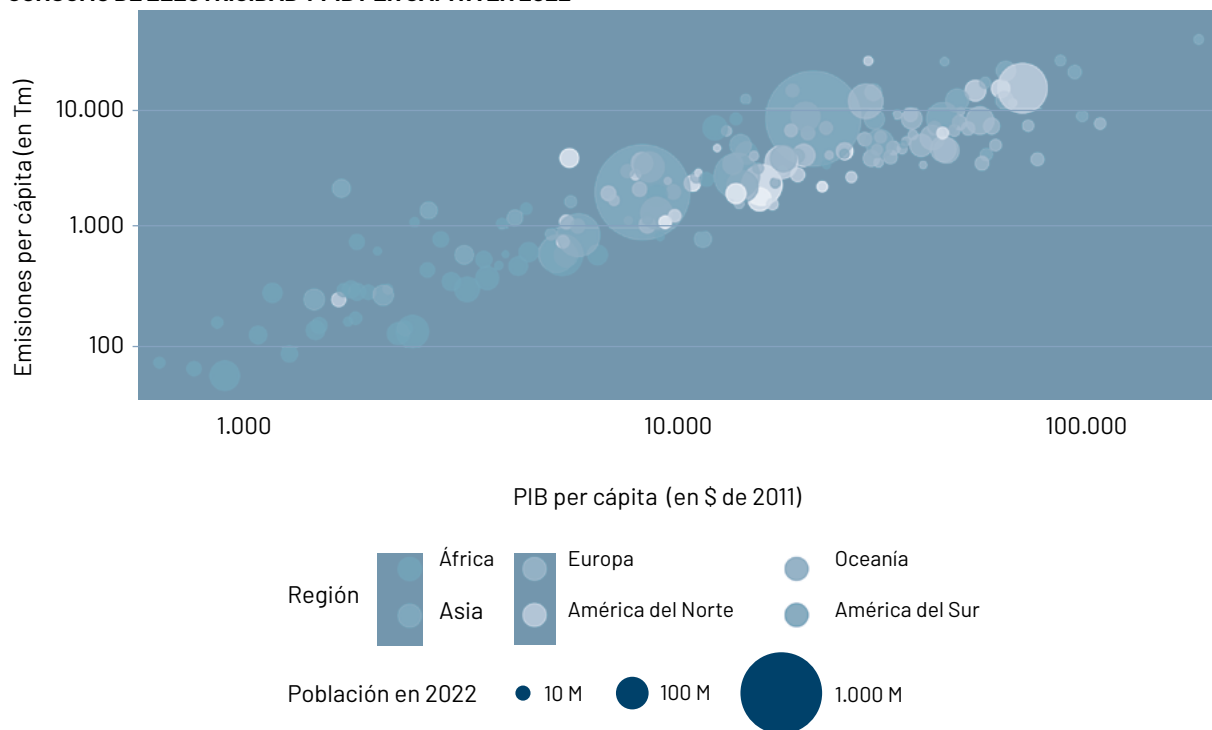
De nuevo, el caso de España es especialmente interesante. Como se ha mencionado anteriormente, en los últimos veinticinco años podemos distinguir dos períodos muy diferentes. Hasta alrededor de 2007, las emisiones crecieron de manera muy rápi-

da, a una tasa parecida a la de la actividad económica. El contraste con la posterior reducción de las emisiones es especialmente llamativo y se explica, principalmente, por la producción de electricidad y gas, cuyas emisiones han caído de 138 millones de toneladas en 2007 a 60 millones en 2021. La enorme inversión en energía renovable está detrás de este resultado e implica que ya no es el sector más contaminante. También se observa una disminución en las emisiones relacionadas con el transporte desde 2007 que, sin embargo, se han recuperado en los últimos años.

La experiencia del caso español ilustra cómo el sector eléctrico es esencial a la hora de comprender la evolución de las emisiones tanto en los países desarrollados como en aquellos en desarrollo. La evolución de las emisiones a nivel mundial en las próximas décadas dependerá en gran medida del

GRÁFICO 10

## CONSUMO DE ELECTRICIDAD Y PIB PER CÁPITA EN 2022



Fuente: Ember, procesado por Our World in Data.

desarrollo de la energía renovable como sustituto de los combustibles fósiles. Además, la importancia del sector eléctrico no hará más que aumentar en las próximas décadas debido a la electrificación de otros ámbitos como la calefacción, el transporte o la industria y al crecimiento de la demanda en los países en desarrollo. Sin una producción de electricidad libre de emisiones, las ganancias de este costoso proceso de electrificación pueden verse muy reducidas.

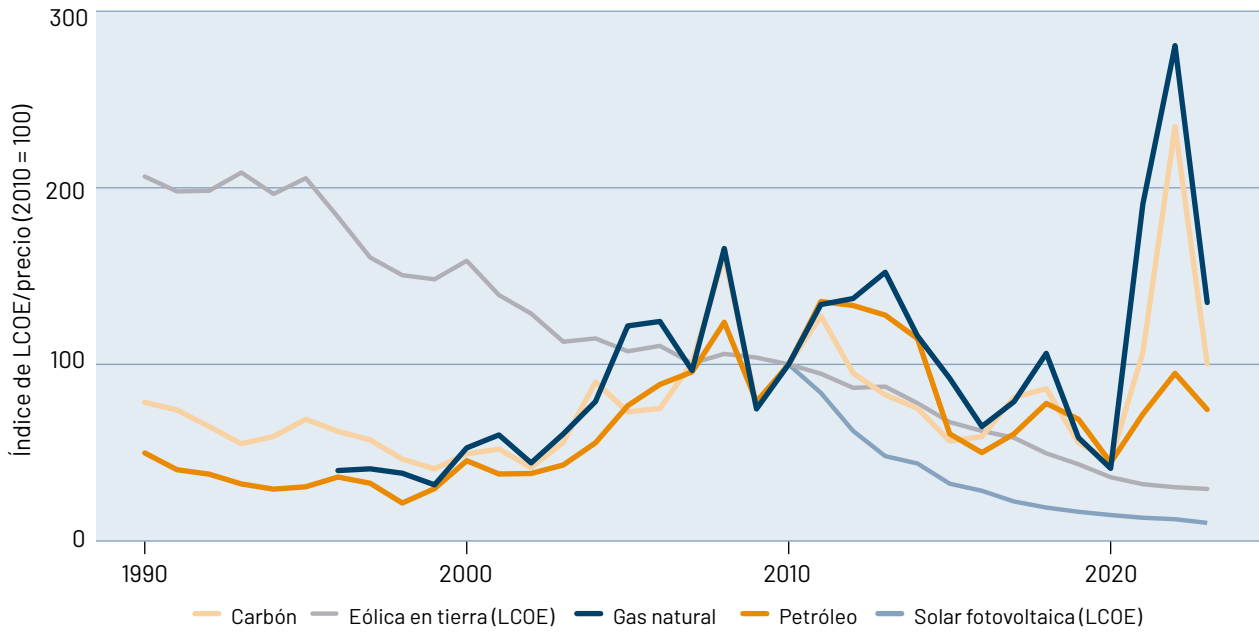
### III. LA IMPORTANCIA DEL SECTOR ELÉCTRICO

En la última década, el consumo de electricidad ha crecido al doble de la tasa correspondiente al consumo de energía en general. Así, mientras que en 2024 el consumo de energía creció globalmente al 2,2 por 100, el consumo eléctrico lo hizo en un 4,3 por 100 (International Energy Agency, 2025).

Dos terceras partes de este incremento se deben a China. Se espera que el crecimiento en el consumo de electricidad se acelere aún más en las próximas décadas. Incluso en un escenario conservador, el consumo eléctrico se incrementará cada año en una magnitud equivalente a la demanda de Japón. En escenarios donde los países intervinieran de manera más decidida para cumplir los objetivos de reducción de emisiones (y que pasan por la rápida electrificación de otros sectores), el incremento de la demanda eléctrica sería notablemente superior.

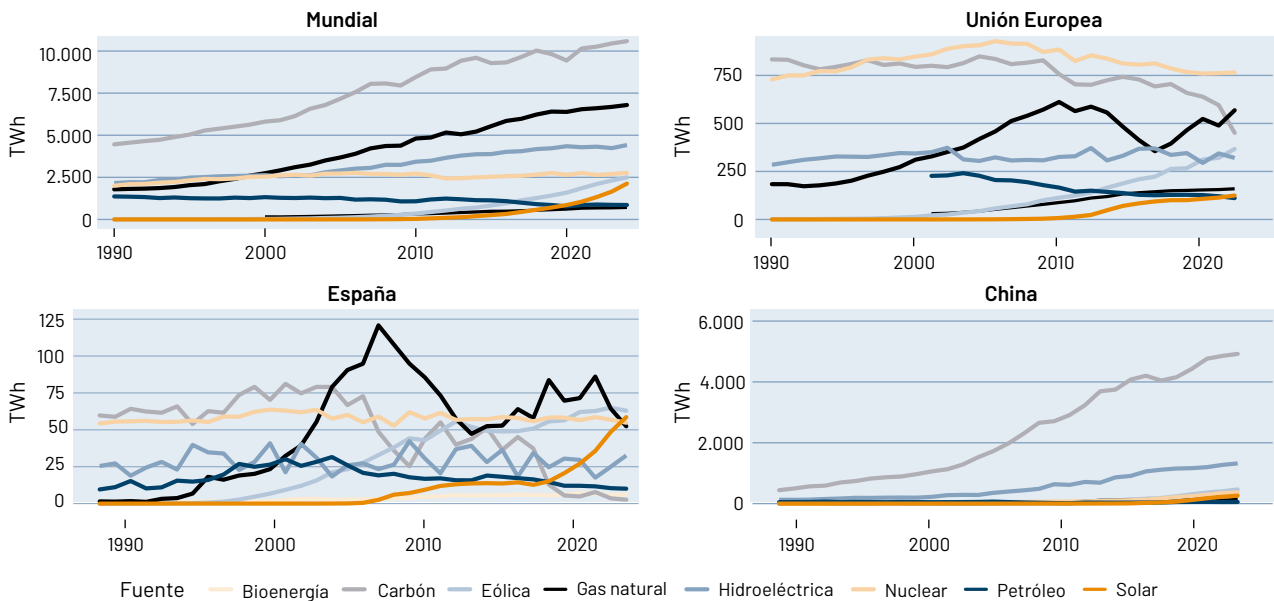
Si adoptamos una perspectiva internacional, es interesante constatar la gran heterogeneidad en el consumo de electricidad entre países, que es atribuible principalmente al nivel de renta, tal como documenta el gráfico 10. Mientras que en países como Estados Unidos se generaban en 2024 alrededor de 12.000 kWh de electricidad per cápita, en China la cifra era de alrededor de 7.000 y en España

**GRÁFICO 11**  
**COSTE NIVELADO DE LA ELECTRICIDAD**



Fuente: IRENA, procesado por Our World in Data.

**GRÁFICO 12**  
**PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD POR FUENTE DE ENERGÍA**



Fuente: Ember, procesado por Our World in Data.

era de algo menos de 6.000. Esto contrasta con los países con menores niveles de renta. En la India, la generación per cápita era de 1.400 kWh. Globalmente, más de 3.800 millones de personas viven en países con un consumo eléctrico per cápita inferior a los 1.500 kWh (Greenstone, 2024).

Las predicciones para las próximas décadas sugieren que el mayor aumento de la generación eléctrica tendrá lugar precisamente en los países en desarrollo. Esto es problemático porque precisamente es en estos países donde el carbón sigue siendo predominante y su uso va en aumento. En los países desarrollados, sin embargo, la tendencia es la contraria. Un incremento moderado de la demanda de electricidad y una mayor renta han permitido sustituir el carbón por otras fuentes más limpias como el gas natural y, más recientemente, por plantas de energía renovable, debido a la rápida disminución de su coste, como podemos apreciar en el gráfico 11(9).

El gráfico 12 muestra la evolución de las distintas fuentes de energía en la producción de electricidad. A nivel mundial, observamos que el carbón es la fuente de energía predominante, a pesar de ser también la más contaminante. Alimenta el 30 por 100 de la producción mundial y ha crecido enormemente en las últimas décadas. En 2024, la producción de electricidad que utilizaba esta fuente de energía era más del doble que en 1990. En países como China, el carbón representa casi el 60 por 100 de la producción eléctrica, pasando de unos 400 TWh en 1990 a cerca de 6.000 TWh en 2024. La situación es aún más acusada en la India, donde el carbón alimenta el 75 por 100 de toda la producción eléctrica. El hecho de que la economía china sea mucho mayor, sin embargo, implica que el 60 por 100 de la producción mundial de electricidad utilizando carbón se lleve a cabo en este país.

El gas natural es la segunda fuente de electricidad a nivel mundial y representa más de un 20 por 100 de la producción global. El petróleo tiene una aportación inferior, pero aun así significativa. Las emisiones de CO<sub>2</sub> del resto de las fuentes relevantes de electricidad no son muy significativas (10).

Entre las fuentes libres de emisiones, destaca la energía hidroeléctrica, que representa global-

mente un 15 por 100 de la producción, y la energía nuclear, con una cuota de alrededor del 7,5 por 100. Sin embargo, el crecimiento más destacado corresponde a la energía solar y eólica, que actualmente representan ya el 7 por 100 y el 8 por 100 de la producción mundial, respectivamente.

Encontramos una gran heterogeneidad entre países. Por un lado, esto se debe a la disponibilidad de las distintas fuentes de energía, especialmente en el caso del gas natural, petróleo, hidroeléctrica y, hasta cierto punto, del carbón. Como hemos dicho, muchos países en desarrollo que no tienen grandes yacimientos de gas natural se apoyan en el carbón como la principal fuente de energía. En otros casos, como en los países nórdicos, la energía hidroeléctrica es dominante (en Noruega, por ejemplo, representa más del 90 por 100 de la producción) y explica el bajo nivel de emisiones asociadas a la producción de electricidad.

El resto de los países han optado típicamente por un mix energético bastante más diversificado, en el que el carbón ha tenido un papel importante, tal como se puede ver a nivel global en el caso de la Unión Europea durante los años noventa. La energía hidroeléctrica y la nuclear han sido también relevantes (11).

En este contexto, la tendencia en Europa en el siglo XXI se puede resumir en dos cambios. Por un lado, el carbón está siendo abandonado de manera progresiva (actualmente constituye el 12 por 100 de la producción eléctrica), reemplazado en parte por el gas natural. Por otro lado, la energía solar y eólica han crecido hasta representar el 9 y el 17,5 por 100 de toda la producción de electricidad en Europa en 2024. La energía eólica es actualmente la tercera fuente principal de energía en Europa, detrás de la nuclear y el gas natural.

En el año 1990 en España, el carbón era la fuente principal de energía en la producción de electricidad. El resto provenía de la energía hidroeléctrica y nuclear, con una contribución parecida entre ellas y con una producción que se ha mantenido relativamente estable en el tiempo. El enorme crecimiento de la demanda eléctrica entre 1990 y 2008, donde se llegó a un pico de 308 TWh fue satisfecha prin-

## CUADRO N.º1

**CUOTAS DE MERCADO EN LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD POR TECNOLOGÍA Y EN RELACIÓN A SU PRECIO Y AL PRECIO DEL CARBÓN. SISTEMA DE ECUACIONES APARENTEMENTE NO RELACIONADAS (SUR) INCLUYENDO EFECTOS FIJOS DE PAÍS. LA MUESTRA ES UN PANEL EQUILIBRADO ENTRE 2010 Y 2024**

	Gas	Solar	Eólica	Hidro
Precio	-0,081 (0,083)	-1,810 *** (0,046)	-1,048 *** (0,063)	-0,035 (0,119)
Precio del carbón	0,216** (0,108)	0,352*** (0,081)	-0,096 (0,070)	0,142** (0,056)
ln(PIBpc)	-0,067** (0,215)	0,252*** (0,312)	-0,084 (0,266)	-0,149*** (0,195)
Observaciones	2.198	2.198	2.198	2.198
R-cuadrado	0,002	0,449	0,121	0,017
Número de países	157	157	157	157

Nota: La variable dependiente en cada ecuación es  $\ln(Cuota_{i,t} / Cuota_{carbón,t})$ , donde el denominador es  $\ln(Cuota_{carbón,t})$ , la participación del carbón en la generación eléctrica y  $j$  corresponde a otras fuentes de energía (gas, solar, eólica e hidro). Los errores estándar se reportan entre paréntesis. Niveles de significatividad: estadística:  $p < 0,10^*$ ,  $p < 0,05^{**}$ ,  $p < 0,01^{***}$ .

principalmente con la inversión en centrales de ciclo combinado (es decir, que utilizan gas natural). Con el tiempo y a medida que la demanda eléctrica se ralentizaba, las plantas de ciclo combinado fueron desplazando el carbón hasta tal punto que en España este combustible ha desaparecido completamente del mix energético. Esta sustitución, la gran inversión en renovables realizada en los últimos veinte años y la reducción del consumo eléctrico (en 2024 fue de solo 280 TWh) explican gran parte de la caída de las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita en España.

Es importante poner de manifiesto que en los últimos años el gas natural también ha ido desapareciendo del mix español. Mientras que en 2008 representaba cerca del 39 por 100 de la producción, en 2024 su cuota de mercado no llegaba ya al 19 por 100. Mientras tanto, en 2024, la energía eólica y solar se han erigido como las dos principales fuentes de energía en España con una cuota del 22 y 21 por 100, respectivamente.

En el cuadro n.º 1 describimos, utilizando datos para 157 países, la relación entre las cuotas de mercado de cada tecnología con su precio y el precio del carbón. El resultado muestra, como sería

de esperar, que la expansión de la energía solar y eólica está muy directamente vinculada con la importante disminución de su coste en los últimos años. Esto contrasta con el caso de otras fuentes de energía debido, probablemente, a las oscilaciones en el precio del gas y a los determinantes políticos en las inversiones en energía hidroeléctrica. Asimismo, incrementos en el precio del carbón también están relacionados con la expansión de la cuota de mercado del gas natural, su sustituto más cercano. Sin embargo, también correlacionan con el incremento en la cuota de la energía solar e hidroeléctrica.

#### IV. CONCLUSIÓN ¿QUIÉN CONTAMINA EL PLANETA?

El objetivo de este artículo era ofrecer una visión global de la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Como hemos visto, el determinante principal del consumo de energía es el nivel de renta per cápita. Sin embargo, su efecto no es monótono. En los países en vías de desarrollo, las emisiones aumentan de manera significativa de la mano del crecimiento económico. Esto, junto con el incremento de la población, explica por

qué China es responsable de una gran (y creciente) proporción de las emisiones actuales a nivel global. En muchos países ricos, con un menor nivel de crecimiento y un menor incremento en la demanda de energía, las emisiones están disminuyendo, espoleadas por las políticas de ahorro energético y de sustitución de tecnologías contaminantes por otras más limpias.

Por otro lado, cuando ponemos el foco en las actividades económicas que generan más emisiones, observamos que están concentradas en unos pocos sectores. Entre ellos, destaca la producción de electricidad y calefacción que, utilizando principalmente carbón y en segundo término gas natural, ha crecido significativamente como respuesta al incremento en la demanda global de energía. Este fenómeno ya sucedió en los países desarrollados durante su etapa de industrialización, pero su efecto global tuvo una menor escala al constituir un nivel de actividad económica muy bajo para los estándares actuales. La situación actual es radicalmente distinta y observamos una rápida expansión en los países en desarrollo, que representan la mayor parte de la población mundial y en los que las inversiones en energía renovable son a todas luces insuficientes para cubrir los enormes incrementos en la demanda.

Estos resultados sugieren que la descarbonización del planeta pasa inevitablemente por el mercado eléctrico y por el cierre, en primer lugar, de las plantas de producción que utilizan carbón. Sin embargo, los incentivos económicos apuntan en la dirección contraria. En los países desarrollados, los mercados de emisiones han permitido eliminar o reducir enormemente el uso de carbón y, como hemos visto, esto se ha trasladado en una rápida reducción de las emisiones, siendo España un ejemplo de éxito. En cambio, en muchos países en desarrollo, el precio del carbón local (que no tiene en cuenta su coste social al no existir un mercado global de emisiones) es inferior al del gas natural y además proporciona empleo y una mayor seguridad energética. Las inversiones en energía renovable son, en comparación, caras e insuficientes, incluso en países como China.

Un obstáculo adicional al despliegue de la energía renovable en algunos países en desarrollo

son los contratos a largo plazo entre el gobierno y las empresas eléctricas para la provisión de electricidad utilizando carbón, los denominados *power purchase agreements* o, *PPAs* (Dobermann, Hayat y Srivastav, 2024). Estos contratos implican habitualmente precios altos y se calculan para garantizar una rentabilidad acorde con el alto riesgo de inversión en el país. Sin embargo, en los últimos años muchos hogares están optando por desconectarse de este servicio y reemplazarlo por la instalación de paneles solares, aprovechando la gran disminución de su precio. Esta reducción del número de usuarios está poniendo en riesgo la rentabilidad del servicio y países como Pakistán están respondiendo con el establecimiento de impuestos a los paneles solares (12).

A esto debemos añadir que el resto de políticas orientadas a reducir las emisiones originará un importante incremento de la demanda eléctrica en las próximas décadas. Este es, por ejemplo, el caso de la electrificación del transporte, la calefacción y de muchos procesos industriales. Abordar este reto requerirá enormes inversiones en energía renovable y, en su caso, en energía nuclear.

## NOTAS

- (\*) Agradezco a Gonzalo Romero-Villanueva su inestimable ayuda en la realización de este trabajo, que también se ha beneficiado de los comentarios de la editora, María José Moral, y de un/a evaluador/a anónimo/a.
- (1) Ver Frankopan (2023) para una revisión de la literatura académica acerca de los cambios en la temperatura global en un horizonte de millones de años.
- (2) Su menor tiempo de permanencia en la atmósfera también se ha utilizado para argumentar que la reducción de las emisiones de este gas podría tener un efecto significativo a corto plazo.
- (3) Ver "10 Years After a Breakthrough Climate Pact, Here's Where We Are" (*New York Times*, 7 de noviembre de 2025).

- (4) En el Apéndice proporcionamos más detalles sobre este ejercicio.
- (5) A esto debemos añadir, por supuesto, el incremento en su población, en el caso de China con anterioridad a su transición demográfica, que ha aumentado también sus emisiones totales.
- (6) Este efecto recibe el nombre en inglés de *carbon leakage* e implica que cualquier análisis que basa el cálculo de las emisiones en la producción y no en el consumo puede ser engañoso y sobreestimar las consecuencias de las regulaciones medioambientales impuestas en los países más industrializados, como es el caso de los mercados de emisiones. En la medida en que el resultado de dichas medidas sea el desplazamiento de la producción a países con límites más laxos, cálculos basados en la producción sobreestimarán los efectos de estas regulaciones.
- (7) En el Apéndice proporcionamos más detalles de este procedimiento y aportamos otra especificación con resultados comparables.
- (8) Este efecto no es específico de los países en desarrollo y también se ha documentado para Estados Unidos (Aspuru, 2024).
- (9) La medida utilizada, el llamado coste nivelado de la energía (en inglés *levelized cost of energy* o *LCOE*), tiene en cuenta el coste de producción y la inversión a lo largo de la vida útil de la planta para hacer comparables las plantas que utilizan combustibles fósiles y las plantas renovables.
- (10) El carbón genera unas emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2e</sub>) de 740 a 1.689 gramos por kWh. Le sigue el petróleo, con unas emisiones de 510 a 1.170 gramos y el gas natural con entre 290 y 930. Estas emisiones tienen en cuenta todo el ciclo de vida de la planta, incluida la construcción y desmantelamiento. Por este motivo, se estima que las plantas solares generan unas emisiones de 41 gramos por kWh, seguidas por la energía nuclear con 12 y la eólica e hidroeléctrica con emisiones de 11 y 4 gramos por kWh, respectivamente (IPCC, 2023).
- (11) Francia es un caso excepcional por su decidida apuesta por la energía nuclear que ha representado el 80 por 100 de la producción de electricidad en los últimos treinta años.

- (12) Ver "How China sparked a rooftop solar revolution in Pakistan" (*The Economist*, 3 de noviembre de 2025) y "Cheap Solar is Transforming Lives and Economies Across Africa" (*New York Times*, 30 de diciembre de 20

## BIBLIOGRAFÍA

- AEMET. (2024).** *Olas de calor en España desde 1975. Área de climatología aplicaciones operativas.*
- Aspuru, P. (2024).** *Delaying the coal twilight: Local mines, regulators, and the energy transition.* Mimeo.
- Burgess, R., Deschenes, O., Donaldson, D. y Greenstone, M. (2024).** *Weather, climate change and death in India.* Mimeo.
- Cruz, J-L. y Rossi-Hansberg, E. (2023).** The economic geography of global warming. *Review of Economic Studies*, 91(2), 899-939.
- Dobermann, T., Hayat, F. y Srivastav, S. (2024).** *The economic costs of lopsided contracts: Evidence from pakistan's power sector.* Mimeo.
- Frankopan, P. (2023).** *The Earth Transformed: An Untold History.* Bloomsbury Publishing.
- Greenstone, M. (2024).** The economics of the global energy challenge. *SSRN Electronic Journal.*
- International Energy Agency. (2024).** World energy outlook 2024. *Technical report*, IEA
- International Energy Agency. (2025).** Global energy review 2025. *Technical report*, IEA.
- IPCC. (2023).** *Climate change 2023: Synthesis report. contribution of working groups i, ii and iii to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 2023.*
- Nordhaus, William D. (2019).** Can we control carbon dioxide? (from 1975). *American Economic Review*, 109(6), 2015-2035.
- Rhodium Group. (2024).** *Rhodium climate outlook 2024: Probabilistic global emissions and energy projections.*

## ANEXO

## 1. El Acuerdo de París

El gráfico 4 muestra la dinámica temporal de las emisiones en torno a la ratificación del Acuerdo de París. La metodología de *event study* estima la diferencia en la variable dependiente entre el grupo de tratamiento y el grupo de control para cada período de tiempo, normalizada respecto a un año base previo al tratamiento. A diferencia del estimador estático de diferencias-en-diferencias, este enfoque permite evaluar la validez del supuesto de tendencias paralelas examinando los coeficientes previos al tratamiento (si son estadísticamente indistinguibles de cero) y observar la heterogeneidad dinámica del efecto a lo largo del tiempo, identificando si el impacto es inmediato, gradual o nulo.

Consideramos como grupo de tratamiento a los países desarrollados, que debían asumir compromisos ambiciosos, comparados con el resto de los países (el grupo de control). La especificación econométrica es la siguiente:

$$\ln(CO_2)_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \gamma_i \times t + \sum_{k=-15}^7 \beta_k \mathbf{1}(t - T_{Paris} = k) D_i + \delta \ln(PIBpc)_{it} + \varepsilon_{it}. \quad [1]$$

Como en otras especificaciones,  $\alpha_i$  y  $\lambda_t$  capturan efectos fijos de país y año. El término  $\gamma_i t$  captura la trayectoria anterior al Acuerdo de París para cada país. El efecto fijo  $D_i$  toma valor 1 si y solo si el país es desarrollado y  $T_{Paris} = 2016$ . Finalmente,  $\delta$  captura la elasticidad renta de las emisiones. El valor de los parámetros de interés,  $\beta_k$ , se muestra en el gráfico 4.

## 2. Curva de Kuznets medioambiental

La curva de Kuznets medioambiental mostrada en el gráfico 7 utiliza datos del PIB per cápita y emisiones de CO<sub>2</sub> a partir de la especificación en [1]. Para ello, se ha incluido datos de países de ingreso medio-bajo, medio-alto y alto, de acuer-

do con la clasificación del Banco Mundial. Esto excluye a los países de menores ingresos dado que, estando muy lejos del punto de máximo de emisiones, no aportan información sobre cómo estimar este parámetro.

En lugar de reproducir las tablas que corresponden a todas las ventanas móviles detrás del gráfico 7, en el cuadro n.º 1 se incluyen los resultados de una especificación parecida,

$$\ln(CO_2)_{it} = \alpha_i + \lambda_t + (\delta_1 + \gamma_1 T) \times \ln(PIBpc_{it}) + (\delta_2 + \gamma_2 T) \times \ln(PIBpc_{it})^2 + \varepsilon_{it}, \quad [2]$$

que permite que los parámetros  $\beta_i = \delta_i + \gamma_i T$  varíen en el tiempo. Utilizando estos datos podemos calcular que el punto de máximas emisiones estaba en los 106,000 dolares per cápita en el año 2000, 66,879 en 2010 y 47,405 en 2020, que está en línea con los resultados del gráfico 7.

CUADRO N.º 2

## CURVA DE KUZNETS MEDIOAMBIENTAL DINÁMICA

	Log emisiones de CO2 per cápita
$\ln(PIB_{pc})$	3,055*** (0,722)
$\ln(PIB_{pc})^2$	-0,132*** (0,037)
$\ln(PIB_{pc}) \times T$	0,380* (0,216)
$\ln(PIB_{pc})^2 \times T$	-0,023** (0,011)
Observaciones	5.544
R-cuadrado	0,967
Países	167

Notas: Variable dependiente:  $\ln(CO_2)$  per cápita. La tendencia temporal se mide en décadas desde el año 2000 ( $t=0$  en 2000,  $t=1$  en 2010,  $t=2$  en 2020). Errores estándar agrupados a nivel de país entre paréntesis. Niveles de significatividad:  $p < 0,10^*$ ,  $p < 0,05^{**}$ ,  $p < 0,01^{***}$ .