



Ver en Anexo

Manual del profesor
Conceptos básicos Capítulo 2

Capítulo 2

Cambio climático y descarbonización

El clima global está cambiando, lo que entraña riesgos cada vez más graves para los ecosistemas, la salud humana y la economía. Entre ellos encontramos la subida del nivel del mar, las inundaciones, el aumento de los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías y las tormentas.

Todas estas variaciones climatológicas se generan por las grandes cantidades de gases de efecto invernadero (GEI) que se emiten a la atmósfera, la mayoría por actividades humanas en todo el planeta, sobre todo, por la quema de los combustibles fósiles que se utilizan para la obtención de electricidad, calefacción y como

no, el transporte. Esta emisión también genera contaminantes atmosféricos que dañan al medioambiente y a la salud humana.

Es el consumo de energía a escala mundial, el que representa, con mucha diferencia, la mayor parte de las emisiones de gases que participan en el efecto invernadero y que es fruto de las actividades humanas. Es un dato significativo que aproximadamente dos tercios de las emisiones de gases de efecto invernadero mundiales están relacionadas con la quema de combustibles fósiles que se usan para la calefacción, la obtención de electricidad, el mantenimiento del transporte y la industria.



Vídeo recomendado

¿Qué es el efecto invernadero?

<https://www.youtube.com/watch?v=YLFLxQ0t07A>

2.1 Cambio climático

El **cambio climático** se refiere a los cambios en el estado del clima que pueden identificarse a través de modificaciones en los valores promedio y/o en la variabilidad de sus propiedades. Estos cambios **persisten** durante periodos **largos de tiempo**, típicamente **décadas** o periodos más largos. Así, mientras que el **tiempo atmosférico** define las condiciones meteorológicas en el **corto plazo**, el **clima** corresponde a la descripción estadística del **tiempo atmosférico** durante periodos que pueden abarcar desde **meses** hasta **miles o millones de años**.

El **cambio climático** puede ser originado por **procesos naturales** internos o por forzamientos externos también naturales tales como la modulación en los ciclos solares o las **erupciones volcánicas**. También puede ser causado por cambios inducidos por **el hombre** de forma persistente en la composición de la atmósfera o en los usos del suelo.

Sin embargo, desde el **siglo XIX** las **actividades humanas** han sido el **principal motor** del cambio climático, debido principalmente a la **quema de combustibles fósiles** como el **carbón**, el **petróleo** y el **gas**.

La **quema de combustibles fósiles** genera emisiones de gases de efecto invernadero que actúan como una **manta** que envuelve a la Tierra, atrapando el calor del sol y elevando las temperaturas.

Algunos **ejemplos** de emisiones de gases de efecto invernadero que provocan el cambio climático son el **dióxido de carbono** y el **metano**. Estos proceden del uso de la gasolina para conducir un coche o del carbón para calentar un edificio, por ejemplo. El desmonte de tierras y bosques también puede liberar dióxido de carbono. Los vertederos de basura son una fuente importante de emisiones de metano por la descomposición de los residuos orgánicos. La energía, la industria, el transporte, los edificios, la agricultura y el uso del suelo se encuentran entre los principales emisores.

2.1.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI): Tipología y efectos

Los **gases de efecto invernadero** son aquellos que **provocan** que la radiación térmica emitida por la Tierra quede atrapada en la atmósfera, generando el denominado **efecto invernadero**.

Cuando este fenómeno se produce, una **parte** de la **radiación solar** que atraviesa la atmósfera y calienta la superficie terrestre se **absorbe** por las **moléculas de los GEI** y es **irradiado** en todas direcciones, produciendo un **calentamiento** de la **superficie de la Tierra** y de la **parte baja de la atmósfera**.

Si no fuese por el efecto invernadero la temperatura en promedio en la Tierra sería de **-18 °C**, lo que evidencia que la existencia de los **GEI** es necesaria para mantener un planeta



Vídeos recomendados

26 Formas de Luchar contra el Cambio Climático: <https://www.youtube.com/watch?v=wNQ5wvGmnEk>

habitable. El problema sucede cuando las cantidades de GEI en la atmósfera se exceden, provocando un sobre calentamiento de la Tierra que redundará en el cambio climático.

Tipología de gases de efecto invernadero (GEI)

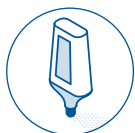
Una de las características de los GEI es que permanecen activos en la atmósfera durante varios años por lo que se les suele denominar gases de larga permanencia. Entre los principales gases de efecto invernadero se encuentran:

- **El dióxido de carbono (CO₂):** es un componente menor de la atmósfera (supone aproximadamente el 0,04%), pero es relevante desde el punto de vista climático puesto que es el principal gas de efecto invernadero antropogénico, contribuyendo a un 60% del

forzamiento radiativo¹. A pesar de su baja concentración, su influencia en las dinámicas atmosféricas es muy relevante ya que las moléculas son capaces de absorber e irradiar el calor saliente de la Tierra. Este es, sin duda, el GEI de larga permanencia que más está contribuyendo al cambio climático.

→ **Origen natural:** plantas en descomposición y materia animal, incendios forestales naturales y volcanes. El CO₂ es producto de procesos naturales tales como la respiración o las erupciones volcánicas.

→ **Origen antropogénico:** cambio en usos del suelo, quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) y deforestación, dado que se elimina vegetación y se reduce su absorción de CO₂. Los científicos atribuyen la mayor parte de la concentración de CO₂ a estas fuentes procedentes de la acción humana.



Organización Meteorológica Mundial (OMM)

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha presentado en el informe anual sobre los GEI que el aumento de los niveles de dióxido de carbono registrado entre 2020 y 2021 fue superior a la tasa media de incremento anual del último decenio. Además, las mediciones de la red de estaciones de la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG) de la OMM muestran que estos niveles han seguido creciendo en 2022 en todo el planeta. El dióxido de carbono (CO₂) es uno de los principales gases causantes del cambio climático. Por eso resultan tan preocupantes los datos del informe de la OMM sobre la concentración de este gas en la atmósfera. La cifra aportada por la OMM señala que la concentración de CO₂ es de 415,7 partes por millón, representando el 149% de los niveles preindustriales, que corresponden a las concentraciones existentes antes de que las actividades humanas empezaran a alterar el equilibrio natural de CO₂ en la atmósfera. Incluso, en 2015 la cifra era de 400 partes por millón, lo cual ya se consideraba alarmante.

¹ El forzamiento radiativo o forzamiento climático es la diferencia entre la insolación absorbida por la Tierra y la energía irradiada de vuelta al espacio.

• **El metano (CH_4):** es un hidrocarburo resultado también de procesos naturales y actividades humanas, entre las que se incluye la descomposición de residuos orgánicos en vertederos, la agricultura, así como la digestión de rumiantes o la gestión del estiércol en ganadería. En 100 años, una tonelada de metano podría calentar el globo 28 veces más que una tonelada de dióxido de carbono. La atmósfera tiene una concentración de metano de 1.774 partes por billón (ppb), sin embargo, hay 220 veces menos metano que dióxido de carbono en la atmósfera.



En el mar se encuentran en grandes cantidades los hidratos de metano, combinación congelada de metano y agua. Un cambio climático continuado en el tiempo podría provocar la liberación de esas reservas congeladas de metano a la atmósfera, agravando los efectos de los gases de efecto invernadero y provocando un calentamiento global sin precedentes.

• **El óxido nitroso (N_2O):** es el único óxido de nitrógeno (NO_x) que actúa como gas de efecto invernadero. El óxido nitroso es emitido por las bacterias del suelo. La agricultura y el uso de fertilizantes con base de nitrógeno, junto con el tratamiento de los residuos animales, aumentan la producción de óxidos nitrosos. Algunas industrias, como la del nailon, y la quema de combustible en motores de combustión interna también liberan óxido nitroso a la atmósfera.



El óxido nitroso tiene un efecto de calentamiento global unas 300 veces superior al CO_2 considerando un periodo de 100 años.

Asimismo, entre otros gases de invernadero encontramos los clorofluorocarbonos (CFC), cuyo uso se fue eliminando gradualmente a raíz del Protocolo de Montreal sobre sustancias que agotan la capa de ozono. Los clorofluorocarbonos son químicos no tóxicos, no inflamables que contienen átomos de carbono, cloro y flúor. Utilizados antes de su prohibición en aerosoles, refrigeradores, aires acondicionados, envoltorios de espuma de alimentos o extintores de incendios.

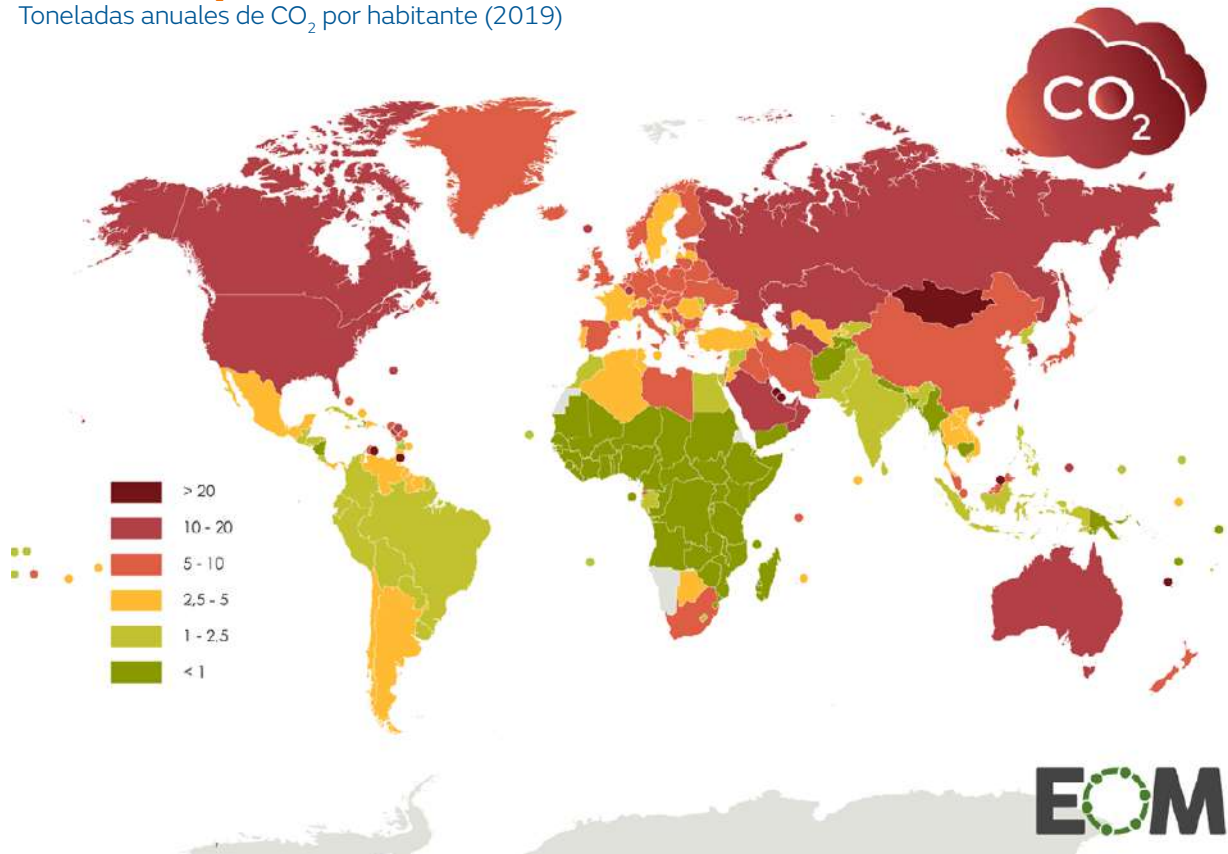
• **El dióxido de carbono equivalente (CO_2):** constituye una unidad normalizada que permite uniformar el efecto producido por los diferentes gases de efecto invernadero. Tomando como referencia el CO_2 . Indica el potencial de calentamiento de los diferentes gases de efecto invernadero. Se calcula multiplicando las emisiones de gas de efecto invernadero por su potencial calentamiento global referido a un plazo de tiempo específico. P. ejemplo, el metano tiene un potencial de calentamiento de 28. Esto significa que una tonelada de metano equivale a 28 toneladas equivalentes de CO_2 .

Radiografía de emisiones de GEI por países y sectores

Emisiones de GEI en el mundo

Emisiones de CO₂ per cápita

Toneladas anuales de CO₂ por habitante (2019)



Cartografía: Abel Gil Lobo (2021).
Fuente: Global Carbon Atlas (2021).

El mapa de los emisores de CO₂ per cápita muestra cómo la mayoría de los países en vías de desarrollo emiten menos de una tonelada de CO₂ por habitante y año, mientras que aquellos más “desarrollados” superan como mínimo las cinco toneladas anuales por persona. Se pueden observar excepciones, como Francia con sus menores índices de emisión debido a la energía nuclear con la que produce electricidad; o Costa Rica, que ha alcanzado un alto Índice de Desarrollo Humano mediante un modelo económico sostenible contrapuesto al del resto de países en desarrollo.

Esta radiografía contrasta con la distribución del riesgo que las consecuencias del cambio climático tendrán en los países en vías de desarrollo. En aquellos países donde las consecuencias serán más devastadoras, es donde sería necesario actuar con una mayor inversión y recursos para asegurar unas infraestructuras resilientes para la adaptación al cambio climático. Aunque estos países no han sido los responsables del estado de **emergencia climática** actual, sin embargo deben preparar sus infraestructuras para afrontar eventos extremos como la subida del nivel del mar, inundaciones, u otros efectos del cambio climático.

Conferencia de las Partes

En las COP que se han ido sucediendo, es un debate recurrente decidir quién debe pagar los daños causados por el cambio climático y, en particular, los desastres por casos de clima extremo que afectan a los países pobres que no son responsables del cambio climático. En este sentido, el éxito de la COP 27 se definirá por los avances en la financiación para el cambio climático y en la creación de un “fondo global de pérdidas y daños”.

Emisiones de GEI en Europa, evolución por países

La Unión Europea (UE) lidera a escala mundial la lucha contra el cambio climático por medio del diseño de políticas ambiciosas y una estrecha cooperación con socios internacionales. A lo largo de los últimos años, la UE ha evolucionado en políticas y planes de acción para cumplir con los objetivos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Con las miras en el 2030, se presentó un plan para reducir en al menos un 55% las emisiones, *Fit for 55 package*, y Europa aspira a convertirse en el primer continente climáticamente neutro del mundo para 2050.

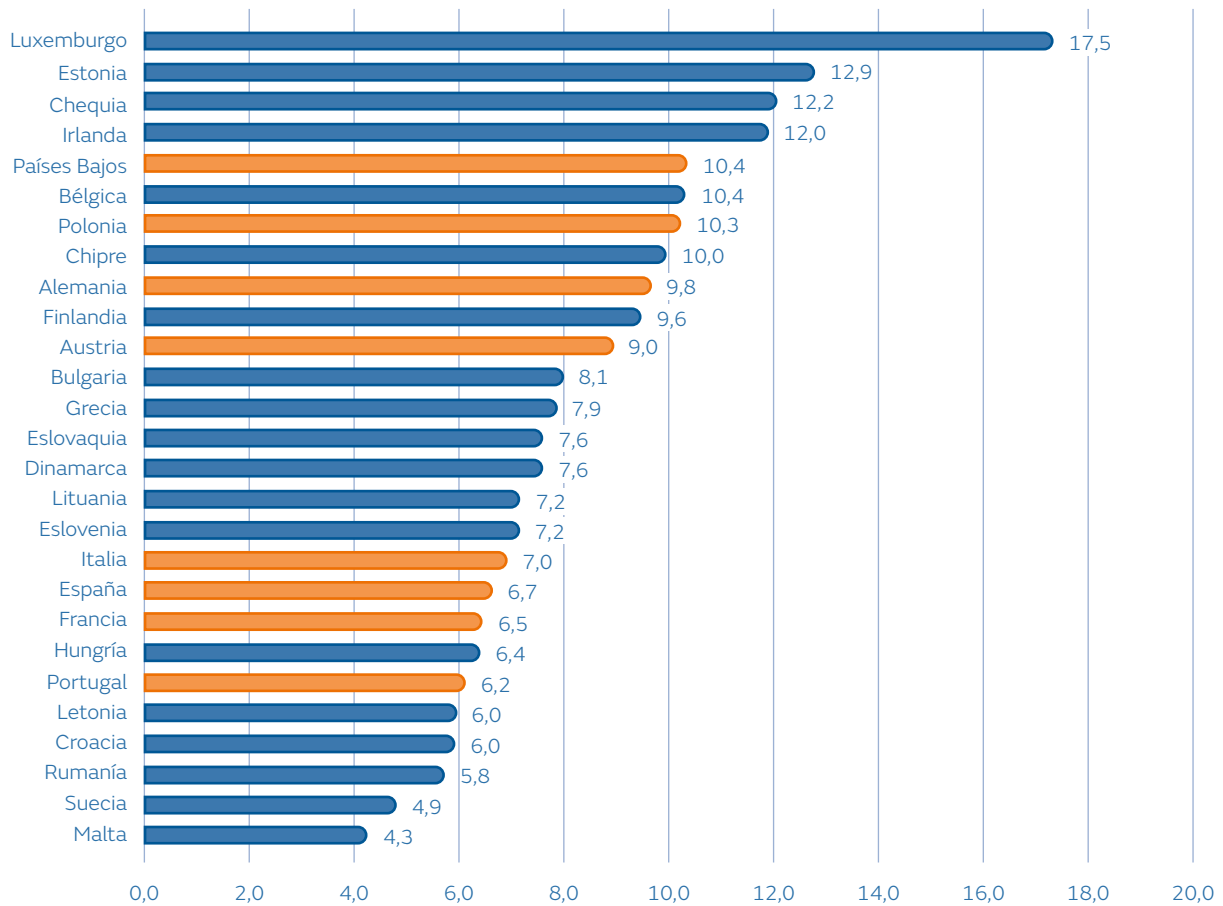
En el estudio **Evolución de las emisiones de gases efecto invernadero en España y comparativa en el contexto europeo** de la Fundación Naturgy², se presenta una comparativa del rol que los diferentes sectores económicos desempeñan en las emisiones de una selección de los países más relevantes de la UE. Los Países analizados representaron aproximadamente el 72,5% de las emisiones de gases de efecto Invernadero de la UE en 2019.

Al realizar un análisis de los volúmenes totales de emisiones de las diferentes economías en su distribución per cápita, se logra identificar dos grandes grupos entre los países europeos analizados:

- Aquellos países que presentan unas emisiones per cápita en el entorno de 10 t CO₂e/habitante: Países Bajos, Alemania, Polonia, Austria.
- Aquellos que se ubican aproximadamente en 6,5 t CO₂e/habitante: España, Italia, Francia, Portugal.

² A fecha de elaboración de este documento se encontraba ya disponible el informe de 2020. Sin embargo, los datos expuestos corresponden al periodo de 2019 ya que se consideran más representativos a la tendencia habitual sin la variación del factor del COVID-19.

Emisiones per cápita (t CO₂e/habitante) en 2019

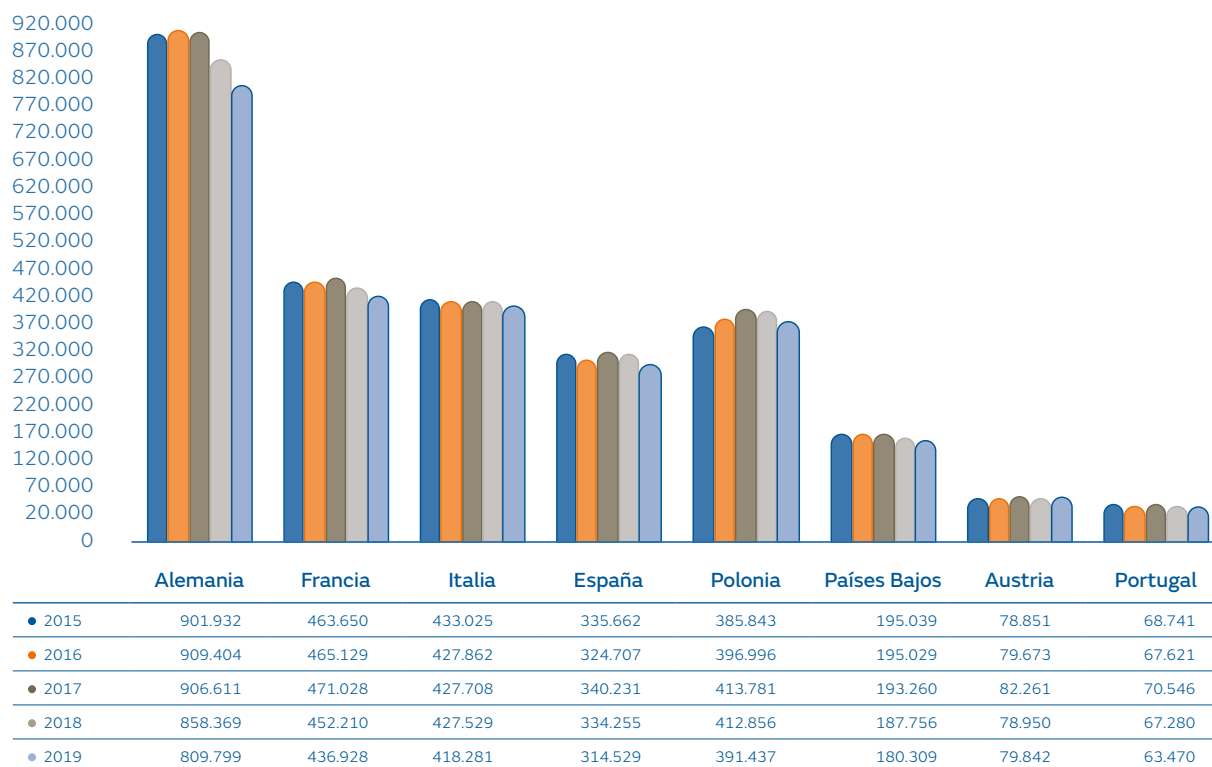


Fuente: Elaboración propia a partir de AEMA.

Analizando la evolución de las emisiones nacionales en el periodo 2015-2019, se observa cómo Alemania con una reducción de un 10,2% es el país con una mayor contracción en sus niveles de emisiones de GEI, seguido de

Portugal (7,7%), Países Bajos (7,6%), España (6,3%), Francia (5,8%) e Italia (3,4%). Por el contrario, Austria y Polonia presentan, en el periodo analizado, un ligero repunte de sus emisiones de aproximadamente 1,5%.

Evolución emisiones anuales GEI (kt CO₂e) en el periodo 2015-2019 (excluye LULUCF)

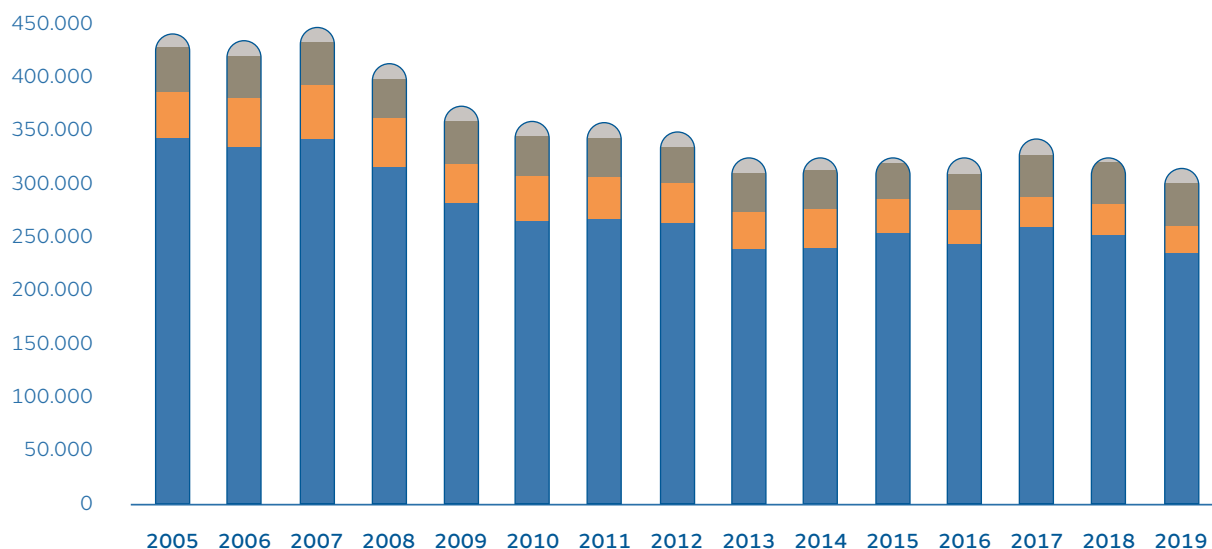


Fuente: Elaboración propia a partir de Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Emisiones de GEI en España, evolución por sectores y categorías

En el caso de España, ampliando el marco temporal al periodo comprendido entre 2005 y 2019, se puede observar una evolución de las emisiones en función de los sectores analizados en el Inventario nacional de emisiones.

Emisiones de GEI por sectores del Inventario (kt CO₂e) en el periodo 2005-2019 para España



	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
●	343.553	334.065	342.229	314.504	280.257	265.566	268.374	264.768	238.989	239.077	255.453	244.135	258.913	253.384	236.738
●	77,9%	77,0%	76,9%	76,4%	75,3%	74,2%	75,1%	75,5%	73,9%	73,3%	76,1%	75,2%	76,1%	75,8%	75,3%
●	44.082	47.105	48.805	45.947	39.170	40.300	37.393	35.743	34.600	36.421	30.760	31.816	28.247	27.756	26.110
●	10,0%	10,9%	11,0%	11,2%	10,5%	11,3%	10,5%	10,2%	10,7%	11,2%	9,2%	9,8%	8,3%	8,3%	8,3%
●	40.532	39.700	40.702	37.300	37.718	37.735	36.964	35.754	35.848	37.536	35.979	34.405	39.525	39.644	37.794
●	9,2%	9,1%	9,1%	9,1%	10,1%	10,6%	10,3%	10,2%	11,1%	11,5%	10,7%	10,6%	11,6%	11,9%	12,0%
●	12.870	13.136	13.422	13.653	14.962	14.076	14.614	14.407	14.003	13.087	13.471	14.351	13.546	13.471	13.887
●	2,9%	3,0%	3,0%	3,3%	4,0%	3,9%	4,1%	4,1%	4,3%	4,0%	4,0%	4,4%	4,0%	4,0%	4,4%

- Energía
- Procesos Industriales
- Agricultura
- Residuos

Fuente: Elaboración propia a partir de Inventarios Nacionales de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Este análisis revela una importante reducción de los niveles agregados de emisiones de GEI de la economía española, donde el volumen total de emisiones en 2019 supone una reducción del 28,6% respecto a los niveles de emisiones en 2005. Según la evolución por sectores se puede observar que:

- El sector Energía, el más importante en términos totales de emisiones, representa aproximadamente el 76% y ha visto reducida su contribución en 2019 en un 31% en relación a los niveles de 2005.

- Los procesos industriales (que representan aproximadamente el 10% de las emisiones entre 2005 y 2019) se han reducido en un 40%.
- Las emisiones del sector primario (en torno al 10%) han reducido sus emisiones en 2019 en un 7% respecto a 2005, siendo el sector residuos el único que ha incrementado su volumen de emisiones en algo menos de un 8%, si bien su importancia relativa es bastante reducida pues solo representa el 4% de las emisiones del periodo.

Principales sectores y actividades generadoras de GEI

Las emisiones de GEI descritas en el Inventario Nacional se desagregan en diferentes sectores, que cubren la práctica totalidad de la actividad económica española. La información relacionada con estos gases se agrupa en cinco grandes sectores conforme las indicaciones del IPCC: Energía; Procesos industriales; Agricultura; Uso de la tierra, cambios de uso de la tierra y silvicultura; Residuos.

A continuación, se describen aquellas actividades por sectores que presentan una mayor relevancia en el volumen total de emisiones según el estudio anteriormente citado.

Sector Energía. Se divide en dos grandes grupos de actividad:

- Emisiones fugitivas de los combustibles, que pueden ser intencionadamente liberadas a la atmósfera en actividades antropogénicas o no. La participación de las emisiones fugitivas en el cómputo global es muy minoritaria tanto dentro del propio sector Energía como en el total del Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero.
- Actividades de combustión, que representan el uso directo de combustibles para la obtención de energía. Estas actividades se dividen en varias subcategorías:
 - Industrias del sector energético, fundamentalmente de generación eléctrica y refino.
 - Industrias manufactureras y de la construcción, agrupando las emisiones producidas por los consumos energéticos de la industria y el sector de construcción.
 - Transporte, agrupando toda la tipología (aviación, marítimo, ferroviario y transporte por carretera, principalmente).
 - Otros sectores, con distribuciones proporcionales entre las emisiones asociadas a los consumos energéticos del sector Residencial, el sector Comercial y usos energéticos del sector primario.
 - Fuentes móviles no especificadas, cuya representatividad en las emisiones del sector es muy marginal (y no se contemplan en este Estudio).

Sector Industria. Las emisiones vinculadas a este sector se dividen en dos grupos:

- Emisiones de GEI por el uso de combustibles (incluidas en el sector Energía), en esta categoría, se incluyen todas aquellas emisiones producidas por la combustión de combustibles fósiles con fines energéticos en instalaciones estacionarias en la industria y en la construcción. Las actividades desagregadas de esta categoría son:
 - Hierro y acero.
 - Metales no ferrosos.
 - Productos químicos.
 - Pasta de papel, papel e impresión.
 - Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco.
 - Minerales no metálicos.
 - Otros.
- Emisiones de proceso, (incluidas en el sector Procesos industriales y Uso de Otros Productos): estas emisiones se incluyen en el sector del inventario denominado Procesos industriales y Uso de Otros Productos, y su importancia relativa varía en función de las características de las economías nacionales. La desagregación de la actividad industrial en función de sus emisiones de GEI incluye:
 - Industria minera.
 - Industria química.
 - Industria metalúrgica.
 - Productos no energéticos procedentes de combustibles y uso de disolventes.
 - Industria electrónica.
 - Usos de los productos como sustitutos de las SAO (sustancias que agotan la capa de ozono).
 - Fabricación y utilización de otros productos.
 - Otros.

Sector Agricultura y Ganadería. Las emisiones agrupadas en el sector engloban principalmente las siguientes actividades o fuentes generadoras de emisiones:

- Emisiones procedentes de la ganadería:
 - Fermentación entérica: recoge las emisiones de metano (CH_4) generadas en los procesos de fermentación entérica que ocurren en el sistema digestivo de ciertas especies animales.
 - Gestión del estiércol: recoge las emisiones de CH_4 producidas por el estiércol hasta su destino final. El valor de las emisiones depende de la cantidad de excreta y de su tipo de gestión.
- Emisiones procedentes de las prácticas agrícolas:
 - Cultivo de arroz, esencialmente vinculadas a la emisión de CH_4 , producida como consecuencia de las especificidades de su cultivo.
 - Suelos agrícolas, que comprenden todas las fuentes de nitrógeno que se aplican al suelo y que son emisoras de óxido nitroso (N_2O) por vía directa e indirecta (por deposición y lixiviación o escurrimiento).
 - Quema de residuos agrícolas en el campo.
 - Enmienda caliza: esta actividad contabiliza el dióxido de carbono (CO_2) que se libera tras la aplicación de carbonatos de calcio y magnesio a los suelos agrícolas para corregir la acidez.
 - Aplicación de urea: esta categoría contabiliza el dióxido de carbono (CO_2) que se libera tras la aplicación de urea (sintética) a los suelos agrícolas.
 - Otros fertilizantes que contienen carbono.

Sector Residuos. Las emisiones agrupan fundamentalmente las procedentes de las siguientes categorías o actividades:

- Depósito en vertederos de residuos sólidos gestionados y que constituyen el principal sistema de tratamiento de estos residuos en España. El único contaminante emitido en el marco de esta categoría es el CH_4 .
- Tratamiento biológico, bajo esta categoría se contemplan principalmente las emisiones ligadas a las actividades de compostaje y biometanización, dichas emisiones son principalmente CH_4 y N_2O .
- Incineración y quema en espacio abierto de residuos sólidos; en esta categoría incluyen las emisiones producidas durante la: incineración de lodos procedentes de la depuración de aguas residuales; de residuos municipales, sin valorización energética; o de residuos hospitalarios; la quema al aire libre de residuos agrícolas o residuos depositados en vertederos no gestionados.
- Tratamiento y eliminación de aguas residuales: en esta categoría se incluyen las plantas de tratamiento y eliminación de aguas residuales de origen doméstico e industrial. Este tipo de plantas son fuente de generación de CH_4 como consecuencia del propio proceso de depuración. Adicionalmente, la depuración de aguas residuales domésticas se considera una fuente indirecta de N_2O debido a la degradación de los componentes nitrogenados contenidos en el efluente que sale de las plantas de tratamiento.
- Otros: esta categoría se emplea fundamentalmente para la estimación de emisiones producidas por actividades tales como el extendido de lodos procedentes de la depuración de aguas residuales, o bien para la inclusión de potenciales incendios accidentales.



Fuentes consultadas para complementar y profundizar

Evolución de las emisiones de gases efecto invernadero en España y comparativa en el contexto europeo, Fundación Naturgy, 2022 <https://www.fundacionnaturgy.org/publicacion/evolucion-de-las-emisiones-de-gases-efecto-invernadero-en-espana-2005-2020/>

Informe de Inventario Nacional Gases de Efecto Invernadero, MITERD https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/es_nir_edicion2022_tcm30-523942.pdf

Boletín de la OMM sobre los Gases de Efecto Invernadero (2021), Organización Meteorológica Mundial https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11441

2.1.2 Principales hitos

El cambio climático se caracteriza por ser un problema de carácter global, exponencial y persistente.

Es global porque más allá de los primeros impactos ambientales, que afectan solo a áreas locales o regionales, el cambio climático afecta a todo el planeta. El carácter exponencial hace referencia a la rapidez con la que se está produciendo y desarrollando, en concordancia con la intensidad de las actividades humanas y las emisiones que producen.

Asimismo, se trata de un hecho persistente debido a que, aun poniendo remedio al problema hoy, los Gases de Efecto Invernadero (GEI) tardarán muchas décadas en desaparecer de la atmósfera.

En la recta final hacia 2030, expertos, medios de comunicación y dirigentes se refieren al actual contexto de cambio climático como emergencia climática, puesto que estamos a punto de cruzar un punto de no retorno, y es necesario realizar una acción coordinada entre todos los países a nivel mundial para evitar que se agrave aún más.

Las decisiones se basan en la ciencia: IPCC

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) es el órgano de Naciones Unidas encargado de evaluar los conocimientos científicos relativos al cambio climático. Fue creado en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA), con el fin de facilitar a los responsables de las políticas, evaluaciones periódicas integrales sobre el cambio climático, sus causas, impactos, futuros riesgos, estrategias de respuesta, y opciones de adaptación y mitigación.

De acuerdo con el informe IPCC Special Report del 2021, el calentamiento en el sistema climático es inequívoco, y desde la década de 1950 muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en un periodo de decenios a milenios.

Según el informe, para limitar el calentamiento a 1,5°C se necesitaría reducir las emisiones globales en un 45% antes de 2030 y eliminar 1.000 GtCO₂ de la atmósfera antes de 2.100, mediante sumideros terrestres de carbono, bioenergía acoplada con la captura y almacenamiento de carbono, y captura directa desde el aire. El IPCC señala que no se

ha hecho nada en esta escala hasta la fecha, y se requerirá innovación y un compromiso excepcional. Incluso si lo logramos, los riesgos relacionados con el clima para el crecimiento, los medios de vida, la salud, la seguridad alimentaria y el suministro de agua aumentarán comparado con los que experimentamos ahora. Pero si no logramos limitar el calentamiento a 1,5°C, incluso si solo alcanzamos los 2°C:

- La disminución en las pesquerías marinas con 2°C de calentamiento será el doble de la que experimentaremos con 1,5°C.
- Las cosechas de maíz caerán más del doble.
- Se reducirá tres veces más la distribución geográfica de los insectos, incluida la de los polinizadores.
- El nivel del mar aumentará otros 5 cm, y así otros 10 millones de personas estarán en una situación de riesgo.
- El número de personas que experimentan calor extremo con un calentamiento de 2°C será el doble que, con un aumento de 1,5°C.

Pandemias como la pasada crisis de la Covid-19 continuarán surgiendo con más frecuencia y tendrán un impacto mayor en sistemas sociales y económicos que ya son frágiles.

Según su sexto informe publicado en 2021, el cambio climático ha reducido ya la producción de alimentos y estiman que los cultivos agrícolas en el Mediterráneo podrían descender un 17% en 2050. Casi la mitad de la población mundial, entre 3.300 y 3.600 millones de personas viven en contextos altamente vulnerables al cambio climático y España aparece como uno de los países de más riesgo.

Diálogos para la firma de acuerdos globales

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

La CMNUCC entró en vigor el 21 de marzo de 1994, aprobada en la **Cumbre de la Tierra de Río de 1992**, desde entonces, cuenta con una

membresía casi universal. Los 197 países junto con la UE³ que han ratificado la Convención se denominan Partes de la Convención. Tiene el objetivo final de prevenir la interferencia humana “peligrosa” en el sistema climático.

La Convención reconoce la existencia del problema del cambio climático, y establece un objetivo último: lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera con el fin de impedir interferencias antropogénicas (causadas por el ser humano) peligrosas en el sistema climático. Además, indica que ese nivel debe lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible.

Para que la aplicación de la Convención sea efectiva, se elaboran decisiones que han de ser aprobadas por todos los países por unanimidad y que desarrollan los diferentes artículos de dicha Convención. Estas decisiones se discuten y aprueban en las Conferencias de las Partes, conocidas como COPs, en las que cuentan con los datos aportados por el **panel de expertos del IPCC**.

A lo largo de las sucesivas Conferencias de las Partes (COP) se han ido introduciendo nuevos elementos en la arquitectura internacional de las negociaciones sobre el cambio climático. Dichos elementos permiten afrontar retos concretos como la financiación de la **mitigación** (medidas para reducir las emisiones de GEI) y la **adaptación al cambio climático** (medidas para aumentar la resiliencia frente al cambio del clima de los sistemas humanos y naturales) o la **transferencia tecnológica**. Entre los acontecimientos más destacados de estas conferencias, cabe destacar el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París.

Asimismo, entre las cumbres acontecidas en los últimos años cabe destacar la COP 25 organizada en Madrid, pocos meses antes de la entrada en escena del coronavirus, que debió haberse celebrado en Chile. La “Cumbre de

³ 198 partes: 197 países y una organización de integración regional – la UE- la han ratificado.

Madrid” fue realizada en un momento en el que se contó con una mayor concienciación social y repercusión mediática (Greta Thunberg y emergencia climática). Se llegó a un acuerdo, denominado “Chile-Madrid Tiempo de Actuar,” que postergó para la COP 26 la presentación de planes «más ambiciosos» de reducción de emisiones de carbono.

A continuación, se analizan los principales acuerdos alcanzados en las COPs:

• COP 3 - Protocolo de Kioto

Tres años después de que la Convención fuese aprobada, el IPCC publicaba su Segundo Informe de Evaluación. Dicho informe concluía que el clima ya había comenzado a cambiar a causa de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En respuesta a este informe, en 1997 los gobiernos acordaron incorporar una norma específica y relevante de desarrollo de la Convención conocida con el nombre de Protocolo de Kioto (COP 3, diciembre de 1997) que adopta medidas más enérgicas, en particular, compromisos jurídicamente vinculantes de reducción o limitación de emisiones.

El Protocolo de Kioto puede ser definido por tanto como la puesta en práctica de la CMNUCC, siendo el primer compromiso a nivel global para poner freno a las emisiones responsables del calentamiento global. Además, sentó las bases para futuros acuerdos internacionales sobre cambio climático. El Protocolo de Kioto, que entró en vigor en febrero de 2005 y ha estado en vigor hasta el 31 de diciembre de 2020, establece que las emisiones de GEI de los países industrializados deberían reducirse al menos un 5% por debajo de los niveles de 1990 en el período 2008-2012, conocido como primer periodo de compromiso del Protocolo de Kioto.

En la cumbre de Doha de 2012 (COP 18/COP-MOP 8), se acordó dar continuidad al marco jurídico del Protocolo de Kioto a través de la adopción de las enmiendas necesarias para hacer posible su continuidad con un segundo periodo de compromiso a partir del 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020.

• COP 21 - Acuerdo de París

Herederio, continuador y reformador del esquema de gobernanza establecido en el Protocolo de Kioto, el Acuerdo de París,



Ver en Anexo

Manual del profesor para
[más acontecimientos y acuerdos en las COPs](#)



Vídeos recomendados

El protocolo de Kioto

<https://www.youtube.com/watch?v=ly-LN6Neumw>

El Acuerdo de París

<https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>

adoptado en el marco de la COP 21 (París, 30 de noviembre a 12 de diciembre de 2015), consagra la continuación del marco regulatorio mundial en materia de cambio climático de forma exclusiva a partir del año 2021, dentro del ámbito de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Aprobado por las 198 Partes (197 países y la UE) de la Convención, crea un sistema de continuidad a partir del Protocolo de Kioto. El Acuerdo es mucho más amplio en su contenido y desarrollo que el Protocolo, ya que:

- Establece que los esfuerzos de reducción o limitación de emisiones son de todos los países, bajo el principio de “responsabilidades compartidas pero diferenciadas”.
- Contiene disposiciones específicas sobre adaptación al cambio climático, financiación internacional y metas a largo plazo, sin que se establezca una fecha final de validez del Acuerdo. Dispone que todos los países de la Convención deben presentar periódicamente un plan nacional que contenga las medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, conocido como **Informe Nacional de Contribuciones (NDC)**. 187 países ya lo presentaron (95% de los 196 de la Convención).
- Vincula los esfuerzos de reducción de emisiones a los dictámenes científicos periódicos del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), con el compromiso de limitar el aumento de la temperatura media del planeta por debajo de 2°C, preferiblemente de 1,5°C.



Contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC)

Las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC por sus siglas en inglés) son los Planes Climáticos requeridos a cada país, conforme a las pautas establecidas en el Acuerdo de París, que recogen sus esfuerzos para reducir las emisiones nacionales y adaptarse a los efectos del cambio climático. El Acuerdo requiere que cada Parte prepare, comunique y mantenga los sucesivos NDCs que se proponga lograr.

Características

- **Universales:** Todos los países tienen que preparar, comunicar y mantener sus contribuciones.
- **Nacionales:** Cada país es autónomo en determinar cuál va a ser su contribución y cómo la va a implementar nacionalmente.
- **Integrales:** Los países deben entregar un mínimo de información para poder determinar la suma de esfuerzos.
- **Ambiciosas:** Los NDCs se presentan cada cinco años a la secretaría de la CMNUCC, independientemente de sus respectivos plazos de aplicación, debiendo aumentar la ambición de las metas de reducción con cada presentación.

El futuro de los acuerdos internacionales

En el inicio del desarrollo de las COP consenso (de la COP 1 a la COP 21) se estuvo trabajando en la fase de negociación para llegar a un consenso, dando como resultado el Acuerdo de París. Una vez alcanzado ese acuerdo, en las siguientes COPs (de la COP 21 a la COP 25) se ha estado trabajando en los procedimientos para poner en práctica los compromisos suscritos en el Acuerdo de París.

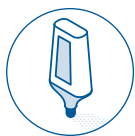
En las últimas Conferencias sucedidas, la COP 25 en Madrid (2019) o la COP 26 en Glasgow (2021), se evidenció la dificultad de llegar a un consenso global entre países, dejando a un lado los intereses nacionales para alcanzar un bien común. La COP 25 estuvo marcada, entre otros asuntos, por una falta de acuerdo respecto a la regulación de los futuros mercados de emisiones de carbono, y el acuerdo, denominado “Chile-Madrid Tiempo de Actuar,” que postergó para la COP 26 la presentación de planes «más ambiciosos» de reducción de emisiones de carbono.

La COP 26 celebrada en Glasgow en 2021 reunió a 120 líderes mundiales y más de 40.000 participantes inscritos, entre los que se incluían 22.274 delegados de las partes, 14.124 observadores y 3.886 representantes de los medios. Entre las principales conclusiones cabe destacar:

- **Reconocimiento de la emergencia.** El texto afirma la necesidad de mantener la temperatura media global por debajo del 1,5°C indicado por la ciencia, y reconoce que los Planes Climáticos (NDCs, por sus siglas

en inglés) presentados por los países para 2030 son insuficientes y nos abocarían a un aumento de emisiones +13,7% en lugar de una reducción de -45%, que la ciencia estima necesario para no superar el 1,5°C. El texto final también insta a los países a mejorar dichos planes y a evaluarlos de nuevo conjuntamente el próximo año.

- **Eliminación del carbón y los subsidios a los combustibles fósiles.** Se menciona por primera vez en la historia, en el texto final de una COP, la necesidad de eliminar el carbón y los subsidios a los combustibles fósiles. Sin embargo, en los últimos borradores ha acabado debilitándose el compromiso y cambiándose la palabra por “reducir” en vez de eliminar.
- **Energías renovables, apoyo a los países más vulnerables y transición justa.** Se reconoció la necesidad de incrementar las inversiones en energías limpias y la necesidad de una transición justa. Se admitió que no se ha cumplido la promesa de transferir 100.000 millones de dólares anuales a partir de 2020 a los países más vulnerables, y se hizo un llamamiento para que se alcance cuanto antes y se duplique su contribución para el fondo de adaptación.
- **Soluciones basadas en la naturaleza.** El texto final reconoce el papel fundamental de la naturaleza y los ecosistemas en el logro de la meta de 1,5°C, anima a los gobiernos a incorporar la naturaleza en sus planes climáticos nacionales y establece un diálogo anual sobre los océanos para la mitigación basada en estos ecosistemas.



Las finanzas son un tema clave, ya que los países en desarrollo necesitan confiar en que van a poder disponer de los recursos necesarios para desarrollarse sin contribuir al cambio climático y que podrán implantar mecanismos para adaptarse a sus impactos.

La evolución de los países “desarrollados” ha estado supeditada durante años al consumo de combustibles fósiles (ferrocarril y energía del carbón, vehículos, petróleo, etc.) por tratarse de la energía disponible en ese momento. Actualmente, los países en vías de desarrollo deben asumir el desafío de la adaptación al cambio climático, sin embargo, deberían contar con el apoyo de los países desarrollados en este reto, como establece el Acuerdo de París.

En este sentido, la COP 27 reunida en Sharm-El Sheik, Egipto, cerró con un acuerdo decisivo para proporcionar financiación por pérdidas y daños a los países más vulnerables claramente afectados por los desastres climáticos. La creación de este fondo específico para pérdidas y daños supone un importante avance al añadirse a la agenda oficial y adoptarse por primera vez en una COP.

También, se produjeron avances significativos en materia de adaptación. De esta manera, los gobiernos acordaron la forma de avanzar en el Objetivo Mundial de Adaptación, que concluirá en la COP28 y servirá de base para la primera Evaluación Global, mejorando la resiliencia entre los más vulnerables. Por otro lado, en la COP27 se hicieron nuevas promesas de contribuciones al Fondo de Adaptación, por más de 230 millones de dólares.



Más información

sobre este tema en el apartado
[4.5 Oportunidades de la biodiversidad para la actividad empresarial](#)



Vídeos recomendados

¿Qué se puede concluir de la COP27, tras dos semanas de debates y negociaciones?

<https://www.youtube.com/watch?v=XWY9o1t2CeY>

Leve avance en la COP 27 <https://www.youtube.com/watch?v=jXZTvxt3yl>

Una hoja de ruta para el objetivo 1,5°C

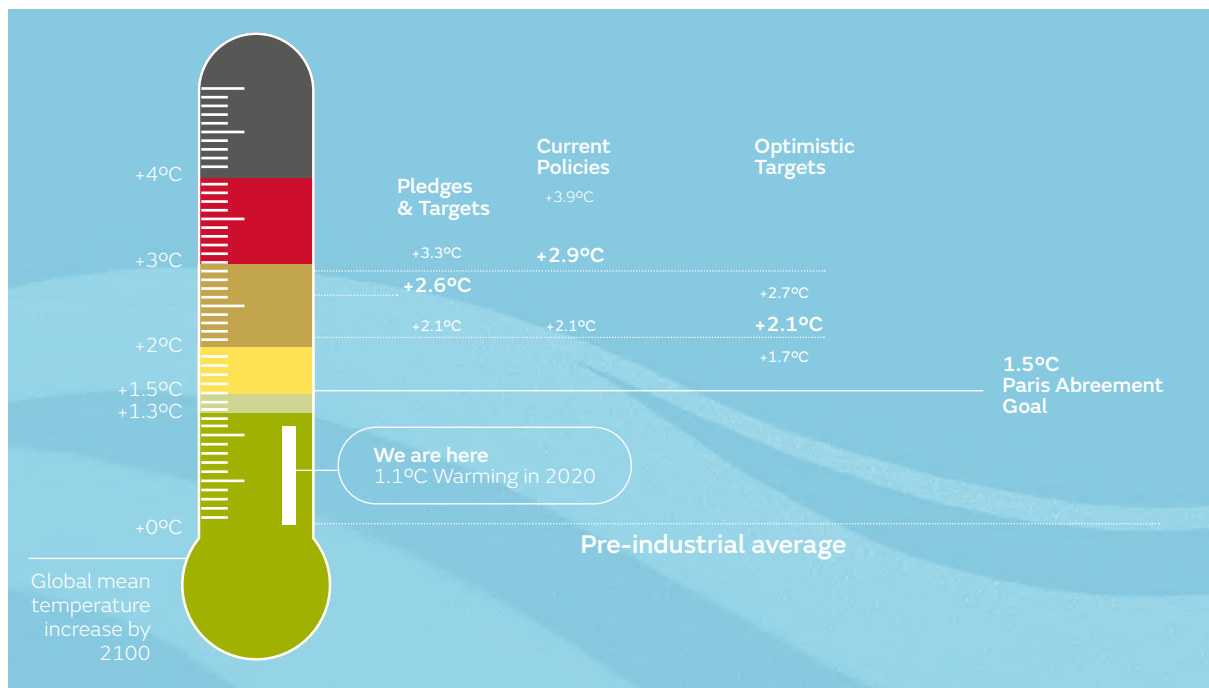
El mundo va camino de un aumento de las temperaturas de aproximadamente 3°C, en relación con los niveles preindustriales, mucho más allá del objetivo del Acuerdo Climático de París de limitar el aumento de la temperatura global por debajo de 2°C, preferiblemente 1,5°C, para el fin de siglo.

Sumando las NDC que hacen todos los países, la reducción de emisiones es insuficiente para limitar el aumento de temperatura por debajo de 2°C, lo que pone de manifiesto la necesidad de aumentar la ambición en los objetivos y ser rigurosos en su cumplimiento. Una necesidad que se ha recalcado por los expertos en diversos informes, y se ha puesto de manifiesto en las COPs que continúan sucediéndose sin lograr compromisos vinculantes por los países más contaminantes.

El informe **Unidos en la ciencia de 2022**, realizado entre varias agencias y coordinado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), ofrece una descripción general de la ciencia más reciente relacionada con el cambio climático, sus impactos y respuestas. La ciencia es clara: se necesitan medidas urgentes para mitigar las emisiones y adaptarse al clima cambiante.

Según este informe, las concentraciones de gases de efecto invernadero siguen aumentando hasta niveles récord; las tasas de emisión de combustibles fósiles ahora están por encima de los niveles previos a la pandemia; y la ambición de los compromisos de reducción de emisiones para 2030 debe ser siete veces mayor para estar en línea con el objetivo de 1,5°C del Acuerdo de París.

Temperature increases relative to pre-industrial average



Fuente: Mark Carney, former Bank of Canada and Bank of England Governor. 2015 Paris Climate Accord.

La solución, no buscando ya revertir la tendencia actual sino al menos mitigar sus efectos, consistirá en aumentar la ambición en los objetivos por parte de los países y ser rigurosos en su cumplimiento. Para ello, resultará clave que en las próximas COPs los

países, en especial los mayores contaminantes, establezcan compromisos concretos en torno a temas críticos como el uso de combustibles fósiles y que aumenten la ambición de los compromisos de reducción de emisiones GEI en su Informe Nacional de Contribuciones (NDC).



Fuentes consultadas para complementar y profundizar

Información sobre COPs y acuerdos internacionales en materia climática, United Nations Treaty Collection 7. d Paris Agreement https://treaties.un.org/Pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-7-d&chapter=27&clang=en

Acuerdo de París sobre el Cambio Climático, Consejo de la Unión Europea (2022) <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/climate-change/paris-agreement/>

Principales elementos del Acuerdo de París, MITECO <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.aspx>

(continúa)



Fuentes consultadas para complementar y profundizar

Carta de la Tierra web oficial <https://cartadelatierra.org/sobre-nosotros/>

COP 25: 3 claves del polémico nuevo acuerdo por el clima (y por qué dicen que fracasó), BBC (2019) <https://www.bbc.com/mundo/noticias-internacional-50800493>

COP 26: Juntos por el planeta, Naciones Unidas (2021) <https://www.un.org/es/climatechange/cop26>

El Pacto de Glasgow para el clima - Principales resultados de la COP26, Naciones Unidas (2021) <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-pacto-de-glasgow-para-el-clima-principales-resultados-de-la-cop26>

Decepcionante resultado de la COP 26 aunque se mantiene vivo el objetivo de 1,5°C, WWF <https://www.wwf.es/informate/actualidad/?59140/Decepcionante-resultado-de-la-COP26-aunque-se-mantiene-vivo-el-objetivo-de-15C>

Pacto Verde Europeo, Consejo de la Unión Europea (2022) <https://www.consilium.europa.eu/es/policies/green-deal/>

Informes y publicaciones técnicas en material climática

Nuevo informe del IPCC: Las pérdidas de cosechas por la sequía y el calor extremo se han triplicado en Europa en los últimos 50 años, El Mundo (2022) <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2022/02/28/621bc81ae4d4d8eb228b45ab.html>

El IPCC y el sexto ciclo de evaluación https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/10/2020-AC6_es.pdf

Publicada la primera entrega del Sexto Informe de Evaluación del IPCC, MITECO (2021) <https://www.miteco.gob.es/en/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/primera-entrega-sexto-informe-ipcc.aspx>

Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, IPCC (2022) <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>

Archivo IPCC en español https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml

Cambio climático: del dicho al hecho (y ya es urgente hacer), 21gramos (2021) <https://21gramos.net/cambio-climatico-del-dicho-al-hecho-y-ya-es-urgente-hacer/>

(continúa)



Fuentes consultadas para complementar y profundizar

Información específica sobre reducción y compensación de emisiones de GEI

El comercio de derechos de emisión en la Unión Europea <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/comercio-de-derechos-de-emision/>

Qué son las NDCs e importancia para frenar el cambio climático. Sostenibilidad https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/que-son-ndcs-importantes-frenar-cambio-climatico/?_adin=0896444253

Contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC), CMNUCC <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/contribuciones-determinadas-a-nivel-nacional-ndc>

Fuentes relacionadas con la regulación nacional en materia de cambio climático

Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, MITECO (2020) <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>

Claves de la nueva Ley de Cambio Climático y Transición Energética, Pacto Mundial (2021) <https://www.pactomundial.org/noticia/claves-de-la-nueva-ley-de-cambio-climatico-y-transicion-energetica/>

Ley 7/2021, de 20 de mayo, de cambio climático y transición energética, BOE (2021) <https://www.boe.es/eli/es/l/2021/05/20/7>

2.2 Objetivo: descarbonización de la economía

En el objetivo de lograr un modelo económico y social que asegure el equilibrio del planeta, es necesario realizar una desvinculación entre actividad económica, bienestar humano y el uso de los recursos naturales y los impactos ambientales.

Para ello, es necesario analizar el modelo actual económico y los comportamientos sociodemográficos desde una perspectiva de interdependencia. En este análisis resulta imprescindible evaluar los impactos

ambientales para fijar objetivos en relación a su impacto ambiental, para lo que se cuenta con metodologías como la identidad de Kaya o la huella de carbono.

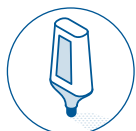
Identidad de Kaya

La identidad de Kaya es una expresión matemática desarrollada por el economista japonés Yoichi Kaya en 1993 en su libro ***Environment, Energy, and Economy: strategies for sustainability*** (medioambiente, energía y economía: estrategias para la sostenibilidad).

Esta expresión matemática permite visualizar un enfoque global de las emisiones de CO₂ relacionadas con las actividades humanas, integrando cuatro factores que determinan la tendencia actual:

- Emisiones globales de dióxido de carbono, en CO₂.
- Consumo global de energía primaria, en TEP (Tonelada Equivalente de Petróleo).

- PIB, en dólares (\$).
- Población mundial, en miles de millones.



$$\text{CO}_2 = \text{Población} \times [\text{PIB} / \text{Población}] \times [\text{Energía} / \text{PIB}] \times [\text{CO}_2 / \text{Energía}]$$

Intensidad
energética

Intensidad de
carbono del mix
energético global

- **Energía/PIB: representa la intensidad energética**, la cantidad de energía utilizada (en kWh) necesaria para crear una unidad monetaria, es decir, para fabricar un producto o servicio. Esto pretende animarnos a racionalizar nuestro uso de la energía.
- **CO₂/energía: es la intensidad de carbono del mix energético global**. Esta relación exige una reducción de las emisiones de CO₂ en la producción de energía, en particular mediante el fomento de las energías bajas en carbono, como es el caso de las energías renovables.

La identidad de Kaya define **dos objetivos** a nivel global:

- Una ganancia en la **eficiencia de carbono** de nuestra producción de energía.
- Un aumento de la **eficiencia energética** de nuestra producción.

Para limitar el aumento del nivel medio de la temperatura de la superficie de la Tierra y evitar un calentamiento global de más de 1,5°C en comparación con los niveles preindustriales de aquí a 2050, parece necesario dividir las emisiones de CO₂ por 3 de aquí a 2050 a escala mundial.

Para lograr esta reducción de CO₂, teniendo en cuenta el aumento de la población y del nivel de vida, supone una decisión global muy

rápida a favor de la eficiencia energética y la descarbonización del mix energético. La solución obvia a este cálculo es, por lo tanto, avanzar hacia las emisiones cero de CO₂ lo antes posible.

Esta solución se encuentra reflejada en el objetivo de “Net Zero” de las Naciones Unidas, el cual indica que, para mantener el calentamiento global por debajo de 1,5 °C, tal como se exigió en el Acuerdo de París, es necesario que las emisiones se reduzcan alrededor del 45 % para 2030 y que se alcance el cero neto hacia 2050. Asimismo, España aprobó en 2020 la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, la cual permitirá reducir un 90% las emisiones de GEI a 2050 con respecto a 1990, mientras que el 10% restante será absorbido por los sumideros de carbono.

Esta expresión matemática enlaza con la noción de desarrollo sostenible al ilustrar la urgencia de tomar medidas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera.

Para la realización de esta evaluación, resulta necesario llevar a cabo mediciones y cálculos como es la huella de carbono para poder determinar qué es lo que, en nuestros hábitos de producción, consumo y desechos, tiene un impacto negativo en el medioambiente y limitarlo.

Huella de carbono

La huella de carbono es una métrica ambiental que calcula la totalidad de las emisiones de GEI generadas, directa e indirectamente, por una persona, un grupo, una organización, empresa o incluso un producto o servicio. Su medición se realiza en cantidades de CO₂ equivalente (CO₂e o CO₂eq).⁴

La importancia de conocer la huella de carbono radica en la posibilidad de establecer planes de sostenibilidad con objetivos de reducción tanto a nivel empresarial como a nivel local, regional o internacional, como lo fue el Acuerdo de París.

Si bien no existe una única medición de la huella de carbono, sí existen enfoques específicos para aproximarse a su cálculo. Las seis perspectivas principales siguen metodologías y normas internacionales (como el GHG protocol⁵):

- **Corporativa:** se mide la huella de carbono de una organización, generalmente por un año, para determinar los objetivos de reducción

de emisiones GEI, realizar seguimiento del desempeño climático y posteriormente realizar informes.

- **Ciclo de vida de un producto o servicio:** se miden las emisiones de GEI de mercancías o servicios en toda su cadena de producción, desde la materia prima hasta el consumo y destino final de los desechos.
- **En eventos:** se contabiliza la huella de carbono durante la planificación y realización de algún evento (desde el uso de energía y transporte hasta la preparación de alimentos o la papelería).
- **Territorial:** se miden las emisiones de GEI en un área específica, limitada geográfica o políticamente. Funciona para determinar el impacto global del cambio climático en un área y emprender planes de mitigación.
- **Por industria:** evalúa la huella de carbono de un sector productivo particular. Esto representa la oportunidad de optimizar recursos y el uso de energía y de materias primas, lo que ofrece ventajas competitivas y un impacto ambiental más controlado.
- **Personal:** aquí se evalúan las emisiones de GEI directas e indirectas de un individuo en un lapso específico. Se requiere conocer los hábitos de consumo y posesiones de una persona para calcularlo.

Aunque cada enfoque de evaluación de la huella de carbono tiene objetivos específicos, todos comparten la implementación de medidas para reducir las emisiones de GEI.

⁴ Los gases de efecto invernadero distintos del dióxido de carbono (metano, óxido nitroso, hidrofluorocarburos, etc.) son convertidos a su valor equivalente en dióxido de carbono, multiplicando la masa del gas en cuestión por su Potencial de calentamiento global (GWP).

⁵ Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol) es un estándar de contabilidad de gases de efecto invernadero reconocido a nivel mundial.



Método de cálculo

La huella de carbono que genera cada fuente de emisión es el resultado del producto del dato de consumo (dato de actividad) por su correspondiente factor de emisión:

$$\text{Huella de carbono} = \text{Dato de Actividad} \times \text{Factor de Emisión}$$

Dato Actividad: es el parámetro que define el nivel de la actividad generadora de las emisiones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, cantidad de gas natural utilizado en la calefacción (kWh de gas natural).

Factor de Emisión: es la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por cada unidad del parámetro “dato de actividad”. Por ejemplo, para el gas natural, el factor de emisión sería 0,202 kg CO₂ eq/kWh de gas natural.

En base a esta fórmula, existen varias metodologías para el cálculo de la huella de carbono (UNE-ISO 14064, GHG Protocol, etc.).

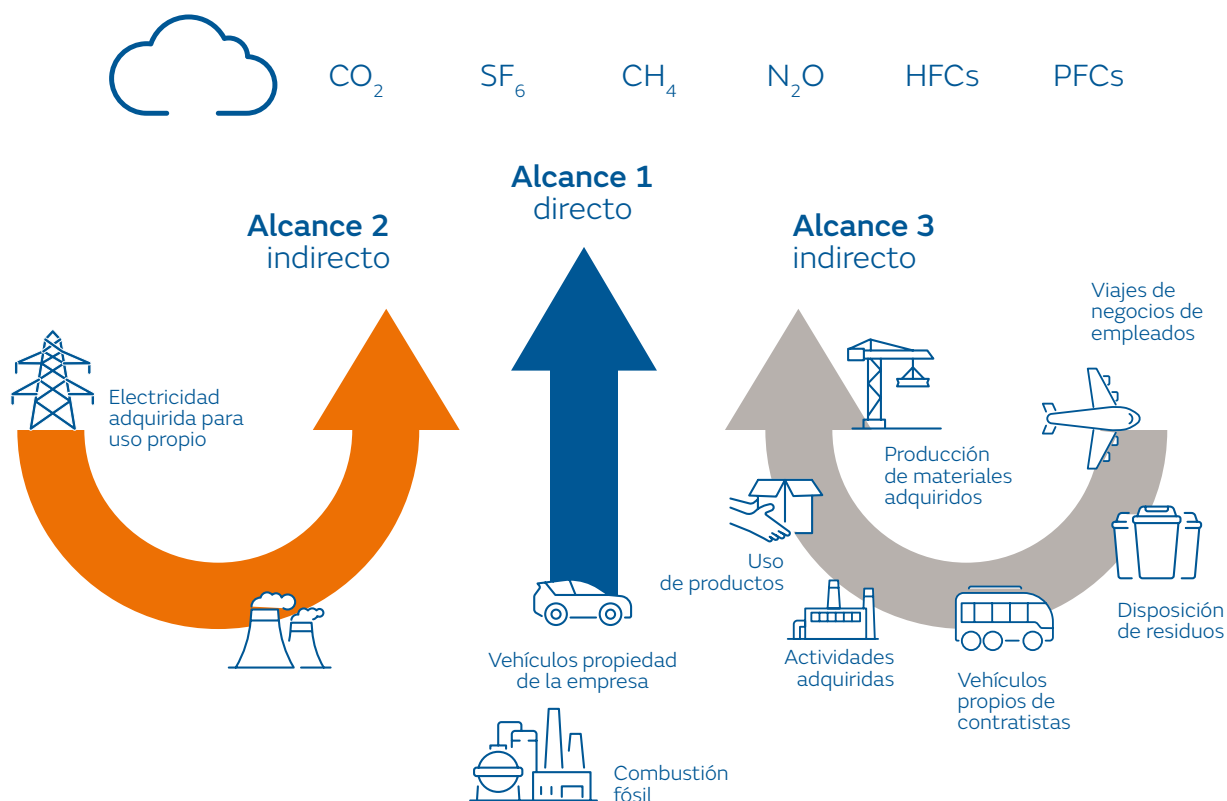
Enfoque a organizaciones o corporativo

Tomando como base el GHG Protocol para el cálculo de la huella de carbono, una de las cuestiones fundamentales a tener en cuenta es definir el alcance. En este sentido, distinguimos 3 alcances:

- **Alcance 1:** consiste en las emisiones directas. Es decir, en el caso de una empresa, las emisiones generadas por aquellas fuentes de emisión o actividades propias de la misma. Por ejemplo, en el caso de un gimnasio o restaurante, esto se concretaría en las

emisiones debidas a la calefacción y a los vehículos en propiedad (o sobre los que ejerza el control).

- **Alcance 2:** son las emisiones indirectas derivadas de la generación de electricidad consumida y comprada por la empresa en cuestión.
- **Alcance 3:** las emisiones del alcance 3 son consecuencia de las actividades que realiza la empresa, pero que están fuera de su control. En esta categoría entrarían los viajes de los empleados o el uso de productos que emitan GEI.



Fuente: Elaboración propia basada en GHG Protocol.

El Ministerio para la Transición Ecológica ha desarrollado una serie de herramientas para facilitar el cálculo de la huella de carbono de una organización.

Entre estas herramientas se encuentra una calculadora que permite estimar de manera sencilla las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a las actividades de una organización, contemplando tanto las emisiones directas, como las indirectas procedentes del

consumo de electricidad. No incluye el cálculo de las emisiones de alcance 3.

Ofrece, además, la posibilidad de cuantificar la reducción de emisiones que pueda suponer la aplicación de un plan de mejora determinado, o comparar los resultados de emisiones entre años diferentes. Además, muestra una serie de ratios de emisiones que podrán servir para establecer órdenes de magnitud y facilitar la comprensión de los resultados.



Acceso

a la calculadora de MITECO:

<https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.aspx>



Actividades recomendadas

Proponer al alumnado que mida su huella ecológica personal con:

<http://www.footprintcalculator.org/en/quiz/0/food/category>

<https://offset.climateneutralnow.org/footprintcalc>

Realizar una aproximación de la huella del centro educativo (corporativa) con los alumnos:

<https://www.ceroco2.org/calculadoras/>

Otras actividades y recursos pedagógicos para actividades en clase disponibles aquí:

<https://www.overshootday.org/kids-and-teachers-corner/classroom-activities/>

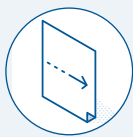


Vídeo recomendado ¿Qué es la Huella de Carbono?

Proyecto Mido mi Huella

<https://youtu.be/nQ1pPLb1Fo4>

En la página del ministerio las organizaciones pueden registrar el cálculo de su huella de carbono, su compensación o proyectos de absorción de dióxido de carbono y lograr la obtención de un sello que certifique su desempeño ambiental.



Más información sobre el registro en MITECO:

Página web: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/registro-huella.html>

Vídeo interactivo: https://www.youtube.com/watch?v=T8pxNs_d81s



Fuentes consultadas para complementar y profundizar

Cambio climático. Bases científicas y cuestiones a debate, Fundación Naturgy
<https://www.fundacionnaturgy.org/publicacion/cambio-climatico-bases-cientificas-y-cuestiones-a-debate/>

Gases de efecto invernadero, OCEANA
<https://europe.oceana.org/es/que-hacemos-cambio-climatico-y-energias-renovables-cambio-climatico-mas-informacion-gases-de-efecto-invernadero/>

Identidad de Kaya: definición, retos y soluciones para el clima
<https://climate.selectra.com/es/que-es/identidad-kaya#la-identidad-de-kaya-y-el-desarrollo-sostenible>

Huella de carbono: aprende a calcular tu impacto ambiental, Greenpeace
<https://www.greenpeace.org/mexico/blog/9386/huella-de-carbono/>

Huella de carbono de una organización, MITECO
https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/huellacarbono_conceptosbasicos_tcm30-478999.pdf

2.2.1 Medidas para alcanzar el net zero

Cuando se habla de cambio climático generalmente se piensa en el año 2050, que es el plazo marcado para lograr la neutralidad de carbono. Sin embargo, el año realmente clave es 2030, fecha en la que tenemos que haber logrado reducir a nivel global las emisiones de dióxido de carbono en un 45%.

Se están emitiendo miles de millones de toneladas de CO₂ a nivel global. Para conseguir reducir estas emisiones hay diferentes soluciones según el tipo de sector que emite el CO₂, las cantidades emitidas o incluso la localización geográfica de la fuente emisora.

Se debe por tanto buscar soluciones que sean rápidas, debido a la urgencia del 2030, pero que al mismo tiempo sean escalables y permitan una transición que no genere desigualdades, es decir justa.

Net Zero y potenciales de reducción

Como anteriormente se ha comentado, la ciencia ha demostrado claramente que a fin de evitar los peores impactos del cambio climático y para conservar un planeta habitable, el aumento global de la temperatura necesita limitarse a no más de 1,5°C por encima de los niveles preindustriales. En la actualidad, la Tierra ya tiene un calentamiento superior al 1,1°C en comparación a finales del siglo XIX, y las emisiones continúan elevándose. Para mantener el calentamiento global por debajo de 1,5°C, tal y como se fijó en el Acuerdo de París, es necesario que las emisiones se reduzcan alrededor del 45% para 2030 y que se alcance el net zero o cero neto hacia 2050.

El denominado net zero es un objetivo que implica comprometerse a recortar las emisiones de gases de efecto invernadero hasta dejarlas lo más cerca posible a las emisiones nulas, a excepción de algunas emisiones residuales que sean reabsorbidas desde la atmósfera mediante, por ejemplo, el océano y los bosques o mediante soluciones tecnológicas que permitan retirar CO₂ de la atmósfera.

Más de 70 países, incluidos los grandes contaminadores, como China y EE. UU., y la Unión Europea, han establecido objetivos cero neto y representan alrededor del 76% de las emisiones globales. Por otro lado, un gran número de empresas, instituciones y ciudades de todo el mundo y en todos los sectores, han fijado también objetivos *net zero* en 2050 o incluso antes.

La transición a un mundo con cero emisiones supone uno de los mayores retos a los que se ha enfrentado la humanidad. Lograrlo requiere de una transformación profunda de nuestro modelo de producción, de consumo y de hábitos como el transporte. En concreto, requiere de una transformación del sector energético, el cual constituye en torno a tres cuartos de las emisiones de gases de efecto invernadero de las últimas décadas (76% de emisiones de España en 2019 según el Inventario Nacional), y encierra la clave para evitar los peores efectos del cambio climático. La eficiencia energética y la sustitución de generadores de contaminación, como la producción de energía mediante el carbón, el petróleo o el gas, por fuentes de energía renovables, como la energía solar o eólica o los gases renovables, reducirían drásticamente las emisiones de carbono.

Eficiencia energética como clave de cambio

La eficiencia energética se puede definir como la disminución del consumo de energía primaria de un centro de consumo de energía, por la implementación de medidas de índole técnica o no técnica, manteniéndose en todo caso el cumplimiento de los objetivos previstos, y sin disminución de la calidad, productividad, seguridad física de las personas y patrimonial de los bienes y sin producir mayor impacto ambiental que la situación primitiva. En definitiva, significa usar menos energía para realizar la misma tarea.

La eficiencia energética supone un recurso clave en el desarrollo de una sociedad descarbonizada. Desde una perspectiva macroeconómica,

la implementación de planes de eficiencia energética aporta beneficios tales como:

- Reducción de la dependencia energética de otros países que disponen de fuentes energéticas primarias (petróleo, gas natural, carbón...).
- Aumento del ahorro económico al reducir el consumo energético.
- Disminución de la presión sobre los recursos naturales para conservarlos de manera estratégica.
- Contribución a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Si bien las tecnologías de energía renovable también ayudan a lograr estos objetivos, mejorar la eficiencia energética es la forma más barata y, a menudo, la más inmediata de reducir los gases de efecto invernadero (GEI). En este sentido, el primer paso para la eficiencia y la optimización energética es consumir la estrictamente necesaria porque “la energía más sostenible es la energía no consumida”.

Entre las diversas oportunidades de mejora de eficiencia podemos encontrar los sectores de:

- **Edificación.** Los arquitectos deben optimizar la eficiencia del edificio e incorporar tecnologías de energía renovable, lo que conduciría a la creación de edificios de emisiones cero. También se pueden realizar cambios en los edificios existentes para reducir el uso de energía. Estos pueden incluir pequeños pasos, como la elección de bombillas LED y electrodomésticos de bajo consumo, o esfuerzos más grandes como la mejora del aislamiento y la climatización.
- **Generación de energía y distribución.** El uso de sistemas combinados de calor y energía pueden recuperar el calor residual de las centrales eléctricas y usarlo para proporcionar calefacción, refrigeración y/o agua caliente a los edificios e instalaciones cercanas. Esto aumentaría la eficiencia energética de la generación de energía. Una red eléctrica inteligente, *smart grid*⁶, es otro sistema

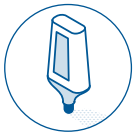
⁶ Aquella que puede integrar de forma eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella, de tal forma que se asegure un sistema energético sostenible y eficiente, con bajas pérdidas y altos niveles de calidad y seguridad de suministro.

que mejora la eficiencia de la generación, distribución y consumo eléctrico.

- **Diseño urbanístico.** Las ciudades que están diseñadas con un gran desarrollo de transporte público y opciones seguras y accesibles para caminar y andar en bicicleta son clave para reducir la necesidad de viajar en vehículo personal.
- **Transporte.** La industria del automóvil, la aviación o el ferrocarril de todo en el mundo está invirtiendo en nuevas tecnologías

y sistemas para cumplir los objetivos de eficiencia y emisiones marcados por las nuevas normativas.

Las recomendaciones anteriores mejoran la eficiencia energética principalmente a través de la tecnología y el diseño, desde la perspectiva del rol empresarial. Sin embargo, la forma en que las personas utilizan estas tecnologías tendrá un impacto trascendental.



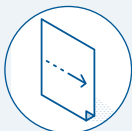
El American Council for an Energy Efficient Economy (ACEEE) publica su **International Energy Efficiency Scorecard** que analiza la eficiencia energética de 25 de los países más consumidores de energía. En el año 2022 España se encuentra en el puesto 6. Otros informes como **The World Energy Trilemma Index del World Energy Council** también analizan la sostenibilidad energética de los países.



Vídeo recomendado

¿Qué es la Eficiencia Energética?

<https://www.youtube.com/watch?v=12eVybFCI>



Enlace recomendado

10 consejos para mejorar la eficiencia energética en el hogar <https://hogarsolarenergia.es/10-consejos-para-mejorar-la-eficiencia-energetica-en-el-hogar/>

Energías renovables

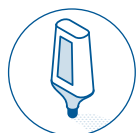
Las energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes naturales y son inagotables o con capacidad de renovación. Estas energías se han convertido en parte clave para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y en el objetivo de lograr la sostenibilidad del planeta. Entre ellas podemos encontrar la energía solar, eólica, hidráulica, geotérmica, mareomotriz, undimotriz, la biomasa o el biogás.

Generación renovable de electricidad

La evolución del uso de la electricidad renovable ha superado todas las expectativas. La demanda mundial de energías renovables se ha incrementado de forma constante, al igual que el consumo energético, sobre todo en los países en desarrollo. La producción y la capacidad de instalación a nivel mundial, relativas a todas las tecnologías de generación de electricidad renovable, se han incrementado igualmente, ya que la mayoría de tales tecnologías ha experimentado una reducción significativa de los costes en todo el mundo.

Entre las tecnologías de generación renovables cabe destacar:

- **Energía Solar Fotovoltaica:** La tecnología solar fotovoltaica consiste en la capacidad que tienen algunos materiales de generar electricidad al incidir sobre ellos la radiación solar. El principal material utilizado en la industria fotovoltaica es el silicio, elemento más abundante sobre la tierra después del oxígeno. Durante los últimos años ha crecido el número de fabricantes que utilizan otros materiales semiconductores.
- **Energía Termoeléctrica:** Esta tecnología, también llamada CSP por sus iniciales en inglés (*Concentrating Solar Power*), consiste en generar electricidad aprovechando la radiación solar mediante un proceso de dos etapas, convirtiéndola primero en calor y luego en electricidad por medio de ciclos termodinámicos convencionales. Mediante una serie de espejos de grandes dimensiones se concentra la radiación solar en zonas concretas. Un fluido que alcanza altas temperaturas es capaz de generar vapor de agua que es conducido a una turbina y, como en cualquier otra central térmica convencional, permite generar electricidad.



Una ventaja muy importante de este tipo de instalaciones es que pueden ser gestionadas tanto con sistemas de acumulación como de hibridación con energías fósiles y permiten cierto grado de independencia temporal respecto al recurso solar. A diferencia de la tecnología solar fotovoltaica que también aprovecha la radiación difusa, estos sistemas sólo permiten el aprovechamiento de la radiación solar directa, siendo necesaria su localización en zonas climáticas donde sea abundante este tipo de radiación.

En este sentido, España está ejerciendo un liderazgo mundial en el desarrollo y ejecución de proyectos (potencia instalada), generando un fuerte sector industrial paralelo a este crecimiento (capacidad tecnológica).

- **Energía hidráulica:** es aquella que aprovecha el movimiento del agua para generar energía. Su obtención se debe al aprovechamiento de la energía cinética y potencial de los saltos de agua o corrientes. El propio movimiento del agua hace girar una turbina, que está conectada a un transformador, y produce la energía eléctrica. Otras tecnologías que utilizan el agua para generar electricidad son la maremotriz que aprovecha el movimiento de las mareas y la energía undimotriz a partir de las olas, por el movimiento ondulatorio de la superficie del agua del mar.

- **Energía Eólica:** Son todas aquellas instalaciones que utilizan como energía primaria la fuerza del viento para generar electricidad. El proceso se realiza a través de un aerogenerador que transforma la energía cinética de las corrientes de aire en energía eléctrica. La radiación solar no incide por igual en toda la superficie de la Tierra: en aquellas zonas que son más calentadas, el aire pesa menos y tiende a ascender generando áreas de bajas presiones mientras que en las zonas más frías el aire desciende y pesa más creando áreas de altas presiones. La diferencia entre presiones hace que el aire se mueva y se origine el viento.

- **Combustibles renovables:** son aquellos derivados de productos orgánicos o desechos metabólicos (biocombustibles) o los carburantes sintéticos (obtenidos a partir de CO₂ capturado y los procedentes de residuos no orgánicos como plásticos), sustituyen los procedentes de materias fósiles y se perfilan como un remedio real a corto y medio plazo contra las emisiones de CO₂ en todos los ámbitos del transporte (terrestre, aéreo y marítimo), el consumo doméstico o industrial.

→ **Gas renovable.** Los gases renovables se obtienen a partir de materias primas o fuentes renovables, siendo de tres tipos:

- **Biometano y Biogás:** Procedente de la digestión anaerobia de residuos orgánicos, como basuras domésticas, residuos industriales, lodos de depuradora o deyecciones ganaderas. Tras esta digestión, sufre un proceso de enriquecimiento, alcanzando las

condiciones que le hacen totalmente compatible con el actual gas natural, pudiendo ser vehiculado por la infraestructura gasista existente. En el proceso, se genera un subproducto que es un excelente fertilizante, en una lógica de economía circular.

- **Gas de síntesis o syngas:** Obtenido por gasificación térmica de residuos, posibilita la gestión de cualquier residuo excepto cristal y metal. No obstante, está mayoritariamente orientado a materia orgánica lignocelulósica, como los residuos forestales y agrícolas, lo que también podría contribuir a evitar incendios.

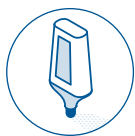
- **Hidrógeno verde:** Producido a partir de electricidad renovable mediante electrólisis del agua, puede ser almacenado en las redes de gas existente sin necesidad de baterías (en España, el sistema gasista tiene capacidad para almacenar el equivalente al consumo eléctrico del país de dos meses⁷).

Esta alternativa evita el consumo de materiales, energía y residuos asociados a las baterías y a diferencia de éstas, permite el almacenamiento de energía durante largos periodos, para cubrir las diferencias estacionales en la demanda de nuestro país.

Todos los gases renovables contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y son claves en la descarbonización del sistema energético, al evitar las emisiones de CO₂ del gas natural sustituido.

Los gases renovables producidos a partir de residuos orgánicos no solo son neutros en carbono, sino que pueden tener incluso emisiones de CO₂ negativas, actuando como sumidero y retirando gases de efecto invernadero de la atmósfera. Es el caso del biometano procedente de las deyecciones ganaderas, cuya gestión actual genera emisiones GEI. La transformación de estos residuos en gas renovable puede evitar emitir a la atmósfera el 200% de las emisiones de CO₂ correspondientes al combustible fósil sustituido.

⁷ Ver: <https://funseam.com/gas-renovable-la-energia-circular-del-presente-para-un-futuro-descarbonizado-2/>



Según el **Estudio de la capacidad de producción de biometano en España, 2023**, publicado por Sedigas Asociación Española del Gas, España cuenta con un potencial para la producción de biometano de 163 TWh/año, incluyendo los residuos procedentes de la agricultura, ganadería, Fracción Orgánica de Residuo Sólido Urbano (FORSU), las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), el sector agroalimentario, los cultivos intermedios, los vertederos y los residuos forestales.

Además, en el estudio se han identificado 2.326 plantas potenciales para la producción de biometano repartidas por las Comunidades Autónomas, que permitirían aprovechar de forma eficiente los residuos disponibles al localizarse donde mayor es la concentración de estos. La inversión asociada a estas plantas potenciales asciende a 40.495 millones de euros, generando un total de 21.736 empleos directos y 40.205 empleos indirectos, así como 34.890 empleos directos y 465.200 empleos indirectos asociados a la construcción e instalación de las plantas.



Fuentes consultadas para complementar y profundizar

El Gobierno aprueba la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, que marca la senda para alcanzar la neutralidad climática a 2050, MITECO, 2020

https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/2020/11/el_gobierno_aprueba_la_estrategia_de_descarbonizacion_a_largo_plazo_quem.html

Qué es el hidrógeno verde y por qué podría ser el combustible del futuro, E-Automotive, 2020 <https://noticias-renting.aldautomotive.es/que-es-el-hidrogeno-verde-y-por-que-podria-ser-el-combustible-del-futuro/>

Hidrógeno verde, el combustible limpio e infinito, clave en la Descarbonización, Revista Haz, 2021 <https://www.compromisoempresarial.com/rsc/2021/06/hidrogeno-verde-combustible-limpio-infinito-clave-descarbonizacion/>

Naturgy marca un hito en la transición energética de España con la primera inyección de gas renovable procedente de vertedero en la red de distribución, Naturgy, 2021

<https://www.naturgy.com/notas-de-prensa/naturgy-marca-un-hito-en-la-transicion-energetica-de-espana-con-la-primera-inyeccion-de-gas-renovable-procedente-de-vertedero-en-la-red-de-distribucion/>

Gas Renovable, Nedgia <https://www.youtube.com/watch?v=3QmAdEbUpqU>

Estudio de la capacidad de producción de biometano en España, 2023, Sedigas Asociación Española del Gas <https://estudio-biometano.sedigas.es/wp-content/uploads/2023/03/sedigas-informe-potencial-biometano-2023.pdf>

Los compromisos de España con la eficiencia energética y las energías renovables

España ha cumplido los objetivos europeos respecto a las energías renovables y eficiencia energética fijados por la UE para 2020.

España debía cubrir un 20% de la demanda de energía final con renovables y lo ha superado hasta alcanzar el 21,2%, tanto por el incremento de la producción de la energía

limpia como por la reducción de la demanda provocada por la crisis sanitaria.

En el caso de la eficiencia energética también se ha superado con creces el objetivo comunitario del 20%, consiguiendo un 35,4%.

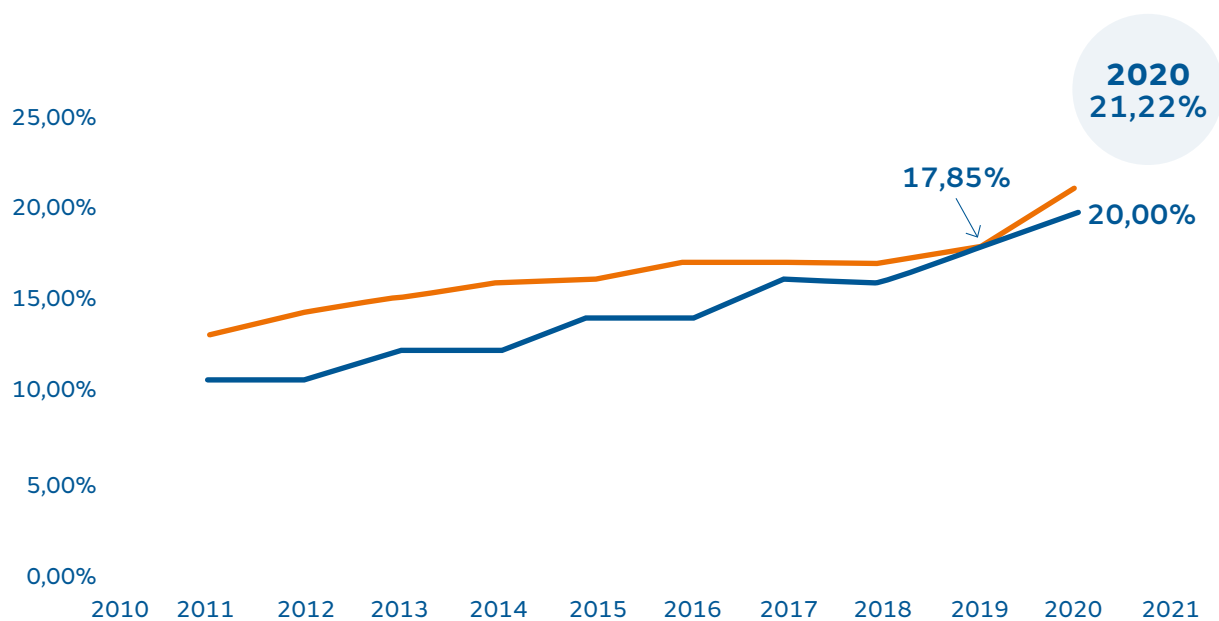
En la siguiente tabla se resumen los valores sectoriales de energías renovables y eficiencia energética alcanzados en 2020, junto a los objetivos europeos comprometidos en cada caso:

2020		
Cumplimiento objetivos 20/20	Objetivo	Valores reales
Eficiencia Energética		
Energía primaria minorando usos no energéticos	20%	35,40%
Renovables		
RES (%) consumo final renovables	20%	21,22%
RES-T (%) consumo en transporte	10%	9,54%
RES-E (%) generación eléctrica	-	42,94%
RES-H&C (%) producción calor y frío	-	17,97%

Fuente: Portal web [Energía y Sociedad](#).

Para el año 2020, el porcentaje de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía fue del 21,22%, superando el objetivo del 20% establecido para España en la Directiva de Renovables. En

la gráfica siguiente se puede apreciar cómo durante la década pasada el país ha superado la senda de penetración prevista por la normativa comunitaria.



Objetivo Renovables	2015	2016	2017	2018	2019	2020
RES (%)	16,22	17,01	17,12	17,02	17,85	21,22
Incremento interanual de RES	0,37%	4,87%	0,65%	-0,58%	4,88%	18,88%
Variación interanual de RES	0,06	0,79	0,11	-0,10	0,83	3,37

● Valores reales
● Dir. 2009/28/CE

Fuente: Portal web [Energía y Sociedad](#).

El porcentaje de renovables eléctricas se ha incrementado del 37,13% al 42,94% de 2019 a 2020. Entre los factores que han contribuido a este aumento cabe destacar el notable crecimiento del 10,1% en la generación con renovables con relación al año anterior, que se

ha combinado con el descenso de la demanda bruta del 4,81%. Estos resultados consolidan la senda de descarbonización del sector de generación eléctrica, que por segundo año consecutivo ha batido récords en reducción de emisiones.

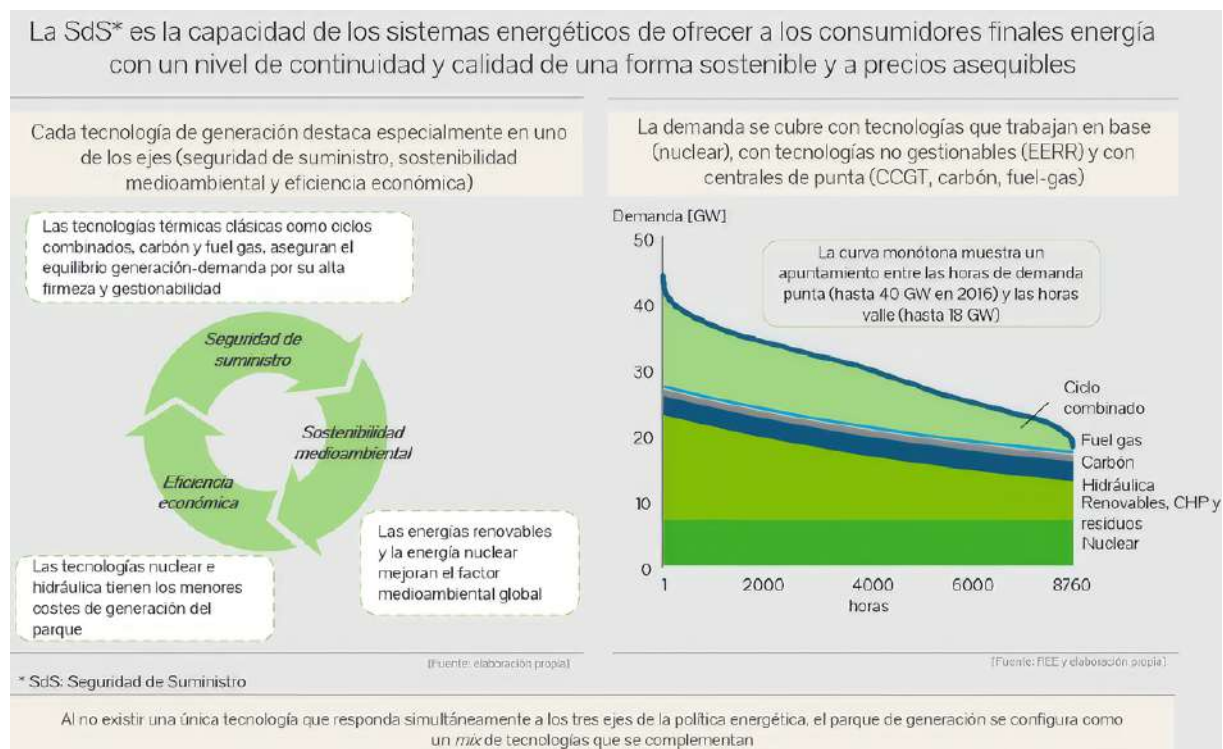


¿Por qué la energía que utilizamos no puede ser de una sola fuente?

A la capacidad de ofrecer a los consumidores finales energía con un nivel de continuidad, calidad, sostenibilidad y precio asequible, se le denomina la seguridad de suministro (SdS).

Como se muestra en la imagen a continuación, Actualmente, no existe una tecnología que responda simultáneamente a los tres ejes de la política energética (seguridad de suministro,

sostenibilidad medioambiental y eficiencia económica), por lo que el parque de generación se configura como un mix de tecnologías que se complementan como se muestra en la imagen.



Fuente: Portal web [Energía y Sociedad](#).

Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030

Con el objetivo de alcanzar la neutralidad de emisiones de GEI de España en 2050, el gobierno de España lanzó el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030. Para lograr este objetivo, debe producirse la reducción de, al menos, un 90% de las emisiones brutas totales de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990 para 2050, por lo que este plan establece que se debe alcanzar un sistema eléctrico 100% renovable para esa fecha.

Asimismo, establece una serie de medidas que permitirán el logro de los objetivos a 2030 de:

- 23% de reducción de emisiones de GEI respecto a 1990.
- 42% de renovables sobre el uso final de la energía.
- 39,5% de mejora de la eficiencia energética.

- 74% de energía renovable en la generación eléctrica.

El PNIEC persigue una reducción de un 23% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990. Este objetivo de reducción implica eliminar una de cada tres toneladas de gases de efecto invernadero que se emiten actualmente. Se trata de un esfuerzo coherente con un incremento de la ambición a nivel europeo para 2030, así como con el Acuerdo de París.

En 2021, se aprobó por primera vez una Ley de Cambio Climático y Transición Energética que otorgaba amparo legal y promovía el logro del ODS 13: Acción por el clima, conduciendo al país hacia la descarbonización de la economía y la construcción de un mundo más sano y sostenible. Una ley que presentaba una oportunidad desde el punto de vista económico y de modernización del país, así como desde el punto de vista social, facilitando la distribución equitativa de la riqueza en el proceso de descarbonización.



Fuente: Ley 7/2021, de 20 de mayo, de Cambio Climático y Transición Energética. MITRED.

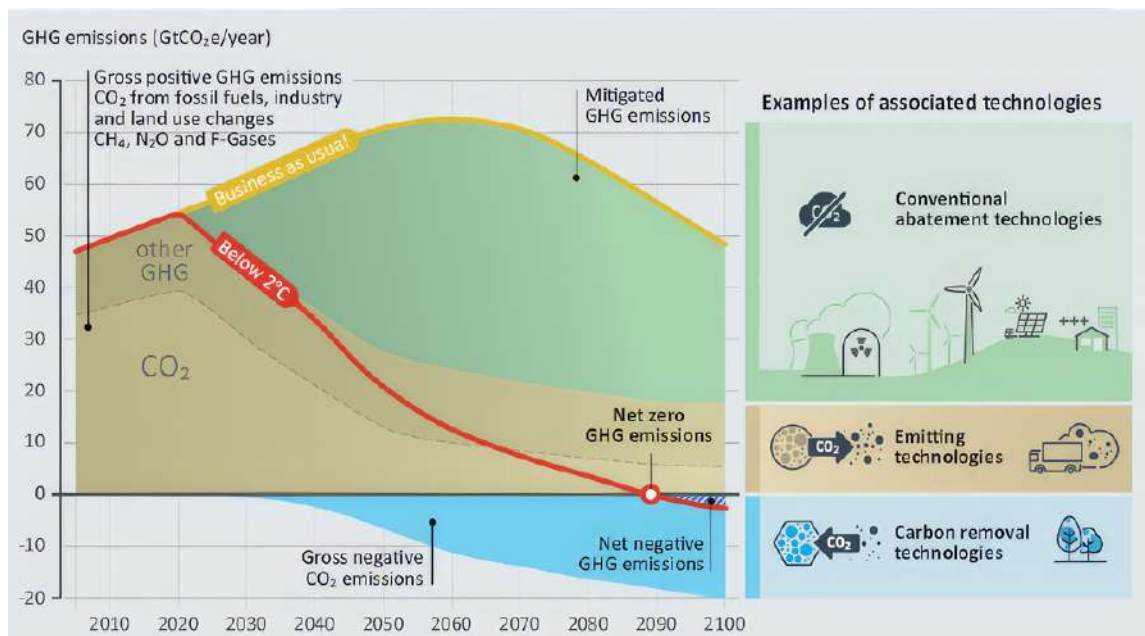
2.2.2 Soluciones naturales y tecnologías de emisiones negativas

Las tecnologías de emisiones negativas son aquellas que retiran CO_2 de la atmósfera. Son, por tanto, una tecnología fundamental para alcanzar la neutralidad climática en 2050 pues permiten compensar las emisiones imposibles de evitar.

Estas tecnologías, conocidas como NET (*Negative Emissions Technologies*), son para muchos expertos una de las alternativas con más posibilidades para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París.

Si observamos un escenario típico de mitigación como el de la figura, vemos una línea roja que nos muestra la ruta descendente que deberían seguir las emisiones a medida que pasen los años de aquí a final de siglo. Si la descomponemos para separar, por un lado, la parte de la línea que esperamos alcanzar emitiendo menos (franja marrón), es decir reduciendo las emisiones positivas procedentes de la quema de combustibles fósiles, agricultura, etc., y, por otro, la parte que esperamos alcanzar mediante emisiones negativas (franja azul), es decir, capturando CO_2 desde la atmósfera, vemos que el grado en el que nos apoyamos en esto último es enorme.

Emisiones proyectadas



Fuente: Informe sobre la brecha de emisiones 2017: un informe de síntesis de las Naciones Unidas para el medioambiente. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2017.

De los cerca de 900 escenarios de mitigación que produce el IPCC manejando distintos modelos climáticos, apenas 76 de ellos son compatibles con un escenario de 2°C, apoyándose la gran mayoría de ellos en las emisiones negativas. Como se muestra en la figura, se espera que a partir de 2030 las tecnologías de emisiones negativas estén disponibles para su comercialización, un escenario aún lejano.

En el desarrollo de estas tecnologías negativas y otras soluciones, es conveniente tener siempre en mente el criterio de la urgencia. Tenemos que buscar soluciones que sean rápidas, debido a la urgencia del 2030, pero que al mismo tiempo sean escalables y nos permitan una transición justa. Entre estas soluciones, encontramos las tecnologías de captura de CO₂ o los sumideros naturales de carbono.

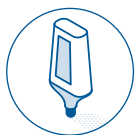
Tecnologías de captura de dióxido de carbono (CAUC)

Hay varios tipos de tecnologías dentro del marco de captura, almacenamiento y uso de CO₂. Son las llamadas tecnologías CAUC.

Cuando en una central térmica, en una planta siderúrgica o en una cementera están funcionando, se genera CO₂ acompañado de un conjunto de gases. Debido a esto, el primer paso en el proceso de captura de CO₂ es separarlo del resto de gases cuya emisión a la atmósfera no tiene tanto riesgo (como el nitrógeno).

En el proceso de captura, existen diferentes opciones: utilizando filtros o membranas, un solvente que disuelve el CO₂ pero no los demás gases, o filtros similares a los que se pueden tener en casa para depurar el agua que retienen el CO₂, pero dejan pasar el resto de los gases.

La elección de la tecnología más adecuada dependerá de cómo se produce ese CO₂, de las condiciones de temperatura, de presión o de concentración del dióxido de carbono. Una vez se captura, se realiza su transporte al lugar donde se vaya a almacenar o a usar.



Geoingeniería solar

La geoingeniería solar es un conjunto de propuestas para alterar el equilibrio radiativo de la Tierra reflejando más luz solar hacia el espacio, con el objetivo de reducir los riesgos a largo plazo de la acumulación de dióxido de carbono.

Entre los distintos enfoques de la geoingeniería solar se baraja:

- La construcción de un escudo en el espacio entre la Tierra y el Sol para bloquear la luz solar.
- Inyección de aerosoles en la estratosfera, como el ácido sulfúrico. Esto podría reducir las temperaturas y muchos otros riesgos climáticos de una manera bastante uniforme.
- Técnicas para evitar que los cirros delgados, un tipo de nube que tiende a calentar el planeta, sean menos frecuentes,
- Aumentar el brillo de las nubes marinas o hacer que la superficie terrestre sea más brillante añadiéndole reflectividad: por ejemplo, pintando los techos de blanco.

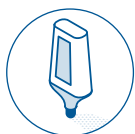
Sumideros naturales de carbono

Los bosques y otros ecosistemas almacenan una gran cantidad de carbono por encima y por debajo del suelo. Lo más importante que podemos hacer es mantener en pie los bosques existentes y otros ecosistemas.

Los bosques contienen mucho carbono, no solo los árboles visibles, sino también el suelo y las raíces debajo de la tierra, por lo que, por ejemplo, los humedales y las turberas almacenan una enorme cantidad de carbono, mientras los bosques de manglares, que son humedales con árboles, tienen algunas de las concentraciones más altas de carbono. Deberíamos mantener esos bosques y

ecosistemas existentes, no solo porque almacenan carbono, sino porque lo hacen ya mismo. Además, los bosques albergan una gran cantidad de biodiversidad. Por estos motivos, es esencial mantener los ecosistemas existentes.

Complementariamente a la protección de los bosques, para aumentar la captación de CO_2 pueden realizarse proyectos de forestación y restauración ambiental, por ejemplo, en terrenos degradados por incendios o zonas agrícolas abandonadas. Este tipo de actuaciones deben diseñarse considerando no solamente la captación de CO_2 sino la creación de biodiversidad, seleccionando las especies más adecuadas a cada territorio.



Carbono azul

El carbono azul es todo el carbono que proviene de la vida en el océano. Es decir, el carbono que queda almacenado en los ecosistemas costeros y marinos, que incluye a hábitats, a especies e incluso a los procesos que facilitan la absorción de ese carbono atmosférico en el océano y se transportan hacia los sedimentos y aguas profundas.

Un ejemplo muy claro son los productores primarios que hacen fotosíntesis. Ellos cogen dióxido de carbono y nos dan oxígeno, y cuando sus cuerpos mueren, una parte del carbono es consumido por la cadena trófica y vuelve a la atmósfera por la respiración, pero otra gran parte queda secuestrada o almacenada en el océano y por las corrientes llega al océano profundo y se queda allí guardado.

El 83% del ciclo del carbono global tiene lugar en los océanos. Y la mitad de todo este carbono que se almacena en el océano se encuentra en los ecosistemas de la costa. Cuando se hace referencia al océano tendemos a pensar en las profundidades del mismo, pero, sin embargo, el mayor almacenamiento de carbono azul se realiza en los ecosistemas costeros, a pesar de cubrir solo un 2% de toda la superficie del océano.



Fuentes consultadas para complementar y profundizar

Soluciones naturales y tecnológicas para frenar el cambio climático, BBVA Openmind
https://www.bbvaopenmind.com/wp-content/uploads/2022/07/BBVA-OpenMind-Cuaderno-de-Sostenibilidad-2_Soluciones-naturales-y-tecnologicas.pdf

Negative emissions technology needed to remove CO₂ and head off climate change, Chemistry World, 2018 <https://www.chemistryworld.com/news/negative-emissions-technology-needed-to-remove-co2-and-head-off-climate-change/3009710.article>

¿Qué es el mercado de carbono azul? Una ciudad de España tiene la respuesta, BBVA
<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-mercado-de-carbono-azul-una-ciudad-de-espana-tiene-la-respuesta/>

