

## Cambio Climático y Energía: Una visión a nivel global

Emilio Cerdá<sup>1</sup>

Fecha de recepción: noviembre 2017 / Fecha de aceptación: septiembre 2018

**Resumen.** El artículo comienza explicando las relaciones entre emisiones, concentraciones, calentamiento global, estimaciones de aumentos de temperatura y valoración de riesgos. A continuación se aportan datos y se comentan algunos indicadores que relacionan las emisiones de dióxido de carbono y el suministro total de energía primaria. Se analizan dos instrumentos fundamentales para hacer frente al cambio climático: el precio de los gases de efecto invernadero y las políticas para favorecer el cambio tecnológico. Por último, se explica cómo se calcula el *Climate Change Performance Index* y se comentan los resultados más importantes del informe correspondiente al año 2018.

**Palabras clave:** Emisiones de gases de efecto invernadero, energía, economía baja en carbono, cambio tecnológico, *The Climate Change Performance Index*.

### [en] Climate Change and Energy: A global view

**Abstract.** This paper explains the relations between emissions, concentrations, global warming, estimations of incremental temperature rises, and risk assessment. Afterwards, data are provided and discussed through some indicators related to emissions of carbon dioxide and the total supply of primary energy. Two fundamental instruments to tackle climate change are analyzed: the price of greenhouse gases and policies to stimulate positive technological change. Finally, an explanation is provided on how *The Climate Change Performance Index* is defined and the main results of the report corresponding to 2018 are commented.

**Keywords:** Greenhouse gas emissions, energy, low carbon economy, technological change, *The Climate Change Performance Index*.

**JEL:** Q43 y Q54

### 1. Introducción

La influencia humana en el sistema climático es clara. El calentamiento en el sistema climático es inequívoco. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido y el nivel del mar se ha elevado (IPCC, 2014a: 2).

En el origen del problema del cambio climático están las emisiones de gases de efecto invernadero, que en una proporción cercana al setenta por ciento proceden del sector de la energía. Tales emisiones son externalidades y

constituyen el mayor fallo de mercado conocido en la historia de la humanidad.

Los objetivos de este trabajo son los siguientes: i) Analizar el peso que tiene la energía en las emisiones, concentraciones, aumentos de temperatura y riesgos climáticos, ii) Estudiar las relaciones entre trayectorias de emisiones de dióxido de carbono y de suministro total de energía primaria, a través de indicadores. iii) Analizar algunos de los instrumentos de política más importantes para hacer frente al cambio climático, iv) Analizar el *Climate Change Performance Index*, y sus resultados para 2018.

<sup>1</sup> Instituto Complutense de Estudios Internacionales (ICEI)  
Universidad Complutense de Madrid (UCM)  
ecerde@cee.ucm.es

El autor agradece el apoyo por parte del Ministerio de Economía y Competitividad, a través del proyecto ECO2015-70349-P, y del Banco Santander-Universidad Complutense, a través del proyecto PR26/16-15B-1. El autor agradece los comentarios de Kepa Solauñ, Xavier Labandeira y de dos evaluadores anónimos que han mejorado versiones previas del artículo. Cualquier error u omisión es única responsabilidad del autor.

En el apartado segundo se comienza con una breve descripción de los procesos científicos vinculando el cambio climático con las emisiones de gases de efecto invernadero, a continuación se presentan datos de emisiones por sectores económicos y se relacionan emisiones, concentraciones, estimaciones de aumentos de temperatura y riesgos del cambio climático. En el apartado 3 se analizan las relaciones entre trayectorias de emisiones de dióxido de carbono y de suministro total de energía primaria, a través de indicadores. En el apartado 4 se analizan los instrumentos económicos que se consideran más importantes para abordar el problema del cambio climático, en relación a la energía. En el apartado 5 se analiza la composición del *Climate Change Performance Index* y se comentan los resultados publicados para al año 2018, el artículo finaliza con algunas conclusiones en el apartado 6.

## 2. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y cambio climático

Tal como indica Stern (2008: 1), una breve descripción de los procesos científicos vinculando el cambio climático con las emisiones de GEI ayuda a entender cómo debe desarrollarse el correspondiente análisis económico. La siguiente secuencia ayuda a entender tales procesos:

1. *Los agentes económicos, a través de sus decisiones de producción y consumo emiten GEI.* El Protocolo de Kioto considera que los principales GEI son los seis siguientes: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), los compuestos perfluorinados (PFC) y los hidrofluorocarburos (HFC) (Terceiro Lomba, 2008: 15). El más importante, con mucha diferencia, es el dióxido de carbono.
2. *Estos flujos se acumulan, formando concentraciones de GEI en la atmósfera.* El problema viene por estas concentraciones de GEI, que no dependen de los lugares de origen de las emisiones. Wagner y Weitzman (2015: 15-17) ilustran este aspecto sugiriendo que se piense en la atmósfera como si fuera una gran bañera, en la que en lugar de agua hay concentraciones de GEI acumulados durante muchos años, entran más gases que son las emisiones de GEI (como entra agua en la bañera través

de un grifo) y salen gases a través de la habilidad del planeta de absorber parte de los gases (de la misma manera que sale agua por un sumidero). Para estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero cerca de los niveles actuales no basta con estabilizar las emisiones, lo importante es el “agua que hay en la bañera, no el agua que sale por el grifo”. Es posible estabilizar las emisiones pero que sigan creciendo las concentraciones.

3. *El stock de GEI en la atmósfera atrapa calor y origina el calentamiento global.* La tierra recibe la energía procedente del sol en ondas de alta frecuencia que traspasan la atmósfera con suma facilidad, y que se reflejan en la superficie terrestre, la cual a su vez las devuelve al espacio pero en una frecuencia sensiblemente menor, debido a que su temperatura es más baja. Los GEI absorben una parte importante de la radiación térmica, ya que estas radiaciones tienen una capacidad de penetración menor que las que proceden directamente del sol (Terceiro Lomba, 2008: 16). Se produce un aumento de la temperatura a nivel global, tal como ocurre con los invernaderos.
4. *El proceso de calentamiento global da lugar al cambio climático.* El calentamiento global mantenido da lugar al cambio climático, que consiste en un cambio significativo y duradero de los patrones locales o globales del clima. Así, además de cambio en las temperaturas, hay por ejemplo modificaciones de los patrones de las precipitaciones, aumento de episodios meteorológicos y climáticos extremos o derretimiento de hielos y glaciares en todo el mundo.
5. *El cambio climático afecta a las personas, especies y plantas, de diferentes maneras.* Estos cambios potencialmente transformarán la geografía física y humana del planeta, afectando a dónde y cómo vivimos nuestras vidas (Stern, 2008: 1). Estas transformaciones tienen impactos físicos, económicos y sociales.

De acuerdo con el 5º informe de evaluación del IPCC<sup>2</sup>, las emisiones antropogénicas de GEI han aumentado desde la era preindustrial, en gran medida como resultado del crecimiento económico y demográfico, y en consecuen-

<sup>2</sup> IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change.

Tabla 1. Porcentaje de cada uno de los GEI en las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> antropogénicas anuales totales en los años 1970, 1990 y 2010.

Año	CO <sub>2</sub> (CF y PI) <sup>3</sup>	CO <sub>2</sub> (SOUS) <sup>4</sup>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Gases fluorados <sup>5</sup>	TOTAL
1970	55,5	17	19	8	0,5	100
1990	58,3	15,8	17,8	7,3	0,8	100
2010	62,8	10	20	5	2,2	100

Fuente: Elaboración propia, a partir de IPCC (2014a: 46).

cia las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) han alcanzado unos niveles no comparables a los alcanzados a lo largo de los últimos 800.000 años. En torno a la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénicas acumuladas entre los años 1750 y 2011 se han producido en los últimos 40 años (IPCC, 2014a: 4).

Las emisiones antropogénicas totales de GEI han seguido creciendo entre los años 1970 y 2010, con mayores incrementos absolutos entre 2000 y 2010, a pesar del creciente número de políticas de mitigación del cambio climático. Las emisiones antropogénicas anuales totales fueron de 27 Gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente al año en 1970, 38 en 1990 y 52 en 2010. Mientras que en el periodo 1970-2000 el incremento medio fue del 1,3% al año, entre los años 2000 y 2010 fue del 2,2% al año (IPCC, 2014a: 46).

En la Tabla 1 se presenta el porcentaje de cada uno de los GEI en las emisiones equivalentes antropogénicas totales, en los años 1970, 1990 y 2010. Como se ve claramente en dicha tabla, el CO<sub>2</sub> es con mucha diferencia el GEI que más contribuye al calentamiento global, principalmente el CO<sub>2</sub> procedente de la quema de combustibles fósiles y procesos industriales.

Hay que distinguir entre emisiones directas e indirectas de GEI, de acuerdo con las siguientes definiciones:

**Emisiones directas de GEI:** Son emisiones de fuentes que son propiedad de o están controladas por la organización. De una manera muy simplificada, podrían entenderse como las emisiones liberadas in situ en el lugar donde se produce la actividad, por ejemplo, las emisio-

nes debidas al sistema de calefacción si éste se basa en la quema de combustibles fósiles.

**Emisiones indirectas de GEI:** Son emisiones consecuencia de las actividades de la organización, pero que ocurren en fuentes que son propiedad de o están controladas por otra organización. Un ejemplo de emisión indirecta es la emisión procedente de la electricidad consumida por una organización, cuyas emisiones han sido producidas en el lugar en el que se generó dicha electricidad (Oficina Española de Cambio Climático, 2016: 43).

La Figura 1 presenta el porcentaje de emisiones directas de GEI, por sectores económicos correspondiente al año 2010. El 25% correspondiente a producción de electricidad y calor da lugar a las siguientes emisiones indirectas de los sectores correspondientes: Energía 1,4%. Industria 11%. Transporte 0,3%. Edificios 12%. Agricultura, silvicultura y otros usos del suelo 0,87%. En el apartado de Energía (otros) se incluyen el refinado de petróleo, la producción de combustibles sólidos, la producción y transporte de combustibles, la producción y uso de equipos eléctricos, los incendios de combustibles fósiles y las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O a partir de energía, siguiendo la clasificación que establece el IPCC.

Hay que tener en cuenta que muchas de las emisiones asignadas en la figura anterior a sectores económicos proceden de combustión de combustibles fósiles (por ejemplo, en el transporte, en los edificios o en parte de la industria) y, por tanto, son emisiones relacionadas con la energía. Es por ello, que para el tema que nos ocupa en este trabajo, es interesante complementar la figura anterior con la Figura 2, con datos que proporciona la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés).

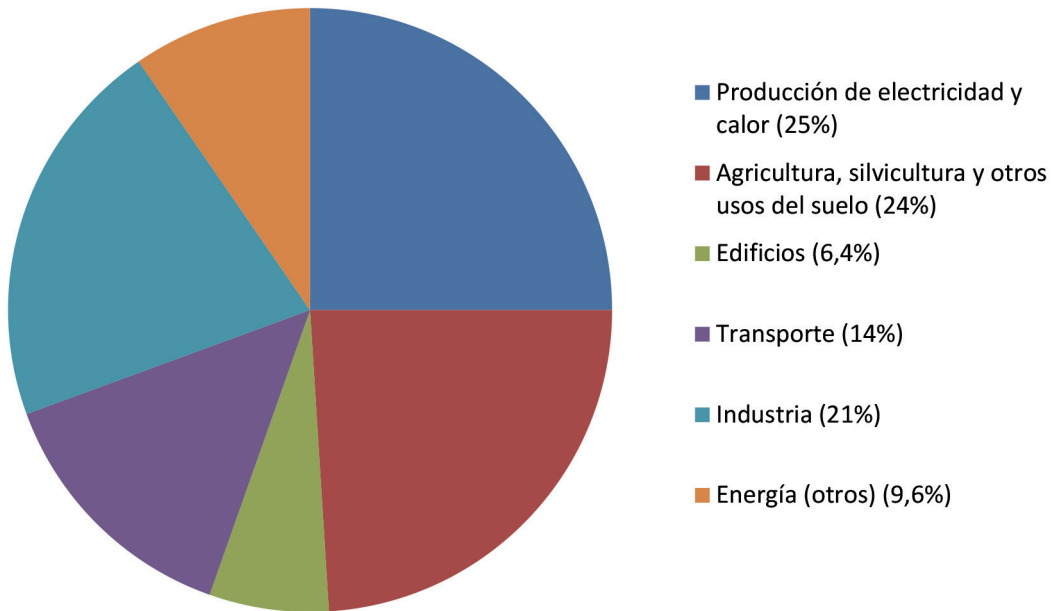
En la Figura 2, en el sector de la energía, el 90% de sus emisiones de GEI lo son de CO<sub>2</sub>, el 9% emisiones de CH<sub>4</sub> y el 1% de N<sub>2</sub>O. Las

<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> procedente de la quema de combustibles fósiles y procesos industriales..

<sup>4</sup> CO<sub>2</sub> procedente de la silvicultura y otros usos del suelo.

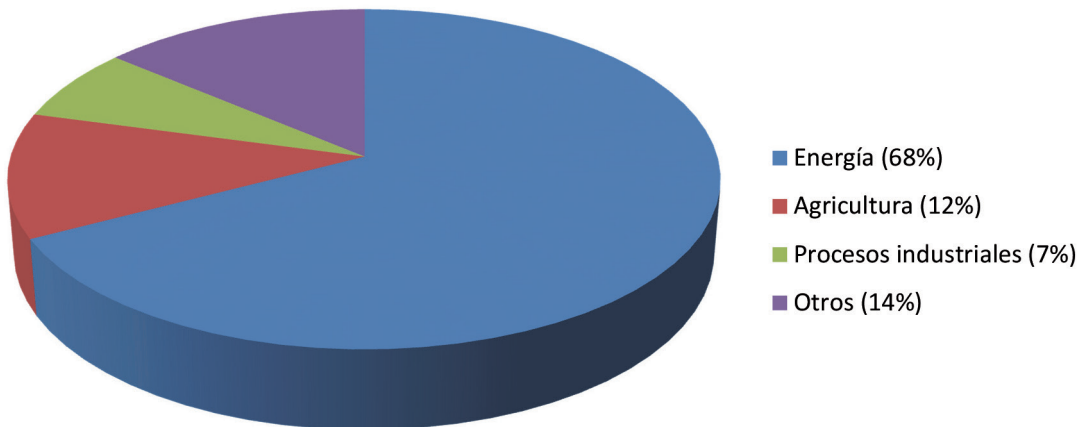
<sup>5</sup> Gases fluorados abarcados en el protocolo de Kyoto.

Figura 1. Emisiones directas de gases de efecto invernadero por sectores económicos en 2010.



Fuente: Elaboración propia, a partir de IPCC (2014a: 47).

Figura 2. Participación estimada de las actividades humanas que producen gases de efecto invernadero, en 2014.



Fuente: IEA (2017b: 9).

emisiones correspondientes a agricultura son principalmente  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$ , procedentes sobre todo del cultivo de arroz y del ganado doméstico. El 7% de las emisiones corresponde a procesos industriales no relacionados con la energía. En el apartado de otros se incluye la combustión de biomasa a gran escala, descomposición tras combustión, descomposición de turba, emisiones indirectas de  $\text{N}_2\text{O}$  procedentes de emisiones de este gas no relacionadas

con la agricultura, así como la gestión de residuos (IEA, 2017b: 9).

En la Tabla 2 se presentan las emisiones de GEI en España, entre 1990 y 2015. Las emisiones totales en España han crecido el 18,3% entre los años 1990 y 2015. Por categorías, el tratamiento y eliminación de residuos ha crecido el 92,1%, el procesado de energía y los procesos industriales han crecido el 20,7% y 19%, respectivamente, mientras que las emisiones

Tabla 2. Emisiones de gases de efecto invernadero por actividad en España (en Kilotoneladas equivalentes de CO<sub>2</sub>).

CATEGORÍAS	1990	1995	2000	2005	2010	2015
Procesado de la energía	211.715	239.252	288.854	345.498	269.835	255.453
Procesos industriales	25.851	29.001	36.404	36.345	30.955	30.760
Agricultura	37.659	36.548	44.029	40.843	40.014	35.979
Tratamiento y eliminación de residuos	7.013	9.465	11.543	12.742	15.094	13.471
<b>Total categorías</b>	<b>283.749</b>	<b>314.266</b>	<b>380.831</b>	<b>435.428</b>	<b>355.898</b>	<b>335.662</b>

Fuente: MAGRAMA.

procedentes de la agricultura han disminuido el 4,5%.

En el año 2015, el porcentaje de emisiones de GEI de cada una de las categorías, en España, es el siguiente: procesado de la energía 76,1%; agricultura 10,7%; procesos industriales 9,2%; tratamiento y eliminación de residuos 4%. Es interesante desglosar la categoría procesado de energía en subcategorías, con lo que se obtiene el siguiente porcentaje: actividades de combustión de industrias del sector energético 25,7%; actividades de combustión del transporte 24,9%; actividades de combustión de industrias manufactureras y de la construcción 12,3%; actividades de combustión de otros sectores 11,8%; agricultura 10,7%; procesos industriales 9,2%; tratamiento y eliminación de residuos 4% y emisiones fugitivas de combustibles 1,4%.

Volviendo al nivel mundial, las emisiones antropogénicas de GEI dependen principalmente del tamaño de la población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de la energía, los patrones del uso del suelo, la tecnología y la política climática (IPCC, 2014a: 8).

Las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, metano y óxido nitroso mundiales han aumentado sensiblemente desde el año 1750, como resultado de las actividades humanas. Los aumentos globales de la concentración de CO<sub>2</sub> se deben fundamentalmente a la quema de combustibles fósiles y a los cambios del uso de la tierra, mientras que los de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O se deben principalmente a la agricultura (IPCC, 2007: 5).

La concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, que era de 280 partes por millón (ppm) en la era preindustrial, pasó a ser de 379 ppm en el año 2005 y a 403 ppm en el año 2016, según la Organización Meteorológica Mundial. La

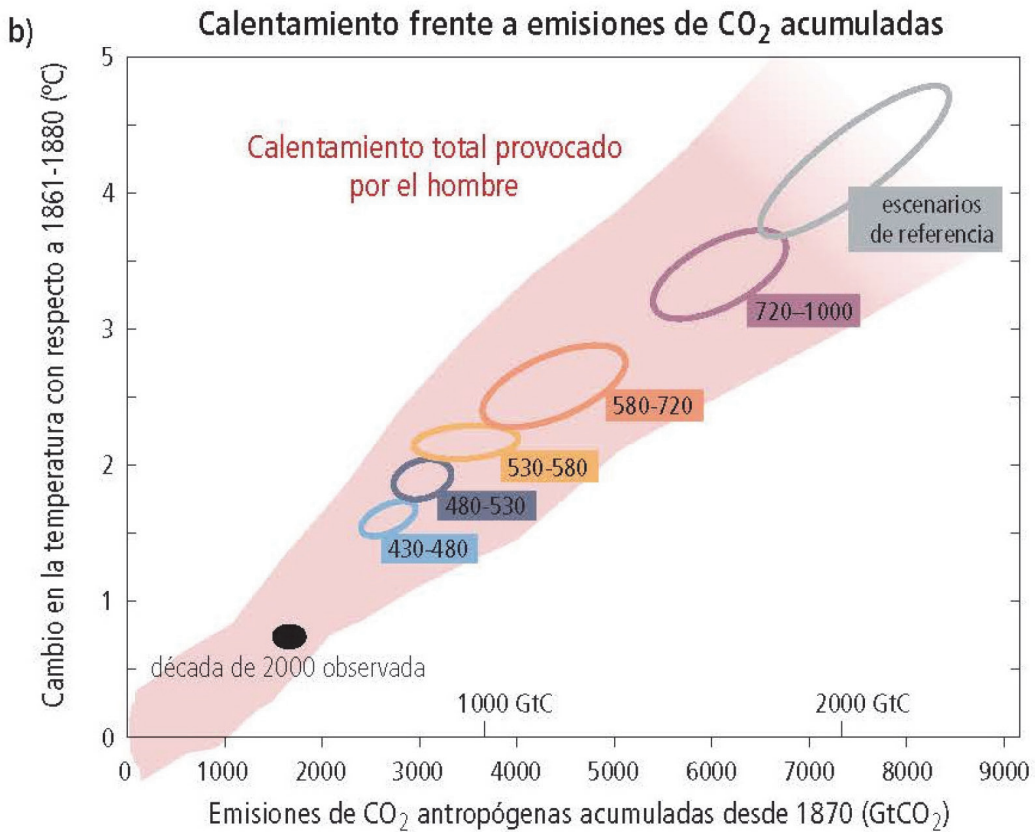
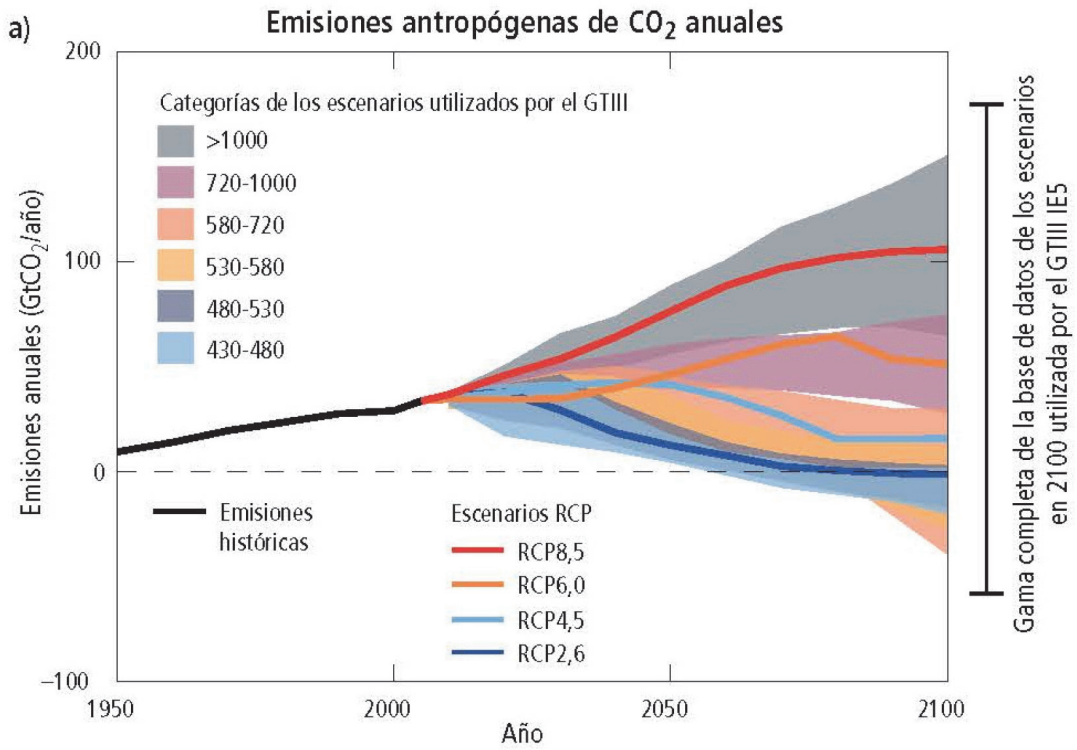
concentración de metano en la atmósfera era de 715 partes por billón (ppb) en la era preindustrial, de 1774 ppb en el año 2005 y de 1853 ppb en 2016. La concentración de óxido nitroso era de 270 ppb en la era preindustrial, de 319 ppb en 2005 y de 329 ppb en el año 2016.

Para establecer proyecciones futuras, en el quinto informe del IPCC se han definido cuatro nuevos escenarios de concentración, las denominadas Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Dichas trayectorias, de menor a mayor concentración, son las siguientes:

- RCP 2.6. Supone que las emisiones globales anuales de GEI (medidas en unidades de CO<sub>2</sub>-equivalentes) alcanzan el máximo valor entre los años 2010 y 2020 y disminuyen de manera considerable a partir de dicho máximo. La concentración de GEI en el año 2100 sería de 421 ppm.
- RCP 4.5. El máximo se alcanzaría en torno al año 2040, y la concentración de GEI en el año 2100 sería de 538 ppm.
- RCP 6.0. El máximo se alcanzaría alrededor de 2080 y la concentración en 2100 sería de 670 ppm.
- RCP 8.5. Las emisiones no paran de crecer a lo largo de todo el siglo XXI. La concentración de GEI en el año 2100 sería de 936 ppm.

La Figura 3 recoge la relación entre las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> anuales (pasadas, presentes y futuras), emisiones acumuladas desde el año 1870 y cambio en la temperatura en el año 2100, con respecto al periodo 1861-1880, para los diferentes escenarios. En la parte a) de la Figura 3, las áreas coloreadas muestran el rango del 5% al 95%. En la parte b), el

Figura 3. Emisiones, concentraciones e incrementos de temperatura.



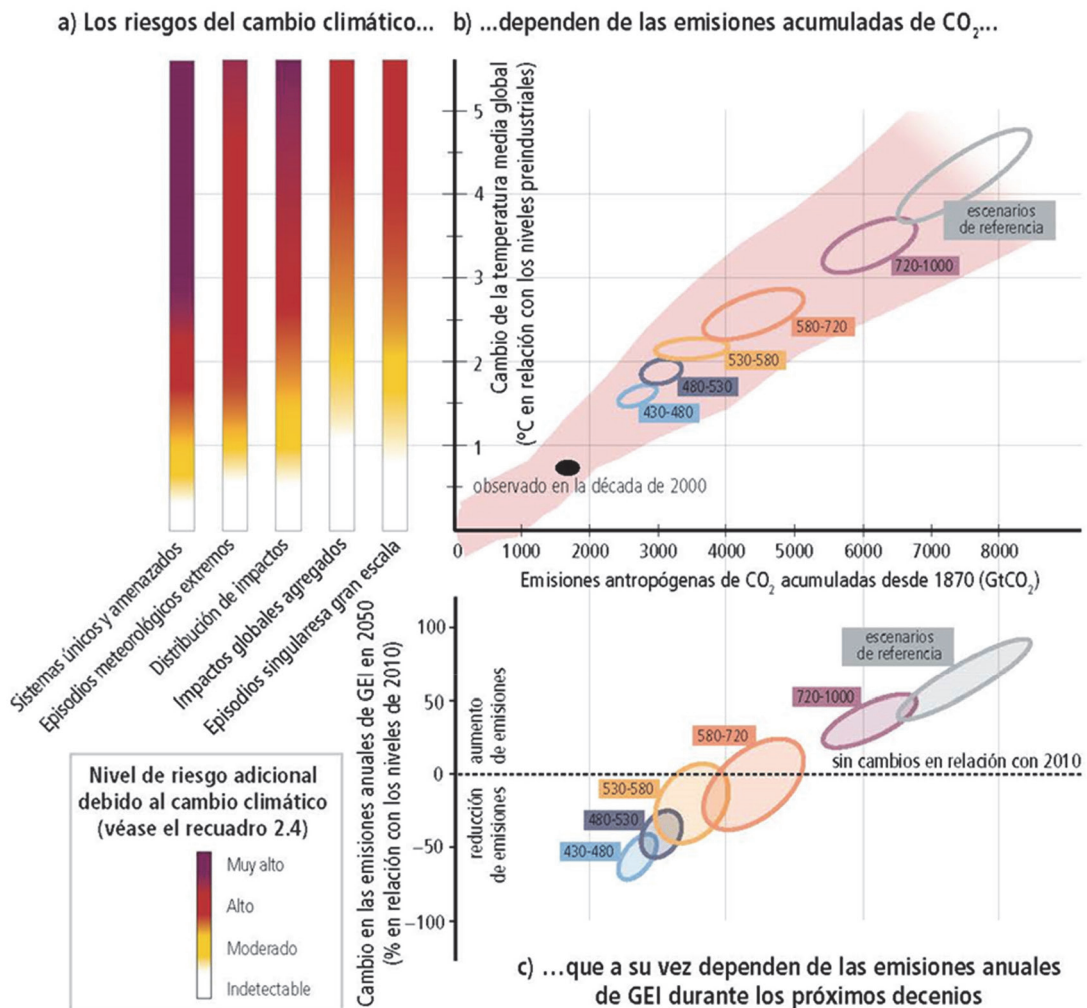
Fuente: IPCC (2014a: 9).

penacho de color muestra la dispersión de las proyecciones pasadas y futuras, a partir de una jerarquía de modelos clima-ciclo del carbono basados en las emisiones históricas y las cuatro RCP en todos los tiempos hasta 2100. Las elipses muestran el calentamiento antropógeno total en 2100 frente a las emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> de 1870 a 2100 (IPCC, 2014a: 9).

Tal como señala el IPCC, “las emisiones acumuladas de CO<sub>2</sub> determinarán en gran medida el calentamiento medio global en superficie a finales del siglo XXI y posteriormente. Las proyecciones de las emisiones de gases de efecto invernadero presentan un amplio margen de variación, en función del desarrollo socioeconómico y la política climática” (IPCC, 2014a: 8).

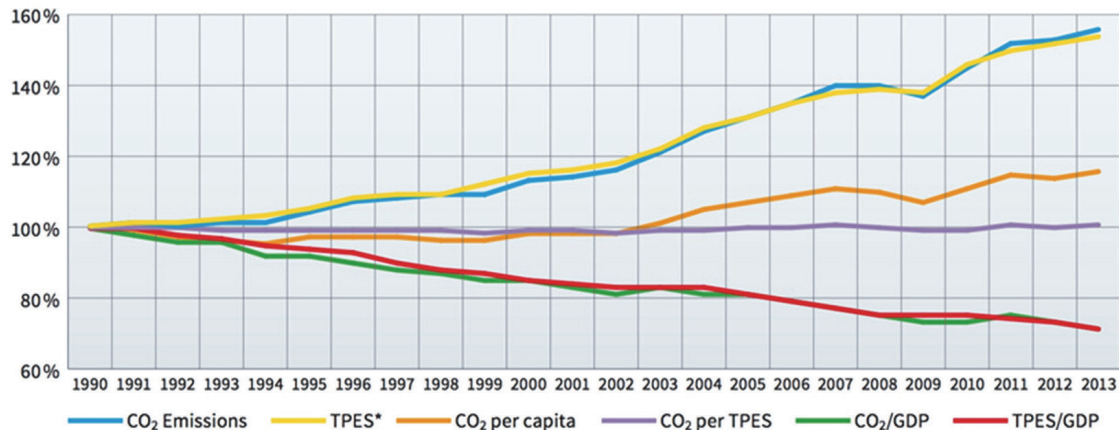
Como se ha explicado al principio de esta sección, las emisiones de GEI se van acumulando en la atmósfera, atrapando calor y originando el calentamiento global, que da lugar al cambio climático, el cual impacta a personas, especies y plantas, teniendo consecuencias ambientales, económicas y sociales. La Figura 4, que se ha tomado del 5º Informe del IPCC, recoge muy bien esta secuencia, incorporando además riesgos. En dicho informe se considera que hay cinco motivos de preocupación que incrementan los riesgos del cambio climático y describen las implicaciones del calentamiento y de los límites de la adaptación para las personas, las economías y los ecosistemas entre sectores y regiones. Los cinco motivos de preocupación se asocian con: 1) Sistemas únicos

Figura 4. Los riesgos del cambio climático.



Fuente: IPCC (2014a: 18).

Figura 5. Emisiones de CO<sub>2</sub>, Suministro Total de Energía Primaria (TPES) y otros indicadores, entre los años 1990 y 2013.



Fuente: The Climate Change Performance Index (2016: 4).

y amenazados, 2) Episodios meteorológicos extremos, 3) Distribución de los impactos, 4) Impactos totales a nivel global, y 5) Episodios singulares a gran escala.

Sin nuevos esfuerzos de mitigación al margen de los que existen en la actualidad, e incluso llevando a cabo labores de adaptación, a finales del siglo XXI el calentamiento provocará un riesgo alto a muy alto de impactos graves, generalizados e irreversibles a nivel mundial. En la mayoría de los escenarios sin esfuerzos de mitigación adicionales es probable que en 2100 el calentamiento supere en 4° C los niveles pre-industriales, con riesgos asociados a extinciones de especies, inseguridad alimentaria mundial y regional, limitaciones para actividades humanas normales y capacidad potencial limitada para la adaptación en algunos casos (IPCC, 2014a: 17).

### 3. Relaciones entre trayectorias de emisiones de CO<sub>2</sub> y de suministro total de energía primaria

En el Protocolo de Kioto algunos países se comprometieron a disminuir sus emisiones de GEI, y para medir dichas reducciones se tomó como referencia el año 1990. Entre dicho año y 2013 las emisiones de CO<sub>2</sub>, a nivel global han aumentado casi un 60%, lo mismo que ha aumentado el suministro de energía primaria<sup>6</sup>. De hecho, en la Figura 5 se ve claramente

cómo las trayectorias de emisiones de CO<sub>2</sub> y de suministro total de energía primaria (TPES) aparecen prácticamente superpuestas.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita también han aumentado entre los años 1990 y 2013, aunque lo han hecho en menor porcentaje que las emisiones de CO<sub>2</sub> o el suministro total de energía primaria. En el periodo considerado en la Figura 5 sólo se observa un descenso en los valores de las tres series, entre los años 2007 y 2009, seguramente como consecuencia del comienzo de la crisis económica.

En la Figura 5 aparecen otros indicadores interesantes, a partir de los cuales merece la pena destacar que, a nivel global se están produciendo mejoras en:

- La intensidad energética en la Economía (Consumo energético/PIB). A nivel global, la intensidad energética ha disminuido en torno al 30% entre los años 1990 y 2013, lo cual quiere decir que se esté utilizando menor cantidad de energía por cada unidad de PIB<sup>7</sup>.
- La intensidad del carbono en la Economía (Emisiones de CO<sub>2</sub>/PIB). Como se puede ver en la Figura 5, las trayectorias de la intensidad energética y de intensidad del carbono son casi idénticas, lo cual es lógico a la vista de la similitud entre las trayectorias de emisiones de CO<sub>2</sub> y de suministro total de energía primaria.

<sup>6</sup> Suministro Total de Energía Primaria, Total Primary Energy Supply (TPES), en inglés

<sup>7</sup> PIB: Producto Interior Bruto, Gross Domestic Product (GDP) en inglés.



Sin embargo, no se están produciendo mejoras en:

- Intensidad del carbono en el suministro energético (Emisiones de CO<sub>2</sub>/ Suministro Total de Energía Primaria). En la Figura 5 se ve cómo este indicador prácticamente se mantiene constante, lo cual es lógico teniendo en cuenta que las trayectorias de emisiones de CO<sub>2</sub> y de suministro total de energía primaria son muy parecidas, como se ha comentado anteriormente. Es claro que hay mucho margen de mejora en este indicador, hace falta suministrar energía primaria que genere menos emisiones de CO<sub>2</sub>.

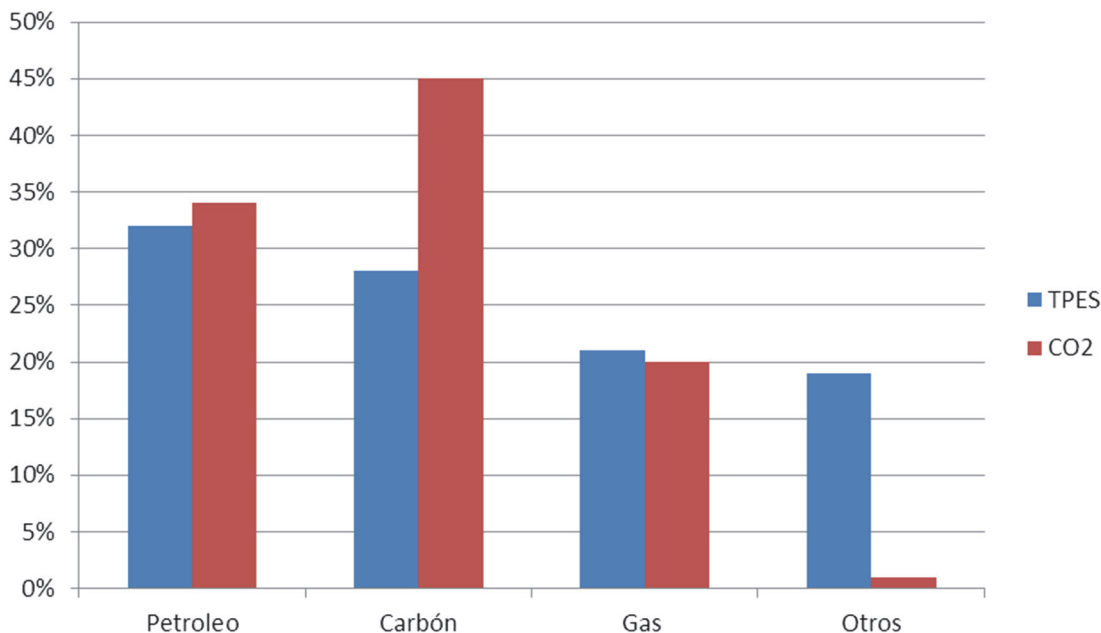
El suministro total de energía primaria en el mundo se ha incrementado en casi el 150% entre los años 1971 y 2015. A pesar del crecimiento de la energía no fósil, especialmente en la generación de electricidad donde representa actualmente el 34% del total (incluyendo nuclear, hidroeléctrica y otras fuentes renovables), la proporción de combustibles fósiles en el suministro total de energía primaria apenas ha cambiado, ya que era del 86% en 1971 y es del 82% en 2015.

Como se puede ver en la Figura 6, el carbón representa el 28% del suministro total de ener-

gía primaria en el mundo en 2015 pero contribuye al 45% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. En el otro extremo tenemos a las fuentes de energía incluidas en el grupo “Otras” (que incluye la nuclear, hidroeléctrica, geotérmica, solar, mareas, eólica, biocombustibles y residuos) que contribuye en un 19% al suministro total de energía primaria pero sólo contribuye en un 1% a las emisiones de CO<sub>2</sub>.

En el año 2015, dos sectores produjeron dos tercios de las emisiones globales de CO<sub>2</sub> a través de la combustión de combustibles: la generación de electricidad y calor (que aporta el 42% de dichas emisiones) y el transporte, con el 24%. A pesar del incremento en la utilización de las renovables, la generación de electricidad y calor en el mundo se basa en exceso en el carbón, que es el combustible fósil más intensivo en carbono. Países como Australia, China, India, Polonia y Sudáfrica producen más de dos tercios de su electricidad y calor a través de la combustión de carbón. En lo que respecta al transporte, sus emisiones de CO<sub>2</sub> crecieron el 68% entre 1990 y 2015. El transporte por carretera genera el 75% de las emisiones del transporte, en el año 2015. Entre 1990 y 2015, las emisiones procedentes del transporte marítimo crecieron un 77% y las de la aviación un 105% (IEA, 2017b: 12-14).

Figura 6. Suministro total de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub>: porcentajes por combustible, en 2015.



Fuente: IEA (2017b: 11)..

#### 4. Instrumentos de política para hacer frente al cambio climático

En el capítulo 15 del volumen correspondiente a la contribución del Grupo de Trabajo III al 5º informe de evaluación del IPCC se describen y analizan muchos instrumentos de política para hacer frente al cambio climático, agrupándolos de la siguiente forma: instrumentos económicos, enfoques regulatorios, programas de información, provisión de bienes públicos por parte del gobierno y acciones voluntarias.

A continuación, nos vamos a centrar en los instrumentos económicos (relacionados con el precio de los gases de efecto invernadero) y las políticas relacionadas con el cambio tecnológico.

Los instrumentos económicos más importantes son los impuestos sobre el carbono y los mercados de permisos de emisión comercializables, ambos tienen que ver con la idea principal de poner un precio al carbono.

El CO<sub>2</sub>, como cualquier gas de efecto invernadero, es una externalidad. En presencia de externalidades la intervención del gobierno puede mejorar el bienestar y está justificada. El impuesto Pigouviano constituye una forma destacada de intervención. El impuesto Pigouviano hace tres cosas: i) pone un impuesto a la actividad que genera la externalidad, ii) utiliza el ingreso por el impuesto para compensar a las víctimas de la externalidad, iii) la compensación es tal que contrarresta la pérdida de bienestar en el margen (Tol, 2014: 45).

Tanto los impuestos como los subsidios dan lugar a variaciones en los precios de los combustibles. En muchos países existen subsidios a los combustibles fósiles, sobre todo en los países productores de petróleo y carbón. Si se trata de poner un precio al carbono, y en general a cada uno de los gases de efecto invernadero, como incentivo económico para que disminuya su emisión, habrá que considerar también (incluso se podría decir que habría que empezar por) la reducción (mejor sería la eliminación) de las subvenciones a los combustibles fósiles. Este aspecto lo viene señalando año tras año la Agencia Internacional de la Energía en su informe anual, como se recoge a continuación en los siguientes párrafos textuales, de 2014 a 2017, donde se puede ver la evolución general de estas subvenciones en el mundo en los últimos años:

- “Las subvenciones a los combustibles fósiles sumaron un total de 555.000 millones de dólares USA – más del cuádruple de las subvenciones en eficiencia energética y en renovables” (IEA, 2014: 4).
- “El consumo de combustibles fósiles sigue beneficiándose de amplias subvenciones: estimamos que en el montante global ascendió a poco menos de 500.000 millones de dólares USA en 2014, pero sin las reformas aprobadas en 2009 hubiera rondado los 600.000 millones de dólares USA. Las subvenciones de ayuda a las tecnologías renovables en el sector eléctrico ascendieron a 112.000 millones de dólares USA en 2014 (más de 23.000 millones de dólares USA para biocombustibles)” (IEA, 2015: 7).
- “El valor de las subvenciones al consumo de combustibles fósiles se redujo en 2015 a 325.000 millones de dólares USA, desde los casi 500.000 millones de dólares USA del año anterior, lo cual refleja el descenso de precios de dichos combustibles, pero también un proceso de reforma de las subvenciones que ha ganado impulso en varios países” (IEA, 2016:1). “Las subvenciones a las energías renovables giran actualmente en torno a los 150.000 millones de dólares USA, de los cuales un 80% va destinado al sector eléctrico, un 18% al transporte y en torno a un 1% a los sistemas de calefacción” (IEA, 2016: 4).
- “Tener las señales de precios correctas y un marco de políticas correcto entrañaría la eliminación progresiva de las subvenciones que promueven el consumo irresponsable de combustibles fósiles (los 260.000 millones estimados en 2016 representan casi el doble de las subvenciones actualmente concedidas a las renovables). Junto con una proliferación de iniciativas por parte del sector privado, municipios y diversas comunidades, la existencia de políticas bien diseñadas sigue siendo una condición clave para lograr un futuro energético más brillante” (IEA, 2017a: 8).

En el 5º informe del IPCC se señala que, a pesar de que los obstáculos económicos de carácter político son importantes, algunos países han reformado sus sistemas tributarios y presupuestarios para reducir los subsidios a los combustibles fósiles. A fin de contribuir a reducir los posibles efectos adversos sobre los grupos de bajos ingresos que a menudo gastan

una parte importante de sus ingresos en servicios energéticos, muchos gobiernos han utilizado transferencias de efectivo de suma fija u otros mecanismos destinados a los pobres (IPCC, 2014b: 1147).

## El precio del carbono

En el año 2013, el Banco Mundial encargó a la consultora *Ecofys* el análisis y la elaboración del mapa correspondientes al desarrollo global de las iniciativas relativas al precio del carbono. Desde entonces, a finales de cada año presenta el informe titulado *State and Trends of Carbon Pricing* y a mitad de año el documento *Carbon Pricing Watch*.

Actualmente se han implementado en el mundo 45 iniciativas que consisten en 23 sistemas de comercio de emisiones (ETS<sup>8</sup>, es sus siglas en inglés) y 22 impuestos al carbono. En conjunto, estas iniciativas de precio del carbono cubren 8 gigatoneladas de CO<sub>2</sub>-equivalente o el 15 % de las emisiones globales de GEI. Además, está previsto que a finales de 2017 empezará a funcionar el ETS nacional de China, que será la mayor iniciativa de precio del carbono, por encima del ETS de la Unión Europea. En cuanto se implemente el ETS nacional de China, las emisiones cubiertas por mecanismos de precio al carbono estarán entre el 20 y 25% de las emisiones globales de GEI. En total son 67 las jurisdicciones (42 a nivel nacional, 25 a nivel sub-nacional) en las que se han implementado las 45 iniciativas<sup>9</sup>. Estas 67 jurisdicciones, sobre las que existe un precio al carbono, representan alrededor de la mitad de la economía global (World Bank, Ecofys and Vivid Economics, 2017: 10-11).

Estas iniciativas empezaron en el año 1990, en el que Finlandia y Polonia establecieron un impuesto sobre el carbono. En el año 2000 había 7 iniciativas, 9 en 2005, 19 en 2010, 32 en 2013, 37 en 2015 y 45 en 2017.

Está previsto que en el año 2018 se implementen el Massachusetts ETS y un impuesto al carbono en Sudáfrica.

Los precios más altos en las iniciativas implementadas sobre precio al carbono (en dólares USA por tonelada de CO<sub>2</sub>-equivalente) son

de 140 en el impuesto al carbono en Suecia, 87 en los impuestos al carbono en Suiza y en Liechtenstein, 73 en el impuesto al carbono en Finlandia (para combustibles líquidos para el transporte), 69 en el impuesto al carbono en Finlandia (para otros combustibles fósiles), 56 en el impuesto al carbono en Noruega (superior), 36 en el impuesto al carbono en Francia o 27 para el impuesto al carbono en Dinamarca. En el otro extremo, los precios más bajos son de menos de 1 en el ETS piloto de Chongqing y en los impuestos al carbono en Ucrania, Polonia y México (inferior), 1 en el ETS piloto de Tianjin, 2 en los ETS piloto de Guangdong y Hubei y el impuesto al carbono en Estonia, 3 en el impuesto al carbono de Japón y México (superior) o 4 en el impuesto al carbono en Noruega (inferior) y RGGI<sup>10</sup> (World Bank, Ecofys and Vivid Economics, 2017a: 7).

En torno a los tres cuartos de las emisiones cubiertas por precios al carbono tienen un precio menor que 10 dólares USA por tonelada de CO<sub>2</sub>-equivalente. Este precio es considerablemente inferior al rango de niveles de precios consistentes con los objetivos fijados en los acuerdos de París. La Comisión de Alto Nivel sobre Precios del Carbono, nombrada por la COP 22 que tuvo lugar en Marrakech en 2016, dirigida por Joseph Stiglitz y Nicholas Stern, en su informe de mayo de 2017 concluye lo siguiente:

“Los países pueden elegir diferentes instrumentos para implementar sus políticas climáticas, dependiendo de sus circunstancias nacionales y locales y del apoyo que reciben. En base a la experiencia en la industria y las políticas, y a la revisión de la literatura, considerando debidamente las respectivas fortalezas y limitaciones de estas fuentes de información, esta Comisión concluye que el nivel explícito del **precio del carbono** consistente con el logro del objetivo de temperatura del acuerdo de París es al menos **de 40 a 80 US\$/tCO<sub>2</sub> para 2020** y **de 50 a 100 US\$/tCO<sub>2</sub> para 2030**, suponiendo que se lleva a cabo una política de apoyo al medio ambiente” (High-Level Commission on Carbon Prices, 2017: 5).

Por otra parte, bastantes empresas están utilizando un precio interno del carbono para

<sup>8</sup> ETS: Emission Trade System

<sup>9</sup> Por ejemplo, la iniciativa ETS para la Unión Europea afecta a 31 jurisdicciones nacionales: los 28 países de la Unión Europea más Islandia, Liechtenstein y Noruega.

<sup>10</sup> RGGI: Regional Greenhouse Gas Initiative (una iniciativa de nueve estados de Estados Unidos del Noreste y del Atlántico Medio).

decisiones estratégicas de inversión corporativa, como ayuda para cambiar a modelos de negocio bajos en carbono. Más de 1300 compañías (incluyendo más de 100 de las Fortune Global 500) revelaron a CDP<sup>11</sup> en 2017 que están utilizando actualmente un precio interno del carbono o tienen planes de utilizarlo en los próximos dos años. Ello representa un aumento del 11% con respecto a 2016. De dichas compañías, 607 informaron que ya están utilizando un precio interno del carbono, mientras que 782 se están preparando para implementarlo en 2018-2019. Alrededor de dos tercios de las compañías que lo han implementado, usan el precio interno del carbono como un instrumento de gestión de riesgos. Algunas instituciones financieras, como por ejemplo el Banco Europeo de Inversión o el Grupo Banco Mundial, utilizan de manera creciente un precio interno del carbono como herramienta para evaluar sus inversiones, incluyendo el coste del carbono en los análisis económicos de nuevos proyectos (World Bank, Ecofys and Vivid Economics, 2017: 11).

### Cambio tecnológico

Como señalaba Stern (2007: 393), cualquier acción efectiva a la escala requerida para tratar de resolver el problema del cambio climático requiere un cambio generalizado a tecnologías nuevas o perfeccionadas, en sectores clave como la generación de energía eléctrica, el transporte y el uso de energía. El progreso tecnológico también puede ayudar a reducir emisiones procedentes de la agricultura, silvicultura o residuos, así como a mejorar la capacidad de adaptación.

La estabilización de gases de efecto invernadero requerirá el despliegue a gran escala de tecnologías bajas en carbono y de alta eficiencia (Stern, 2017: 394). Las tecnologías bajas en carbono se benefician de un precio al carbono, pero no cabe esperar que las tecnologías bajas en carbono actualmente inmaduras se fomenten sólo con ello, por lo que es necesario que el precio al carbono se complemente con políticas específicas para la tecnología. Además, ya que algunas barreras a las tecnologías bajas en carbono afectan a sectores particulares, son necesarias políticas tecnológicas específicas para sectores (Del Río, 2010: 87-90).

En el 5º informe del IPCC aparece una revisión exhaustiva de la literatura en la sección 3.11 (sobre cambio tecnológico) (IPCC, 2014b: 256-258) y en la sección 15.6 (sobre política tecnológica y política en I+D), del volumen elaborado por el Grupo III (IPCC, 2014b: 1174-1179).

Como se ha comentado anteriormente, las emisiones de gases de efecto invernadero son una externalidad negativa, que da pie a la intervención del gobierno para tomar medidas encaminadas a la reducción de emisiones. Además de tal externalidad ambiental existe otra externalidad tecnológica, en este caso positiva, ya que algunas compañías pueden copiar innovaciones o nuevas tecnologías fruto del esfuerzo investigador o innovador de otros agentes, apropiándose de parte de tales esfuerzos. Estudios empíricos indican que las tasas sociales de beneficios en I+D son más altas que las correspondientes tasas privadas. Por tanto, las empresas no son capaces de apropiarse totalmente de sus inversiones en I+D. Así, los beneficios de conocimiento nuevo pueden ser considerados como un bien público (IPCC, 2014b: 256-258).

Instituciones y políticas públicas afectan a la tasa y dirección del cambio tecnológico en todos los puntos de la cadena, desde la invención, a la innovación, la adopción y difusión de la tecnología, y barreras o fallos de mercado no abordados y corregidos en cualquier estado de la cadena pueden limitar la efectividad de las políticas. El desarrollo y el despliegue tecnológicos están dirigidos tanto por empuje tecnológico (fuerzas que impulsan el desarrollo de tecnologías e innovación, como patentes, financiación de I+D o incentivos fiscales para I+D) y por tirón de la demanda (fuerzas que incrementan la demanda del mercado para tecnologías, como subsidios, estándares o compra pública) (IPCC, 2014b: 1174).

En general, la evidencia empírica sugiere que la presencia de un régimen efectivo de protección de la propiedad intelectual estimula la innovación a nivel nacional. Sin embargo, tal evidencia está limitada a los sectores químico y farmacéutico en las economías desarrolladas, por lo que no está claro que este tipo de políticas sea relevante para las tecnologías de mitigación del cambio climático y para otros países no tan desarrollados (IPCC, 2014b: 1175).

En cuanto a la financiación pública de investigación y desarrollo en apoyo a la mitiga-

<sup>11</sup> CDP: Carbon Disclosure Project.

ción del cambio climático hay que decir que actualmente supone un porcentaje pequeño en relación al gasto total en investigación, aunque parece que tal proporción se va a ir incrementando en los próximos años. Un aumento gradual pero estable es más efectivo que aumentos puntuales pero no mantenidos. A corto plazo, la disponibilidad de científicos e ingenieros con la preparación adecuada es una restricción a la capacidad de un país de llevar a cabo investigación relacionada con la energía (IPCC, 2014b: 1175-1176).

Además de la protección de la propiedad intelectual y de la financiación pública de I+D, hay políticas que fomentan el despliegue de tecnologías de mitigación de GEI en empresas y hogares. Una de las razones importantes en defensa de estas políticas es que tienen un efecto de retroalimentación, ya que el despliegue de estas tecnologías hace que disminuyan los precios por los efectos escala y aprendizaje y les permitan acercarse cada vez más a unos niveles que les permitan ser competitivas. Algunos ejemplos de este tipo de políticas son los siguientes: porcentajes exigidos de biocarburantes en el sector del transporte, exigencias de eficiencia en aparatos eléctricos en los hogares o en los automóviles, tarifas reguladas o primas para energías renovables en el sector de generación de energía eléctrica o exigencias de información tales como etiquetado con información de emisiones (IPCC, 2014b: 1176).

A continuación se comentan tres aspectos finales en relación a este apartado: 1) Es muy importante la transferencia de tecnología de unos países a otros, sobre todo de los países desarrollados a los países en vías de desarrollo, aspecto relacionado también con la equidad y que suele aparecer en los acuerdos internacionales sobre cambio climático. 2) Es altamente recomendable que todos los programas de políticas sobre cambio tecnológico sean evaluados tras su puesta en práctica para ver su efectividad y su eficiencia en costes, con vistas a aprender para el futuro. 3) Puesto que hay que aplicar un conjunto de políticas diversas, es importante tener en cuenta las interacciones entre diferentes instrumentos y elementos de diseño (Del Río y Cerdá, 2017: 57).

La Unión Europea siempre ha ejercido liderazgo a nivel mundial en la puesta en práctica de políticas para hacer frente al cambio climático y entre las mismas la política energética ha jugado un papel fundamental. Hay un libro muy interesante en el que se analiza en pro-

fundidad la vinculación entre políticas climáticas y energéticas a través del tiempo, en la UE (Skjaereth, Eikeland, Gulbrandsen y Jevnaker, 2017).

## 5. The Climate Change Performance Index

El *Climate Change Performance Index*, elaborado por *Climate Action Network International*, *Germanwatch* y *the New Climate Institute*, se viene publicando anualmente, desde el año 2005. Dicho índice evalúa y compara el desempeño en cuanto a protección climática de 56 países y la Unión Europea, que generan más del 90% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero.

Se trata de un instrumento diseñado para realzar la transparencia en políticas climáticas a nivel internacional. Su objetivo consiste en alentar la presión social y política en los países que hasta ahora no han tenido acciones ambiciosas en protección climática y en destacar a los países con mejor práctica en políticas climáticas.

El índice se obtiene en un 80% a partir de indicadores objetivos relacionados con emisiones presentes y pasadas de GEI y con diferentes aspectos relacionados con la energía, y en un 20% por valoración, por parte de unos 300 expertos de todo el mundo, de la política climática.

El diseño del índice ha sido revisado en el año 2017, para incorporar aspectos relacionados con el desempeño de los estados a partir de las promesas que formularon en sus Contribuciones Nacionales Determinadas, en el marco del Acuerdo de París. Hasta el momento<sup>12</sup>, 170 partes han ratificado el Acuerdo de París y prometido combatir el cambio climático, limitando el aumento global de temperatura media por debajo de los 2° C, o incluso por debajo de 1,5°C. También se tienen en cuenta los objetivos de reducción de emisiones y de energías limpias que los países se han fijado para el año 2030.

El *Climate Change Performance Index* se calcula de la siguiente forma:

- Emisiones de gases de efecto invernadero (40%):
  - Niveles actuales de emisiones de GEI per cápita (10%).

<sup>12</sup> A fecha de 27 de noviembre de 2017

- Tendencia de las emisiones pasadas de GEI per cápita (10%).
- Niveles actuales de emisiones de GEI, en comparación con la trayectoria compatible con el objetivo de bajar de los 2° C el aumento de la temperatura (10%).
- Objetivo de reducción de emisiones de GEI para 2030, en comparación con la trayectoria compatible con el objetivo de bajar de los 2° C el aumento de la temperatura (10%).
- Energía renovable (20%):
  - Proporción actual de renovables en el suministro total de energía primaria (TPES) (5%).
  - Desarrollo de la oferta de energía procedente de fuentes renovables (5%).
  - Proporción actual de renovables en el suministro total de energía primaria (TSPE), en comparación con la trayectoria compatible con el objetivo de bajar de los 2° C el aumento de la temperatura (5%).
  - Objetivo de energía renovable para 2030, en comparación con la trayectoria compatible con el objetivo de bajar de los 2° C el aumento de la temperatura (5%).
- Uso de energía (20%):
  - Niveles actuales de suministro total de energía primaria per cápita (5%).
  - Tendencias pasadas de suministro total de energía primaria per cápita (5%).
  - Niveles actuales de suministro total de energía primaria per cápita, en comparación con la trayectoria compatible con el objetivo de bajar de los 2° C el aumento de la temperatura (5%).
  - Niveles objetivo a 2030 de suministro total de energía primaria per cápita, en comparación con la trayectoria compatible con el objetivo de bajar de los 2° C el aumento de la temperatura (5%).
- Política climática (20%):
  - Política climática nacional (10%).
  - Política climática internacional (10%).
- Dos años después del Acuerdo de París, sigue habiendo una diferencia importante entre los compromisos de reducción de emisiones de los países y las necesidades para que se puedan cumplir los objetivos del Acuerdo. Hace falta mayor progreso en la implementación de los Acuerdos de París en las legislaciones nacionales.
- Sin embargo, hay signos alentadores de que una transición energética global está en curso. Las cifras disponibles indican que en 2014, 2015 y 2016 las emisiones globales de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía no aumentaron, por primera vez desde la revolución industrial en años sin gran crisis económica. Por otra parte, el conjunto de emisiones de GEI disminuyeron en 2016, por vez primera desde comienzos de los años 1980. Sin embargo, los datos disponibles indican que en 2017 las emisiones aumentaron de nuevo el 2%.
- Las inversiones en energías renovables continúan dominando las nuevas inversiones en el sistema energético mundial. En el año 2015, casi todos los países incluidos en el Índice tuvieron tasas de crecimiento en energías renovables de dos dígitos. Se observa que las energías eólica y solar son cada año más competitivas. El 51% de la capacidad global instalada en energía eólica y el 53% en energía solar lo está en economías emergentes. China está liderando el aumento de las energías renovables, pero países del Oriente Medio, Norte y Centro de África y Sudamérica tienen proyectado un incremento importante de su capacidad instalada a lo largo de 2018.
- El uso del carbón está disminuyendo en el mundo. En el año 2016 el consumo mundial del carbón fue un 1,7% menor que en 2015. Aunque los precios del carbón han caído, la producción de carbón alcanzó el pico en 2013, tanto a nivel global como en los mayores emisores China, Estados Unidos y Unión Europea.
- La disminución de los costes de las energías renovables (eólica y solar, principalmente) es también una oportunidad para ir retirando progresivamente combustibles fósiles más rápidamente, en el orden de magnitud necesario para cumplir con los objetivos fijados en el Acuerdo de París. Hace falta fijar objetivos cada vez más ambiciosos para las energías renovables y regulaciones apropiadas para el carbono incluyendo mecanismos de precios.

### **The Climate Change Performance Index, 2018**

En Noviembre de 2017, ya han aparecido publicados los resultados del Índice para el año 2018. En el informe se destaca la evolución de algunos aspectos como los siguientes:

- En Estados Unidos, la administración Trump empezó a dar pasos atrás en la acción climática, anunciando el abandono del Acuerdo de París y desmantelando el *Clean Power Act*. De todas formas, hay que resaltar algunas señales positivas: 1) el nuevo gobierno aún no ha borrado todos los esfuerzos de la administración anterior, 2) a nivel de estados y de ciudades, y en el sector económico, en Estados Unidos, se van a tomar acciones más ambiciosas de protección climática para contrarrestar la políticas a nivel federal, 3) una reacción a nivel global está haciendo que otros países presenten un frente unido para mantener los objetivos del Acuerdo de París.

Al igual que ocurría en 2017, en el *Climate Change Performance Index de 2018* se dejan desiertos los tres primeros lugares en el ranking de países, ya que se considera que ningún país está en el grupo que merece una calificación “Muy alta”. Por tanto, al ordenar los países siguiendo de mayor a menor la puntuación que obtiene su Índice, se obtiene un ranking del lugar 4 al 60, agrupando los países en bloques con calificación Alta, Media, Baja y Muy baja.

A continuación se presenta el ranking correspondiente al año 2018, por bloques de mejor a peor calificación, indicando para cada país el orden (del 4 al 60) y la puntuación (entre 0 y 100).

- Grupo de países con puntuación “Muy alta”, ningún país.
- Grupo de países con puntuación “Alta”: 4) Suecia (74,32), 5) Lituania (69,20), 6) Marruecos (68,22), 7) Noruega (67,99), 8) Reino Unido (66,79), 9) Finlandia (66,55), 10) Letonia (63,02), 11) Malta (61,87), 12) Suiza (61,20), 13) Croacia (61,19), 14) India (60,02), 15) Francia (59,80), 16) Italia (59,65), 17) Dinamarca (59,49), 18) Portugal (59,16).
- Grupo de países con puntuación “Media”: 19) Brasil (57,86), 20) Ucrania (57,49), 21) Unión Europea-28 (56,89), 22) Alemania (56,58), 23) Bielorrusia (56,38), 24) Eslovaquia (56,04), 25) Luxemburgo (55,54), 26) Rumanía (55,32), 27) México (54,77), 28) Egipto (54,02), 29) Chipre (52,29), 30) Estonia (52,02), 31) Eslovenia (50,54), 32) Bélgica (49,60).
- Países con puntuación calificada como “Baja”: 33) Nueva Zelanda (49,57), 34)

Holanda (29,49), 35) Austria (49,49), 36) Tailandia (49,07), 37) Indonesia (48,94), 38) España (48,19), 39) Grecia (47,86), 40) Polonia (46,53), 41) China (45,84), 42) Bulgaria (45,35), 43) República Checa (45,13), 44) Hungría (44,00), 45) Argelia (43,16).

- Países con puntuación calificada como “Muy Baja”: 46) Argentina (41,21), 47) Turquía (41,02), 48) Sudáfrica (40,61), 49) Islandia (38,74), 50) Japón (35,76), 51) Canadá (33,98), 52) Malasia (32,61), 53) Rusia (29,85), 54) Taiwán (29,43), 55) Kazajistán (28,17), 56) Estados Unidos (25,86), 57) Australia (25,03), 58) República de Corea (25,01), 59) Irán (23,05), 60) Arabia Saudí (11,20).

## 6. Conclusiones

Los agentes económicos, a través de sus decisiones de producción y consumo, emiten gases de efecto invernadero que se van acumulando en la atmósfera y que originan el calentamiento global al atrapar calor. El calentamiento mantenido da lugar al cambio climático, que afecta a las personas, animales y plantas de diferentes maneras.

Casi el setenta por ciento de las emisiones de gases de efecto invernadero proceden del sector de la energía, en el que el noventa por ciento de dichas emisiones son de dióxido de carbono, que es con mucha diferencia el gas que más contribuye al calentamiento global, principalmente el que procede de la quema de combustibles fósiles y procesos industriales. La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, que era de 280 partes por millón (ppm) en la era preindustrial, pasó a ser de 379 ppm en el año 2005 y a 403 ppm en 2016.

Proyecciones de emisiones para diferentes escenarios llevan al cálculo de las correspondientes concentraciones, para las que existen estimaciones bastante precisas de incrementos de temperatura, que llevan aparejados los correspondientes riesgos.

Al menos desde el año 1990, tomado como referencia el Protocolo de Kioto, las trayectorias de emisiones de dióxido de carbono y de suministro total de energía primaria aparecen prácticamente superpuestas, habiendo aumentado a nivel global casi un sesenta por ciento entre los años 1990 y 2013. A nivel global, se están produciendo mejoras en la intensidad energéti-

ca (consumo energético/PIB) y en la intensidad del carbono (emisiones de CO<sub>2</sub>/PIB), ya que ambos indicadores han disminuido en torno al treinta por ciento entre 1990 y 2013.

El carbón representa el 28% del suministro total de energía primaria en el mundo en 2015, pero contribuye al 45% de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por el contrario, el grupo de energías que incluye nuclear, hidroeléctrica, geotérmica, solar, mareas, eólica, biomasa y residuos contribuye en un 19% al suministro total de energía primaria pero sólo representa el 1% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Las subvenciones a los combustibles fósiles en el mundo han ido disminuyendo en los últimos años, pero siguen siendo mucho mayores que las ayudas a las energías renovables. Así, según la Agencia Internacional de Energía, en el año 2016 las subvenciones a los combustibles fósiles se estimaron en 260.000 millones de dólares, casi el doble de las ayudas concedidas a las energías renovables.

Actualmente existen en el mundo 67 jurisdicciones sobre las que existe un precio al carbono (42 a nivel nacional y 25 a nivel subnacional), que representan alrededor de la mitad de la economía mundial. En ellas se han implementado 45 iniciativas, que consisten en 23 sistemas de comercio de emisiones y 22 impuestos al carbono. Estas iniciativas cubren el 15% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero<sup>13</sup>.

Los precios del carbono varían mucho de unas iniciativas a otras. En torno a las tres cuartas partes de las emisiones cubiertas por tales iniciativas tienen un precio menor que 10 dólares USA por tonelada de CO<sub>2</sub>-equivalente, el cual es considerablemente inferior al rango de niveles de precios consistentes con los objetivos fijados en los acuerdos de París (de 40 a 80 dólares USA para 2020, según la Comisión de Alto Nivel sobre Precios del Carbono).

Cualquier acción efectiva a la escala requerida para tratar de resolver el problema del cambio climático requiere un cambio generalizado a tecnologías nuevas o perfeccionadas en sectores clave como la generación de energía eléctrica, el transporte y el uso de energía. Las tecnologías bajas en carbono se benefician de un precio al carbono, pero no cabe esperar que

las tecnologías bajas en carbono actualmente inmaduras se fomenten sólo con ello, por lo que es necesario que el precio al carbono se complemente con políticas específicas para las tecnologías. Además, ya que algunas barreras a tales tecnologías afectan a sectores particulares, son necesarias políticas tecnológicas específicas para sectores.

El *Climate Change Performance Index*, desde el año 2005 evalúa y compara el desempeño en cuanto a protección climática de 56 países y la Unión Europea, que generan más del 90% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero. En el informe correspondiente a 2018, ya publicado en noviembre de 2017, se señala que ninguno de los 56 países ni la Unión Europea está en la senda adecuada, compatible con el objetivo de bajar de los 2°C el aumento de la temperatura, aunque hay señales que indican que tal situación podría cambiar para unos pocos países en los próximos años. Al igual que ocurría para 2017, se dejan desiertos los tres primeros lugares del ranking de países, ya que se considera que ningún país está en el grupo que merece una calificación "Muy alta". Los países que obtienen mayores puntuaciones son Suecia, Lituania y Marruecos, que ocupan los lugares 4, 5 y 6, respectivamente. En el informe se indica que hay signos alentadores de que una transición energética global está en curso, que el uso del carbón está disminuyendo en el mundo, que las inversiones en energías renovables continúan dominando las nuevas inversiones en el sistema energético mundial y que hay una reacción a nivel global, frente a los pasos que se están dando en la administración Trump, que está haciendo que otros países presenten un frente unido para mantener los objetivos del Acuerdo de París.

<sup>13</sup> En cuanto empiece a funcionar el mercado de emisiones nacional de China, previsto para finales de 2017, estarán cubiertas por las iniciativas entre el 20% y el 25% de las emisiones globales.



## Referencias bibliográficas

- Del Río, P. (2010). “Climate Change Policies and New Technologies”. En Cerdá, E. y Labandeira, X. (eds), *Climate Change Policies. Global Challenges and Future Prospects*. Edward Elgar, Cheltenham, UK, pp. 81-100.
- Del Río, P. y Cerdá, E. (2017). “The missing link: The influence of instruments and design features on the interactions between climate and renewable electricity policies”. *Energy Research & Social Science*, 33, pp. 49-58.
- High-Level Commission on Carbon Prices (2017). *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*. World Bank, Washington DC.
- IEA (2014). *World Energy Outlook 2014*. Executive Summary. International Energy Agency, Paris.
- IEA (2015). *World Energy Outlook 2015*. Executive Summary. International Energy Agency, Paris.
- IEA (2016). *World Energy Outlook 2016*. Executive Summary. International Energy Agency, Paris.
- IEA (2017a). *World Energy Outlook 2017*. Executive Summary. International Energy Agency, Paris.
- IEA (2017b). *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion 2017. Highlights*. International Energy Agency, Paris.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007. Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- IPCC (2014a). *Climate Change 2014. Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC (2014b). *Climate Change 2014. Mitigation of Climate Change*. Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, New York, 1435 pp.
- Oficina Española de Cambio Climático (2016). *Guía para el cálculo de la huella de carbono y para la elaboración de un plan de mejora de una organización*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España, Madrid.
- Skjaereth, J.B., Eikeland, P.O., Gulbrandsen, L.H. y Jevnaker, T. (2017). *Linking EU Climate and Energy Policies. Decision-making, Implementation and Reform*. Paperback edition. New Horizons in Environmental Politics. Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Stern, N. (2007). *The Economics of Climate Change. The Stern Review*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Stern, N. (2008). “The Economics of Climate Change”. Richard T. Ely Lecture. *American Economic Review: Papers & Proceedings*, 92:2, 1-37.
- Terceiro Lomba, J. (2008). *Economía del cambio climático*. 2ª edición. Santillana Ediciones Generales, Madrid.
- The Climate Change Performance Index (2016). *Results 2016*. Climate Action Network Europe and Germanwatch, Berlin.
- The Climate Change Performance Index (2018). *Results 2018*. Climate Action Network International, Germanwatch y New Climate Institute.
- Tol, R.S.J. (2014). *Climate Economics. Economic Analysis of Climate, Climate Change and Climate Policy*. Edward Elgar, Cheltenham, UK.
- Wagner, G. y Weitzman, M.L. (2015). *Climate Shock. The economic consequences of a hotter planet*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- World Bank, Ecofys and Vivid Economics (2017). *Carbon Pricing 2017*. World Bank, Washington DC.
- World Bank, Ecofys and Vivid Economics (2017). *State and Trends of Carbon Pricing 2017*. November. World Bank, Washington DC.

