

# EL CARBÓN Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

- EL CAMBIO CLIMÁTICO
- INSTRUMENTOS REGULADORES.  
EL PROTOCOLO DE KIOTO



# EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS CONSECUENCIAS

## PLANTEAMIENTO

Nos preocupa el estado de nuestro entorno natural, tanto el local como el global; en pocas décadas la visión ciudadana de que la Tierra se deteriora ha crecido significativamente, se constata que se pierden masas forestales, que avanza la desertización, que tenemos problemas con el suministro de agua, o que las costas y el mar se degradan. Perdemos biodiversidad y aparecen amenazas de efectos desconocidos, por ejemplo la “carga química” que arrojamos al entorno sin conocer su ciclo de vida.

Como respuesta a ello aparecen foros de discusión y propuestas que tratan de frenar esa evolución de nuestro entorno hacia situaciones que intuimos menos favorables para la vida del hombre y de las demás especies. En este documento se va a reflexionar sobre “El Cambio Climático”, que tiene componentes antropogénicas diversas, entre ellas en primer lugar los usos de la energía, pero que además presenta aspectos de comportamiento social y económico conexos con el modelo energético y económico que no se pueden dejar de lado.

El hombre ha evolucionado de forma significativa en los últimos siglos, y en su incremento de la capacidad de actuación sobre el entorno puede ya incidir sobre el clima que haya en la Tierra, ya en este siglo y previsiblemente en los próximos. Este fenómeno se conoce como Cambio Climático, es más complejo que como se suele presentar con frecuencia: una relación directa entre emisiones de gases de efecto invernadero y la elevación de la temperatura media del planeta.

La Tierra es uno de los pocos planetas del sistema solar en el cual se ha podido desarrollar la vida, tal como nosotros la percibimos y la entendemos, gracias a que en la Tierra se ha mantenido una cantidad importante de agua, en buena medida en forma líquida, protegida por una atmósfera peculiar. Los otros dos planetas con esa posibilidad teórica de conservar agua eran Venus y Marte, en los que finalmente parece que

no se han dado, o no se han mantenido, esas condiciones atmosféricas especiales.

Sobre la Tierra, en su atmósfera, hay y ha habido en el pasado una concentración de ciertos compuestos entre los cuales destacan: el dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , y el metano,  $\text{CH}_4$ , que actúan reflejando parte de las radiaciones térmicas que emite nuestro planeta hacia él, con ello se evita un enfriamiento excesivo de la Tierra, en particular durante las noches, como ocurre en otros astros en los que no existe esa capa protectora.

La presencia de esos dos gases,  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , ha tenido distinta concentración a lo largo de la Historia de la Tierra. Hay que señalar que además hay otros gases de efecto invernadero cuya incidencia es minoritaria, el óxido hiponitroso,  $\text{N}_2\text{O}$ , y ciertos compuestos de flúor, cloro y bromo. Un esquema del efecto invernadero en la Tierra se ve en la figura 1.

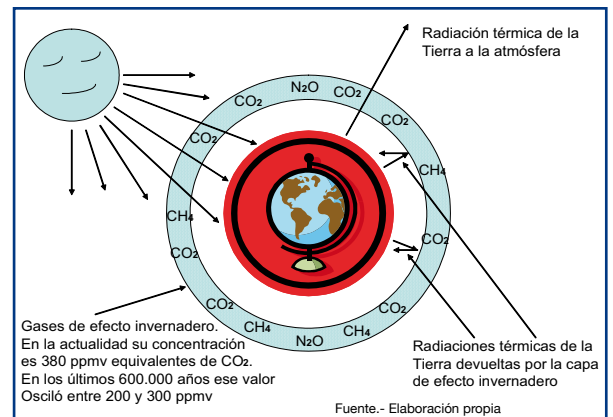


Figura 1. Esquema simplificado del comportamiento de los gases de efecto invernadero.

## CAPÍTULO 2.1

Las radiaciones del Sol en su mayor parte atraviesan la atmósfera y calientan la Tierra. Ésta, como cualquier cuerpo, emite radiaciones térmicas que en parte

son reflejadas hacia el planeta por esos gases de efecto invernadero; si todas ellas pasaran a la atmósfera exterior se produciría una diferencia muy alta entre la temperatura diurna, con calentamiento solar, y la nocturna sin él; esto es lo que sucede en otros planetas del sistema solar o en la Luna.

Hay que señalar que en altura existe una capa atmosférica que tiene una cierta concentración de ozono, que filtra las radiaciones ultravioleta y nos protege de ellas, éstas incidirían negativamente en la salud de la piel y de los ojos de buena parte de las especies animales, entre ellas el hombre.

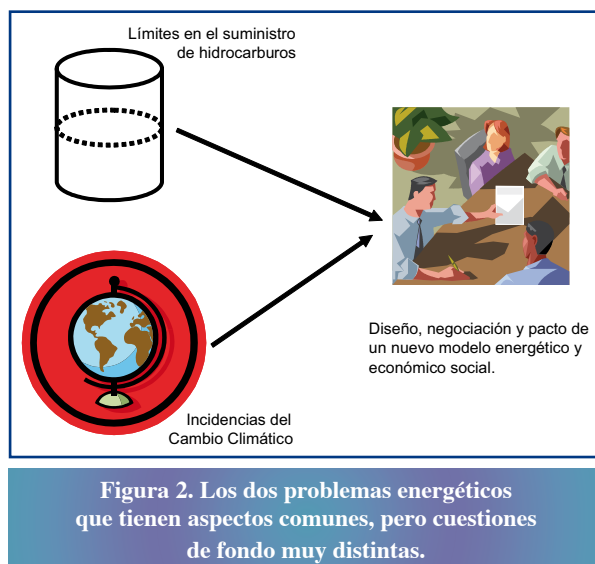
La pérdida parcial de concentración de ozono en la alta atmósfera se conoce como “Agujero de Ozono”, es debida a reacciones con compuestos fluorados de emisión antropogénica, se da más en las zonas polares que en las medias y ecuatoriales de la Tierra, es un fenómeno que no tiene relación con el cambio climático, aunque a veces se confunden, y que se está controlando a partir de los acuerdos del Protocolo de Montreal en 1992, que supuso un acuerdo para sustituir los compuestos que destruyen el ozono por otros que no tienen ese carácter negativo.

El clima en la Tierra evolucionó a lo largo de su Historia por un conjunto de acciones tanto del Sol, variación de la radiación solar y fenómenos anexos como las manchas solares, como por la dinámica propia de la Tierra, bien las transformaciones en su atmósfera o bien la posición relativa respecto al Sol en su órbita alrededor de él. Aunque todo parece indicar que la evolución de la concentración de los llamados gases de efecto invernadero, que se citaron anteriormente, han sido el factor desencadenante de los mayores cambios.

En la actualidad aparece un nuevo agente, el hombre, que en los últimos siglos ha comenzado a incidir de forma significativa en determinados aspectos del contexto climático, tanto en la emisión de gases de efecto invernadero, como en la transformación o degradación de ciertos entornos terrestres, en particular pérdida de masas forestales, tal como se comenta en este documento.

El cambio climático es un gran problema que previsiblemente afectará a la evolución del modelo energético, pero en éste hay otros condicionantes globales, en primer lugar la previsible crisis de los hidrocarburos, es decir el descenso de extracción de hidrocarburos (petróleo y gas) que puede darse en pocas décadas.

La figura 2 sugiere la presencia conjunta de esos dos temas críticos de futuro, ambas cuestiones inciden en la búsqueda de otro modelo energético y quizás también económico, son paralelas en ciertos aspectos, pero divergentes en otras. En las mesas de debate convendrá no hacernos trampas, y diseñar las propuestas de forma transparente, no engañándonos a nosotros mismos ni a los demás.



**Figura 2. Los dos problemas energéticos que tienen aspectos comunes, pero cuestiones de fondo muy distintas.**

En este documento se van a exponer unas reflexiones sobre cinco aspectos presentes en esa cuestión del cambio climático, que como se ha indicado es bastante compleja:

- El clima en la Tierra y su evolución a lo largo de su Historia Geológica, será una exposición breve, pero que se estima necesaria para entender la situación actual.
- La incidencia de la evolución del clima en la Historia reciente de la Humanidad, el crecimiento de la población y los conflictos.
- El efecto de las emisiones de gases de efecto invernadero en el clima, la relación con los usos energéticos y otras acciones del hombre.
- La posible afección del calentamiento global del planeta sobre los ecosistemas y la Humanidad.
- Las perspectivas de evolución del sistema energético a medio plazo y su incidencia en el Cambio Climático y el futuro de la Humanidad.

Todo ello nos puede llevar a reflexionar que estamos ante un problema muy grave, cuya resolución quizás no es fácil de acometer, tanto con acciones sencillas o como con voluntarismos bien intencionados, pero sobre lo cual hemos de seguir trabajando, tanto para frenar los aspectos más críticos de esa evolución climática, como para adaptar al conjunto de la Humanidad a ese nuevo entorno climático.

Se asume de forma progresivamente más amplia que el cambio climático es una cuestión crítica y que previsiblemente se manifestará en un horizonte temporal cercano. Hay que decir no obstante que existen análisis científicos que cuestionan esa evolución rápida del clima y sus consecuencias, que no encuentran razones firmes para asumir la cuestión tal cual se plantea desde determinados

foros, como es el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, IPCC. (MADRID CASADO)

Es cierto que desde ciertos foros se ha presentado el cambio climático como una cuestión en la cual hay que creer por razones de coherencia con algunos planteamientos políticos, que además se han deformado determinados análisis de la evolución histórica del clima, así como que efectivamente hay incertidumbres a la hora de asumir modelos matemáticos sobre la evolución del clima. Todo ello no obstante parece que queda sobrepasado por la constatación de un hecho de cierto calentamiento global, junto con una elevada concentración de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , que por razones de precaución parece lógico relacionar con ese cambio climático y las medidas que se deben tomar al respecto.

### EVOLUCIÓN DE LA TIERRA EN TIEMPOS GEOLÓGICOS

La formación del planeta Tierra ocurre previsiblemente hace unos 4.700 millones de años, nacería como una masa ígnea que se separa de otra mayor, en un Sistema Solar en el cual esta estrella era de las denominadas jóvenes, es decir con menor poder de radiación energética que el actual, que ha ido creciendo con el paso del tiempo medido a escala geológica.

En esa Tierra primigenia abundarían el silicio, el oxígeno, el hierro y el aluminio, que formarían silicatos, además habría otras especies minerales; todos ellos se fueron enfriando progresivamente formando una corteza superficial pétreo. Sobre ellas se cree había una atmósfera con alto contenido en vapor de agua y también en dióxido de carbono.

Las lluvias de agua carbonatada, es decir con  $\text{CO}_2$  disuelto, formaron los primeros mares sobre esa corteza, a la vez que actuaron sobre los silicatos para romper sus moléculas, liberar óxidos metálicos y formar los primeros carbonatos, estos, en gran medida, acabaron yendo al fondo de esos mares.

Se inicia así el ciclo del carbono que se fija en las rocas carbonatadas, formación y descomposición de las mismas, que tiene un tiempo de vida muy largo, entre 500 y 1.000 millones de años, por lo que a efectos de las reflexiones nuestras, sobre el cambio climático, se puede considerar que son un almacén estable y duradero de carbono.

Los primeros 2.300 millones de años de la Historia de la Tierra se desarrollaron en un contexto que previsiblemente no contaba con oxígeno libre, ni en la atmósfera ni disuelto en el agua de los mares, o su presencia era muy baja. Fue entonces cuando aparecieron los metanógenos y otros microorganismos anóxicos, sobre los cuales hay teorías científicas asignándoles un papel importante en la evolución del clima en la Tierra

En aquella atmósfera habría una alta presencia de nitrógeno,  $\text{N}_2$ , de dióxido de carbono,  $\text{CO}_2$ , y de hidrógeno,  $\text{H}_2$ , éste procedente de los gases volcánicos; los dos últimos eran el alimento de los organismos matenógenos, que como desecho desprenden metano, y posiblemente podrían haber puesto en la atmósfera primitiva 600 veces más metano que el que hay en la actualidad. (KASTING)

La atmósfera de la Tierra evolucionaría hacia reducir su concentración en  $\text{CO}_2$  e incrementar la de  $\text{CH}_4$ , con valores de concentración de ambos gases muy superiores a los actuales, posiblemente el  $\text{CO}_2$  partía de valores en torno a los 20.000 ppmv, y el metano llegó en su máxima concentración a los 1.000 ppmv. Ambos gases supusieron un efecto invernadero importante, pero quizás mayor en la contribución del  $\text{CH}_4$  que en la del  $\text{CO}_2$ .

En esa primera época de la Tierra, el  $\text{CO}_2$  y el  $\text{CH}_4$  posiblemente reaccionaran entre sí liberando agua, pero quizás no así oxígeno, al menos en grandes cantidades. La elevada presencia de metano hace unos 2.500 millones de años pudo derivar en la formación de una niebla de hidrocarburos como la que se observa en la actualidad en Titán, satélite de Saturno, y una drástica reducción de la concentración de  $\text{CH}_4$  en la atmósfera.

El hecho constatado es que se produjo una muy fuerte y amplia glaciación hace unos 2.300 millones de años, “Glaciación Huroniana”, de la cual los primeros vestigios se localizaron en rocas del lago Hurón en Canadá, de ahí su nombre. Se asocia a un descenso muy fuerte de la concentración de metano en la atmósfera, que previsiblemente coincidió con el aumento de la correspondiente de oxígeno,  $\text{O}_2$ . Véase en la figura 3 esa hipotética evolución.

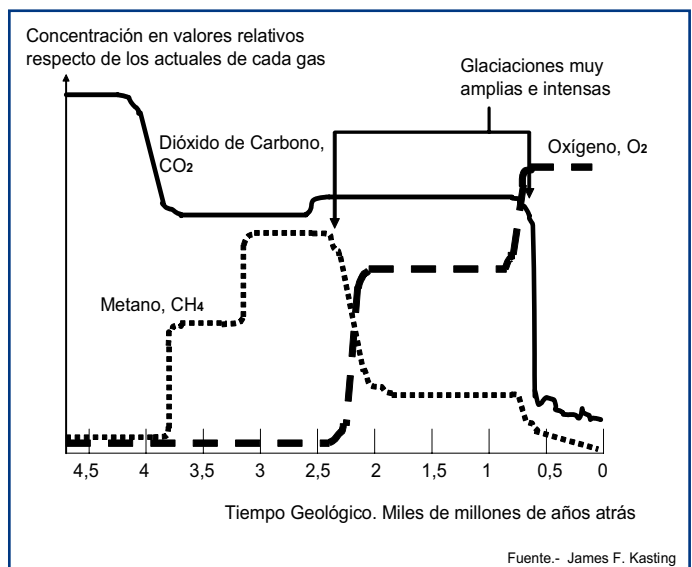


Figura 3. Evolución de la concentración de algunos gases en la atmósfera terrestre.

Parte de ese CH<sub>4</sub> que desapareció de la atmósfera pudo quedar atrapado en forma de grandes bolsas de hidratos de metano en los océanos, que en la actualidad se estudian como recurso de gas natural. Pero es un hecho del cual no tenemos datos fehacientes que puedan confirmar esa teoría.

Desde esta gran glaciación hasta hace unos 750 millones de años la Tierra tuvo una temperatura media que hacía que el agua de los océanos se mantuviera líquida. Una todavía elevada presencia de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, creaba un efecto invernadero suficiente aunque posiblemente la radiación solar era todavía menor que la actual. La vida quizás se fue desarrollando en los mares y tal vez en tierra firme.

Hace unos 800 millones de años, las distintas masas continentales se fueron acercando unas a otras hasta situarse en forma de una única a la altura del Ecuador Terrestre, quedando dos grandes océanos en lo que podríamos considerar los polos de la Tierra. Previsiblemente en esa época las lluvias intensas arrastraron CO<sub>2</sub> a los mares donde se formaron carbonatos, y la concentración de este gas en la atmósfera disminuyó drásticamente.

Se dieron dos grandes glaciaciones hace unos 750 y 600 millones de años respectivamente, los hielos cubrieron tanto esos océanos polares como gran parte de los continentes; en ellos el calor que, en periodos anteriores se evacuaba por los volcanes, se mantuvo en el interior de la corteza dando lugar a procesos orogénicos, que por un lado contribuyeron a una nueva separación de los continentes y posteriormente al aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera cuando éste fue expulsado.

Hace unos 500 millones de años se llega a unas condiciones climáticas que favorecen claramente el desarrollo de la vida, tanto en los mares como a continuación colonizando los continentes. Se inicia el crecimiento de las grandes áreas boscosas que fijaban CO<sub>2</sub> de la atmósfera, y dieron lugar a la formación del carbón, en gran medida hace unos 300 millones de años, tal como sugiere la figura 4.

El carbón proviene de grandes masas boscosas que crecieron y se hundieron en terrenos pantanosos, a la vez que recibían aportes de materiales rocosos procedentes

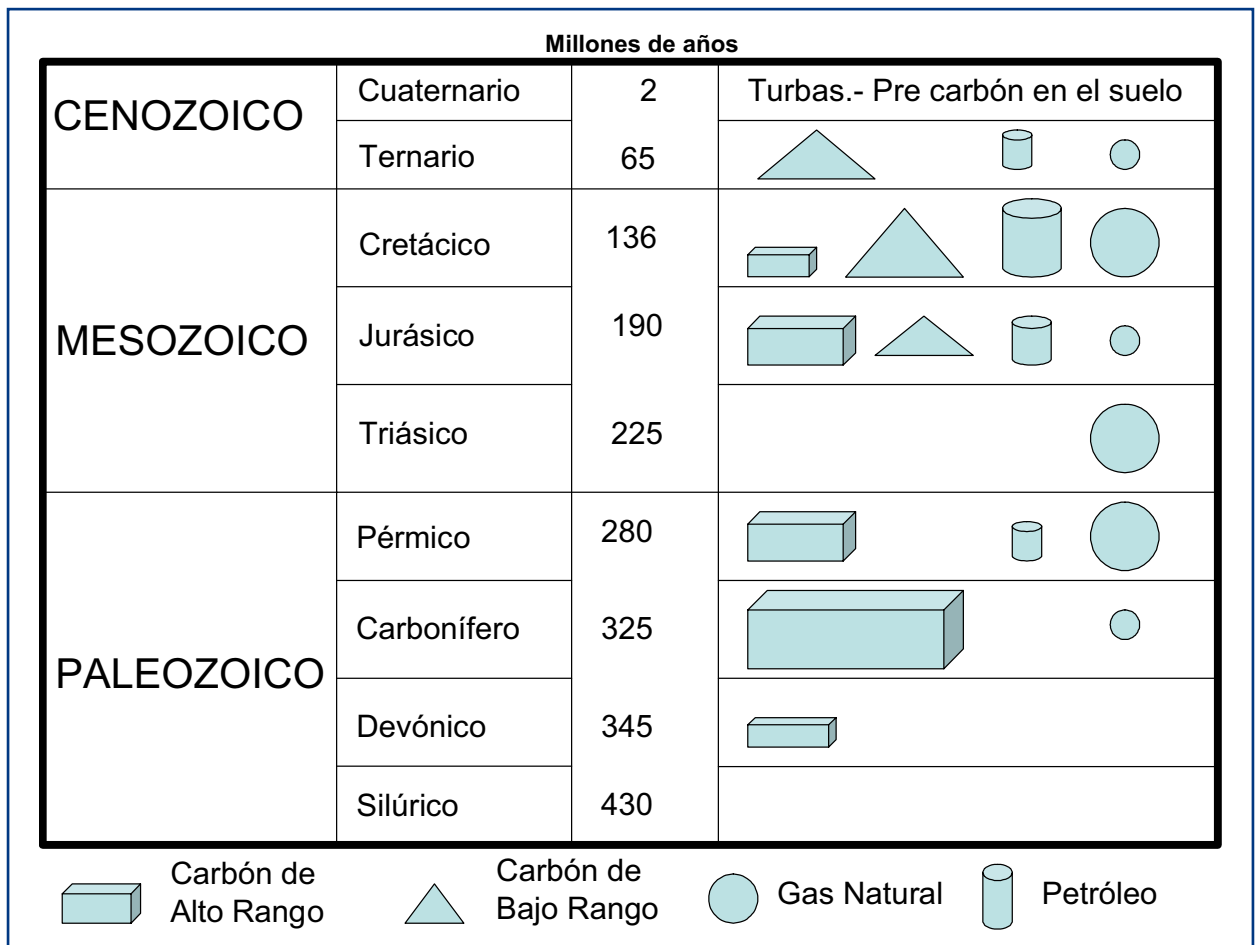


Figura 4. Periodos de formación de los combustibles fósiles.

de los procesos de erosión; así se conformaría un proceso sedimentario en el cual posteriormente habría deposición de nuevos aportes que comprimirían esa materia vegetal para en un proceso largo, de millones de años dar lugar a los diferentes tipos de carbones.

El petróleo se formó previsiblemente con posterioridad al carbón, posiblemente en entornos de marismas en áreas sedimentarias próximas al mar, con alta presencia de microorganismos que una vez cubiertos por esos sedimentos dieron lugar a hidrocarburos líquidos que quedaron en las “rocas madre” y “rocas almacén”. Parte de ese crudo se transformó en rocas y arenas bituminosas.

La formación del gas natural es más discutible que la del petróleo, pero la hipótesis de formación a partir de organismos vivos, en paralelo con la del crudo petrolífero, tiene fuerza, y a ello se une su aparición paralela en muchos campos mixtos de hidrocarburos. Lo cual no quita que algunos depósitos de gas natural tuvieran otro origen, como se ha apuntado anteriormente.

El periodo fértil de formación del carbón es más amplio que el de los otros dos combustibles fósiles, se inició hace casi 400 millones de años y continua todavía en los campos de turba, de ahí que sus reservas y recursos sean mucho mayores que los de petróleo y gas natural.

Con estos procesos de formación de los combustibles fósiles se atrapa en la Tierra una importante cantidad de carbono, procedente del CO<sub>2</sub> atmosférico, más adelante se verá que no es una cantidad despreciable, y que el hombre lo va a liberar con el uso de estos combustibles fósiles en un periodo de tiempo de unos 400 años, mientras que su formación duró casi esos 400 millones de años antes citados.

Los continentes siguen sus movimientos de separación, “Deriva Continental”, situándose una masa importante en el Polo Sur, y otras en una distribución parecida a la actual. Hace menos de 100 millones de años se cambian las corrientes de los océanos, lo cual incide en el clima de la Tierra; y se avanza hacia la época actual, que en su conjunto podríamos considerar que es fría, posiblemente antes de la actual conformación y distribución de los continentes la temperatura media de la Tierra era una decena de grados centígrados superior a la actual.

### PALEOCLIMA Y GLACIACIONES

Se puede pasar ahora a ver las oscilaciones del clima en los últimos 600.000 años, de las cuales se tiene una información bastante fiable, basada entre otros datos en los que aportan los testigos de los hielos polares y zonas cercanas, como Groenlandia. Se valora las cantidades de cada componente en la mezcla de gases que en ellos han quedado atrapados y los ratios entre ellos, por ejemplo el de los isótopos del oxígeno de masa atómica 16 y 18.

En el apartado anterior se vio la gran influencia de la evolución de los gases de efecto invernadero en la temperatura media de la Tierra, su presencia sigue ahí y los cambios de concentración van a seguir definiendo el clima. Pero éste tiene además otras componentes que conforman un conjunto de actores muy complejo. Conviene hacer una reflexión sobre algunos de ellos, que a escalas menores de tiempo que las consideradas en el apartado anterior pueden tener efectos significativos.

- Por un lado hay que considerar la órbita terrestre, es una elipse que va variando en sus parámetros de diseño con el tiempo, en ciclos de decenas de miles de años; el Sol se encuentra en un foco de ella, y el recorrido de la Tierra en unos ciclos se encuentra más cercano o más lejano del Sol; es el movimiento de precesión de la elipse. Véase la figura 5.

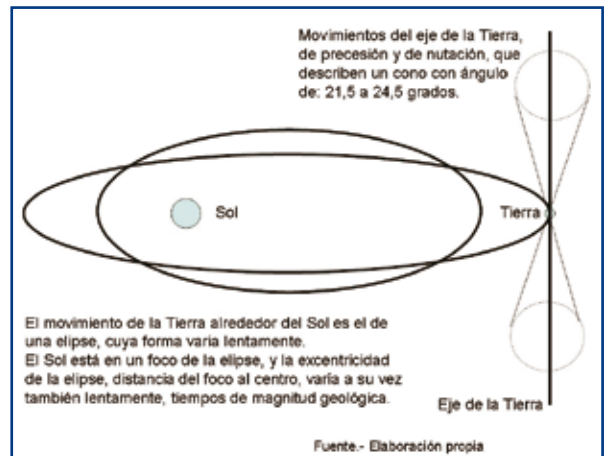


Figura 5. Movimientos o posiciones de la Tierra respecto al Sol.

Evidentemente esas variaciones de la forma de la elipse se traducen en diferencias de temperatura en la superficie de la Tierra, las cuales pueden llegar a ser importantes en lo que respecta a nuestra percepción de cambio de la temperatura media del planeta.

- La posición del eje de la Tierra respecto al plano de la elipse antes citada varía con dos movimientos, uno de precesión describiendo un cono doble, y otro de nutación que es una sinusoide circular que se superpone al anterior.

Lo más importante de esos movimientos oscilatorios es que en diferentes épocas, medidas en un número amplio de años, la Tierra cuando está más cerca del Sol, o más lejos de él, le presenta de frente el hemisferio norte, con más área continental, o el hemisferio sur con mayor superficie de agua; esto se traduce en variaciones

de la temperatura media de la Tierra, menores que las correspondientes al fenómeno anterior, pero también significativas.

- Otro fenómeno a considerar es la actividad solar, que se traduce entre otros parámetros, en la mayor o menor presencia de manchas solares en su superficie, y consecuentemente en la radiación que llega a la Tierra, por tanto la temperatura media de ésta. No es una situación perfectamente cíclica, aunque cambia en pocos años, en unas decenas. En la actualidad estamos en un periodo de alta actividad solar, con mayor radiación hacia la Tierra.
- Por último, en esta visión simplificada de la evolución del clima hay que considerar la variación de las concentraciones de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  en rangos menores a los geológicamente citados, como resultado de causas que se dan sobre la superficie terrestre.

La concentración de  $\text{CO}_2$  puede disminuir por ejemplo a causa de una fijación mayor del mismo en las aguas del mar si estas contienen nitrógeno y hierro en altas concentraciones, lo cual parece que se ha dado en ciertos periodos geológicamente no muy lejanos.

Por su parte la concentración de metano,  $\text{CH}_4$ , ha variado entre otras causas con el nivel de incidencia de la radiación solar sobre la superficie de la Tierra.

Todo esto conforma un esquema de clima en el cual hay que considerar de forma especial los movimientos de agua en el mar, grandes corrientes marinas que circulan por los océanos transportando calor, o fenómenos periódicos como el de El Niño en el océano Pacífico, o de aire con el sistema general de circulación de vientos en varias bandas de latitud terrestre. No se va a entrar en el análisis de estos, pero se invita al lector a estudiarlos, aunque más adelante se volverá al anillo de circulación marina.

Volviendo así a la evolución del clima en la Tierra, hay que constatar que en los últimos 600.000 años se ha vivido un periodo frío, con seis glaciaciones, relativamente largas en el tiempo, separadas por otros tantos periodos interglaciares de corta duración entre 10.000 y 30.000 años. En la actualidad nos encontramos en uno de esos periodos interglaciares, que se inició hace 11.000 años.

En esos cientos de miles de años, la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera se estima ha oscilado entre 200 y 300 partes por millón en volumen, ppmv. Las puntas superiores de presencia de  $\text{CO}_2$  se corresponden con periodos calientes y las amplias épocas con baja concentración a periodos glaciares; hay un paralelismo muy significativo.

No está claro cual de los parámetros actúa sobre el otro, si la concentración de  $\text{CO}_2$  sobre la temperatura o viceversa; hay explicaciones para las dos suposiciones, pero en cualquier caso es de señalar la correlación entre ambos parámetros. Lo que quizás es más significativo es el retorno rápido de los periodos cálidos hacia esos otros más prolongados de frío y glaciación.

En las épocas glaciares se estima que la temperatura media en la superficie terrestre ha sido de unos 5 °C inferior a la actual. Una diferencia que nos puede parecer pequeña para los cambios tan importantes que ha conllevado en la habitabilidad del planeta. No olvidemos que está Humanidad que hoy pensamos es inmutable ha nacido culturalmente después de unos miles de años del inicio del último periodo interglaciar que como se ha dicho comenzó hace unos 11.000 años.

En la figura 6 se observa la estimación de la evolución de la presencia de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera, los amplios periodos con bajas concentraciones se unen a las glaciaciones, y los picos de altos valores de  $\text{CO}_2$  a los periodos interglaciares. Hay que observar que esas oscilaciones se mantuvieron previsiblemente entre valores de 200 y 300 partes por millón en volumen, ppmv.

En la actualidad nos encontramos con valores de concentración de  $\text{CO}_2$  de 380 ppmv, es decir nos hemos ido fuera de ese rango de variación; así mismo la concentración de metano,  $\text{CH}_4$ , ha crecido también. Por lo tanto hay que esperar previsiblemente cambios importantes en el clima de la Tierra, con fenómenos de calentamiento posiblemente importantes, pero con alteraciones también en otros parámetros climáticos.

Esa gráfica se conoce con la denominación de “palo de hockey”, y sobre ella hay discrepancias en su diseño y correlación con la temperatura media de la Tierra; incluso se cuestiona si se puede hablar de la evaluación de esa “temperatura media” cuando no había un mallado de estaciones meteorológicas que lo determinarían.

Es posible que en los últimos cientos de miles de años hayan sido los océanos los que incidieron en esa oscilación de las concentraciones atmosféricas del  $\text{CO}_2$ , por mayor o menor capacidad de fijación, previsiblemente unida a la presencia en sus aguas de diferentes concentraciones de nitrógeno y hierro, como se ha sugerido anteriormente. También las posiciones relativas del Sol y la Tierra habrán tenido su influencia en la evolución del clima.

Los amplios periodos de glaciación reducen el desarrollo de la vida en buena parte de la superficie terrestre, sobre todo la que se encuentra en el Hemisferio Norte, dejando otras zonas para el “mantenimiento de la vida”, África en primer lugar, de donde parece procede



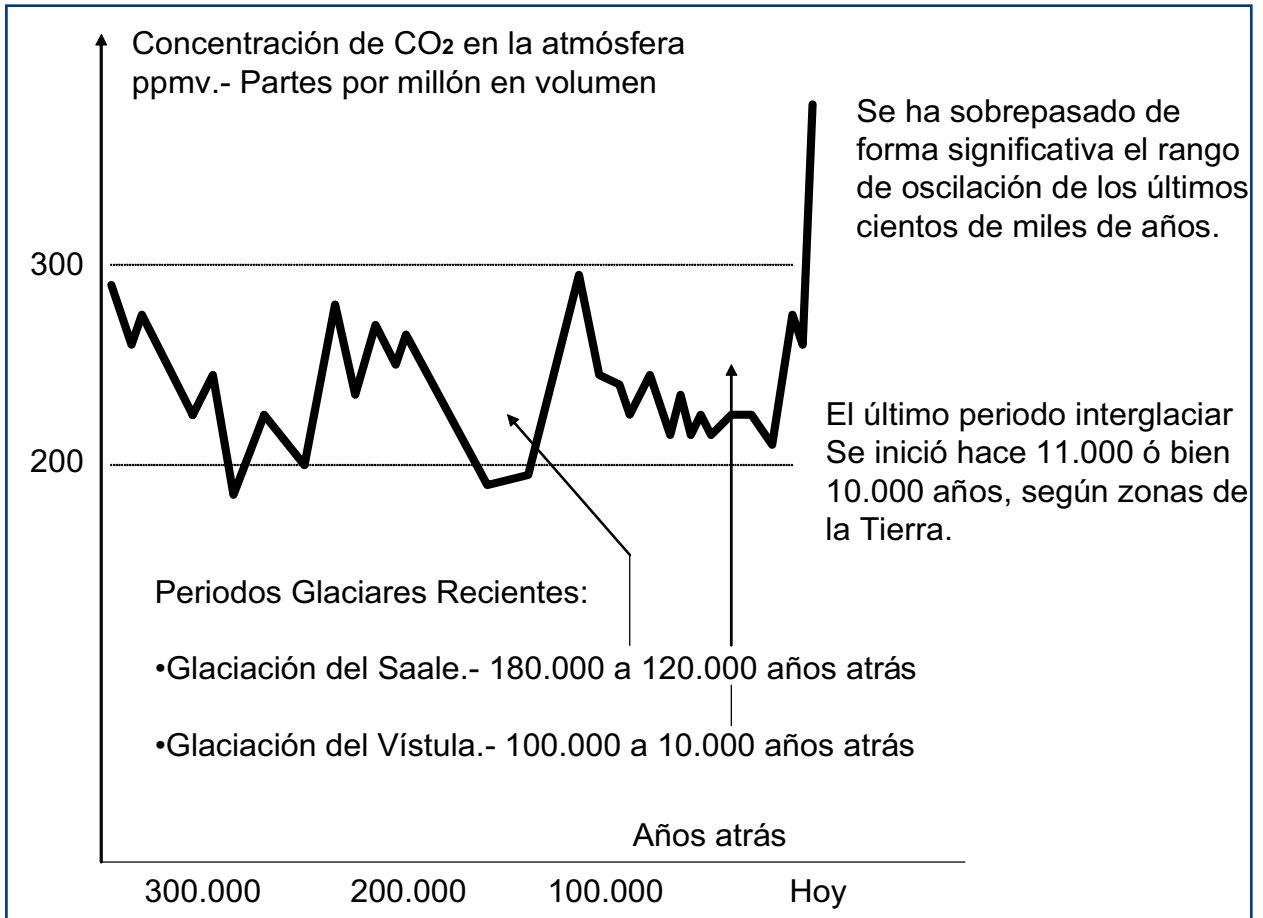


Figura 6. Últimos periodos glaciares y la concentración de CO<sub>2</sub> correspondiente.

la especie humana, Asia Meridional, el Mediterráneo y América Central y del Sur.

El hombre apareció sobre la Tierra hace unos 2 millones de años, es decir como especie ha soportado los periodos glaciares y los interglaciares, aunque fundamentalmente en un modo de supervivencia animal y con un número reducido de individuos. Controló el fuego hace más de 500.000 años, quizás de forma paralela en todo su entorno geográfico de extensión como especie, y esto le facilitó la supervivencia y extensión en entornos fríos.

Su evolución hacia una especie tecnológica, tal como hoy la entendemos, comenzó hace unos 7.000 años en los valles de los grandes ríos, de Asia Meridional y de África, cuando estableció los primeros esquemas agrícolas; posteriormente aparecieron los focos de desarrollo social en América Central y la Zona Andina. La población mundial comenzó a crecer hace unos 4.000 años, coincidiendo posiblemente con una bonanza climática, es decir temperaturas relativamente altas.

### HISTORIA RECIENTE DEL CLIMA

Sabemos algo del clima en los 2.000 últimos años, pero también sobre todo de la Humanidad, y podemos interrelacionar ambos parámetros, sobre todo para pensar en el futuro y en las consecuencias de la evolución climática. Parece que antes del comienzo de nuestra era tuvimos un largo periodo de temperaturas altas que duró varios milenios, en el cual se produjo el desarrollo de la agricultura y algunas de las migraciones humanas de las cuales ya habla la Historia.

En la figura 7 se recoge una información referente a hechos sociales y climáticos en los primeros siglos de nuestra era, es el entorno cálido greco romano, que facilitó la extensión social y cultural por el Mediterráneo, y del cual emana la estructura cultural de los europeos y por extensión de los americanos.

El Imperio Romano se desarrolló en un periodo de clima cálido y húmedo, lo que favorecía que las cosechas fueran buenas, y la habitabilidad de muchos lugares fuera agradable, aun con los medios deficientes para calefacción en invierno de que se disponía en aquella época.

**CÁLIDO GRECO ROMANO:**

- *La temperatura media en el entorno del Mediterráneo era previsiblemente mayor que la actual.*
- *Al sur de este mar posiblemente había un entorno natural no degradado y fértil. Túnez era el granero del Imperio Romano.*
- *La alimentación en general era buena y la población humana creció de forma significativa hasta el siglo IV de nuestra era.*
- *Un período siguiente de enfrentamiento y malas cosechas, en particular en la zona Euro Asiática, forzó la emigración hacia el sur de los habitantes de ese territorio.*
- *Invasión de los Bárbaros del Norte, (Barbari significa extranjero en latín), y caída del Imperio Romano.*

Figura 7. Referencias climáticas y sociales del Imperio Romano.

Se extendieron algunos cultivos: la vid y el olivo por ejemplo, que junto al pan de trigo y la pesca de atún y sardinas, fueron una característica de la alimentación de las gentes del Imperio. La población creció, es posible que, en torno al Mediterráneo, en una forma amplia de verlo, se ubicaría unos cincuenta millones de personas.

Hubo en torno al siglo IV una caída de la temperatura media y posiblemente un régimen de nieves y lluvias adverso, que afectaría negativamente a las cosechas, en particular a las de las zonas frías de Eurasia, forzando a la emigración de los pueblos del norte hacia el sur. Los Bárbaros del Norte, en invasiones sucesivas, provocan la progresiva caída del Imperio Romano, que fue un fenómeno político largo.

No olvidemos, pensando en el momento actual en que vemos llegar “extranjeros del sur”, que “bárbari” significa extranjero en latín; es decir es la llegada de los emigrantes de fuera del Imperio, quizás no sólo por razones climáticas sino también por el efecto llamada de la riqueza del Imperio y sus ciudades.

En ese proceso, se produce en paralelo una degradación social que afecta en buena medida a las grandes ciudades, las clases acomodadas se vuelven a sus villas, que crecen y se enriquecen. Es la época que nos ha dejado restos arqueológicos de éstas, por ejemplo en Castilla, donde además se desarrolló en aquel periodo el sistema de calefacción en el suelo de esas construcciones, las “glorias” que hasta hace pocas décadas se encontraban en esta región española.

La temperatura de la Tierra se mantiene fría en la Alta Edad Media, aunque con oscilaciones en sus valores; es una época oscura en el desarrollo de la cultura europea, aunque floreciente en otros entornos más al sur, Norte de África y Oriente Medio, o en Meso América.

Después la temperatura se eleva de forma significativa hasta lo que se denomina “Cálido Medieval”, en torno al año 1000, quizás el periodo con el valor más alto en esos 2.000 últimos años. En él aparecen algunos aspectos sociales o históricos, que se resumen en la figura 8.

**PERÍODO CÁLIDO MEDIEVAL:**

- *En torno al año 1000, siglo IX a XII, se produce un breve periodo cálido, quizás con las temperaturas más elevadas de los dos últimos milenios.*
- *Los vikingos pueblan Groenlandia, cuyo nombre significa “Tierra Verde” y que le dieron estos navegantes. Su permanencia allí es corta, abandonan la isla en pocos siglos.*
- *Se produce el fin de la Edad de Oro de la Cultura Maya, su alimentación pudo decaer por falta de agua suficiente en un período que además de cálido parece que fue seco, al menos en su entorno.*
- *El actual Marruecos es invadido por pueblos del sur de la Cordillera del Atlas, quizás expulsados por el calor excesivo. Los almorávides (siglos XI y XII) y los almohades (siglos XII y XIII) invaden la Península Ibérica.*

Figura 8. Aspectos históricos relevantes conexos con el Cálido Medieval.

De los tres aspectos históricos que se relacionan en este cuadro, la colonización vikinga de Groenlandia es el más significativo, el hecho de que hubiera vegetación en una zona costera de esta isla y la facilidad de navegación por el Atlántico Norte hasta ella, y quizás a las costas americanas, nos muestra una situación climática muy distinta a la que estamos acostumbrados.

Después de estos dos periodos cálidos aparece otro frío, muy singular del cual hay mucha información, al menos en Europa, es el conocido como “La Pequeña Glaciación”, que se extiende a lo largo de los siglos XVII a XVIII. Podemos señalar algunos hechos singulares al respecto, que se resumen en la figura 9.

Sería interesante indagar en los cambios habidos en los diferentes países de Europa. Sabemos que en la parte norte de la Península Ibérica había antes de ese periodo amplios cultivos de cítricos. Pedro Teixeira, cartógrafo portugués, en su Atlas del Rey Planeta así lo

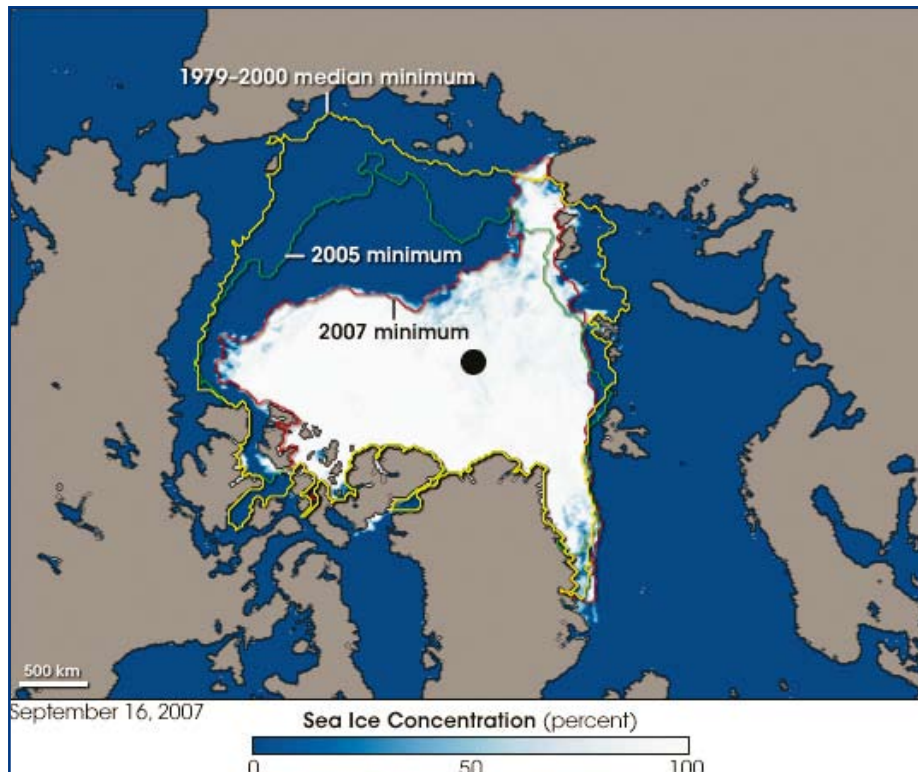
**LA PEQUEÑA GLACIACIÓN:**

- Es un período que se extiende desde mediados del siglo XVI hasta el comienzo del siglo XIX. La temperatura media fue sensiblemente menor que la actual.
- Se costata la congelación de las aguas del río Támesis y la celebración durante muchos años de un mercado sobre sus aguas.
- En el año 1605 se pudo cruzar el río Ebro a la altura de Tortosa en mula.
- Es un período de malas cosechas y hambrunas. Proliferan las guerras en Europa, entre ellas las de religión. Termina con la Revolución Francesa.
- Se produce una importante migración de europeos, pero también chinos, hacia América, no sabemos que influencia tuvo el clima.

Figura 9. Aspectos sociales y climáticos en la Pequeña Glaciación.

refleja al describir los puertos de esa costa, desde donde se exportaban esos frutos de Flandes.

Los cambios en todo el continente europeo y en otros debieron ser importantes. Hay que citar que en ese periodo frío se dieron ciertos retrocesos sociales después del Renacimiento, pero sobre todo que estuvo plagado de guerras y conflictos.



Llegamos así a los dos últimos siglos de nuestra Historia, que en general presentan una evolución creciente de la temperatura, aunque entre 1940 y 1970 hubo un estancamiento de ese aumento y en realidad un descenso de la misma, quizás por influencia de la actividad solar que fue baja en esos años. Hubo algunos miedos en esas tres décadas de que el clima podía retornar a otra época glacial.

La temperatura actual no ha alcanzado los picos de épocas pretéritas, pero no tan lejanas, tal como sugiere lo dicho en este apartado, pero si está experimentando un calentamiento que se presenta preocupante para los humanos que en ella vivimos, independientemente de cuales sean las causas del fenómeno.

No debemos olvidar no obstante que el entorno natural en la Tierra se ha degradado de forma muy significativa respecto al que debía ser en otros periodos cálidos, del Imperio Romano o el Cálido Medieval. Por otro lado la población humana en la Tierra se ha disparado, hace 2000 años se supone que unos 300 millones de humanos poblaban el planeta, en 1780 se estimaba en 1.000 millones de personas, en los 150 años siguientes se dobló, y en los 70 años últimos se ha triplicado la población mundial.

**EMISIONES DE GASES DE EFECTO****INVERNADERO EN LOS DOS ÚLTIMOS SIGLOS**

Ese incremento de la población humana ha tenido en paralelo la extensión del uso de los combustibles fósiles propiciada por la llamada “Revolución Industrial”, primero con el crecimiento en el uso del carbón a lo largo de los siglos XIX y XX, y los del petróleo y gas natural en el siglo XX. Las emisiones de CO<sub>2</sub> debido a los usos energéticos del hombre han crecido de forma significativa a lo largo de los últimos doscientos años, y sobre todo en la segunda mitad del siglo XX.

Otras actividades también propiciadas por ese desarrollo humano, y relacionadas con los cambios de los usos de la tierra: la deforestación, la extensión de la ganadería y la agricultura, han propiciado el aumento de las emisiones netas de CO<sub>2</sub> y también las de CH<sub>4</sub>; ambos gases, según se vio en apartados anterior-

res, tuvieron incidencia destacada en la evolución del clima en la Tierra.

La figura 10 recoge una estimación de las emisiones de carbono a lo largo de ese periodo de dos siglos de cambio rápido en la Humanidad en los que ha crecido la capacidad de los humanos de actuar sobre la naturaleza y el clima. Los valores de flujos en esa figura están medidos en carbono, no en CO<sub>2</sub>.

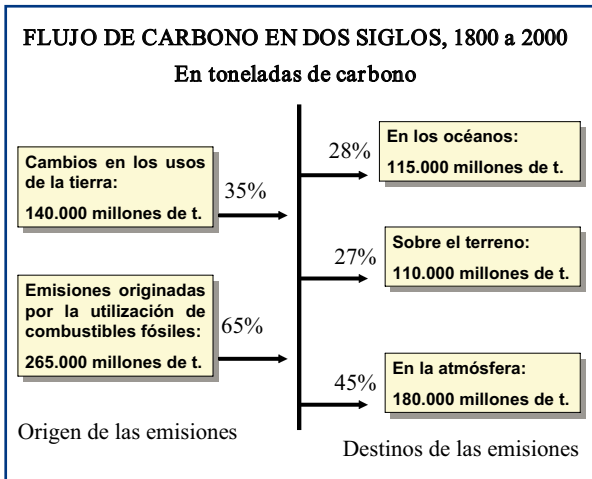


Figura 10. Estimación de flujos de carbono en los dos últimos siglos.

El mayor volumen de emisión de carbono, las dos terceras partes, se corresponde con el uso de los combustibles fósiles, es decir nuestra nueva actividad energética; pero no hay que olvidar esos cambios en los usos de la tierra que han hecho que se pierda materia carbonosa en bosques y en el terreno. Más adelante se vuelve a reflexionar sobre la cantidad de carbono almacenada en cada entorno.

También es llamativo el lado de la derecha de la figura, los sumideros de carbono. El terreno ha fijado algo más de la cuarta parte del total del carbono emitido, menos que el procedente de los cambios del uso de la tierra. Los océanos han fijado una partida similar, quizás ese volumen pudiera haber sido mayor si se hubieran dado las condiciones adecuadas, tal como se sugirió anteriormente para periodos de descenso de la concentración de carbono en la atmósfera.

El hecho es que la cantidad de carbono en la atmósfera se ha incrementado en estos dos últimos siglos en 180.000 millones de t. una cifra muy significativa. Se constata así que a principios del siglo XXI nos encontramos con unos valores de concentración de CO<sub>2</sub> mayores que los habidos en los últimos 600.000 años, y que hacen que se produzca un incremento de la temperatura media superficial de la Tierra.

Las actuales concentraciones de gases de efecto invernadero se valoran con los siguientes datos:

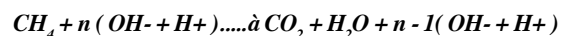
- **Dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>**- Unas 380 partes por millón en volumen, ppmv. Valor que parece se sitúa muy por encima del rango de variación habido en los últimos seiscientos mil años, entre 200 y 300 ppmv. Se estima que al inicio de la Revolución Industrial esa concentración de CO<sub>2</sub> se encontraba en torno a 250 ppmv, es decir en siglo y medio se ha incrementado un 50%.
- **Todos los gases de efecto invernadero medidos como CO<sub>2</sub> equivalente**- Su concentración es de unos 430 ppmv de CO<sub>2</sub>eqv. Se estima que para que la temperatura de la Tierra no se incremente más de 2°C a lo largo de este siglo su valor no debiera pasar del rango 450 a 550 ppmv, lo cual parece difícil de conseguir, tal como se muestra más adelante.

Es conveniente hacer ahora unas matizaciones sobre el papel de los dos gases de efecto invernadero más significativos, el dióxido de carbono y el metano. El primero representa en la actualidad alrededor del 60% de esa acción de retención de las radiaciones térmicas que emite la Tierra, mientras que el metano supone en torno del 20%; por ello la atención principal se centra hoy por hoy en el dióxido de carbono, pero sin olvidar el metano.

Las concentraciones reales de ambos gases son distintas de los valores anteriores, la del CO<sub>2</sub> es más elevada que ese 60%, y la del CH<sub>4</sub> sensiblemente inferior al 20% antes citada; pero el poder de reflejar las radiaciones térmicas de la Tierra, es decir el efecto invernadero, es mucho mayor en el metano que en el dióxido de carbono, veintiuna veces el correspondiente al CH<sub>4</sub> que el del CO<sub>2</sub>.

La vida media de ambos gases en la alta atmósfera es de unos 10 años, es decir una determinada cantidad de moléculas de cualquiera de los dos gases se reduce a la mitad al cabo de diez años. El CO<sub>2</sub> se disuelve en el vapor de agua y descienda a la tierra en forma de agua acidulada.

Hay que llamar la atención al proceso de descomposición del metano, que también reacciona con el vapor de agua, pero con el ión hidroxilo de ésta, en su descomposición iónica:



Hay una cierta prevención respecto a la posibilidad de que se incremente la concentración de hidrógeno en la atmósfera si este elemento pasa a ser un portador energético de uso habitual en el futuro, por ejemplo como carburante, y se producen fugas en su utilización. El hidrógeno es ávido por los iones hidróxilo, reaccionaría con ellos, y reduciría su presencia en la atmósfera, lo que haría que la vida media

del metano en la atmósfera se hiciera más larga, incrementando así su efecto invernadero.

La situación actual estimada de los flujos de carbono es la indicada en la figura 11, se pueden considerar dos ciclos básicos en la circulación de CO<sub>2</sub>, que aquí se vuelven a expresar como carbono y no como CO<sub>2</sub>.

- **Flujos entre la vegetación y la atmósfera.-** Es el mayor flujo individual de carbono, los bosques y el resto de la cubierta vegetal de la Tierra fijan el CO<sub>2</sub> del aire para el crecimiento de todo tipo de especies vegetales, a la vez desde ella se emite a la atmósfera una gran cantidad de CO<sub>2</sub> en el proceso de respiración de las plantas y en su descomposición.

El resultado se estima que en la actualidad es un flujo equilibrado en torno a los 110.000 millones de toneladas de carbono al año. En los periodos geológicos pretéritos, cuando el crecimiento de los bosques era muy intenso, y se formaban sedimentos de materia carbonosa, el flujo de fijación previsiblemente era mayor que el de emisión.

- **Flujos entre el océano y la atmósfera.-** Es una circulación ligeramente menor que a la anterior, que se estima tiene un balance ligeramente positivo para la fijación de carbono, unos 3.000 millones de toneladas anuales. Como se indicó anteriormente es posible que en algunas épocas pretéritas esa fijación fuera mayor en los periodos de alto contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera; a veces se escuchan propuestas de forzar esa retención inyectando nitrógeno y hierro en las aguas del mar, aunque esto introduce incertidumbres de la evolución de la vida en el medio marino.

Aparte de estos dos grandes ciclos hay otras dos fuentes de emisión. En primer lugar las derivadas de los cambios en los usos de la tierra ya citados, más concretamente los incendios de bosques, que adicionalmente a sus emisiones de CO<sub>2</sub>, facilitan la descomposición del suelo orgánico y la pérdida de carbono en el mismo.

Finalmente hay que analizar la emisión de CO<sub>2</sub> derivada del uso de los combustibles fósiles, que es la que nos preocupa más a efectos de este documento. Ésta ha crecido a lo largo de los dos últimos siglos y es un flujo de menor volumen que los dos básicos pero ha sido un aporte adicional que ha potenciado el incremento de la cantidad almacenada en la atmósfera.

En la figura 11 se indica la cantidad de carbono que se acumula en los diferentes focos de estos flujos. El mayor almacén con diferencia es el agua del mar, la atmósfera contiene una cantidad pequeña comparándola con la contenida en las diferentes reservas terráqueas,

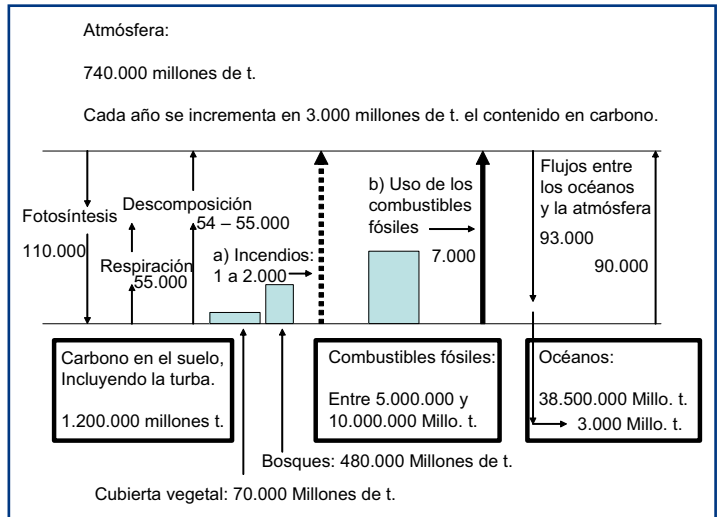


Figura 11. Ciclos de flujos de carbono entre la tierra y la atmósfera.

pero hay que indicar que se estima un crecimiento de unas 3.000 millones de toneladas anuales de carbono en la cantidad contenida en la atmósfera.

### ORIGEN DEL ACTUAL CAMBIO CLIMÁTICO Y VALORACIÓN DE SUS EFECTOS

Con los datos anteriores, durante años ha habido discusiones, y toma de posturas encontradas, sobre la capacidad del hombre para alterar el clima, o bien sobre el valor relativo de las emisiones de carbono de origen antropogénico; en la actualidad la mayoría del mundo científico asume que el hombre sí está cambiando las condiciones de contorno que marcan la evolución climática de la Tierra.

Aquí no vamos a traer los diferentes argumentos al respecto en esa discusión, que continuará previsiblemente durante algunos años; pero si se quiere hacer una reflexión sobre los almacenes, y los flujos de carbono, para entender que los hombres estamos actuando sobre puntos sensibles del actual equilibrio, y por lo tanto incidimos en la evolución del clima, aunque quizás no somos el único factor de cambio.

Una cantidad muy elevada del carbono en la Tierra, la mayor con diferencia, se encuentra en las rocas carbonatadas, que a efectos del clima podemos considerar un almacén estable, tal como se dijo anteriormente; bien es verdad que hay una circulación continua de formación y descomposición, pero el tiempo de cambio se mide en cientos de millones de años, por lo tanto no es un factor a considerar en la alteración o evolución climática.

En la figura 12 se refleja la participación en el almacenamiento de carbono en los diferentes entornos terrestres. Como se ha indicado anteriormente el mar es el mayor con diferencia, supone las dos terceras partes del

conjunto; hay que señalar que en la medida que se pierda capacidad de crear vida en el mar, entre otras razones por la degradación ambiental de sus aguas y sus costas, previsiblemente menor será su capacidad de fijación.

La vegetación y el suelo, por medio de la materia orgánica de los mismos, almacenan una fracción muy pequeña del carbono total circulante, pero su velocidad de fijación es muy alta, también lo es la de su emisión; es decir su ciclo es muy rápido y en ese sentido puede influir rápidamente en la evolución del clima. La pérdida de masa boscosa es un factor crítico en ese balance negativo que se ha citado más arriba, el hombre está contribuyendo de forma significativa a esa destrucción de bosques, y continúa en esa acción.

La cuestión más relevante a nuestro juicio respecto a los almacenes de carbono es que los combustibles fósiles suponen un tercio del carbono fijado en este ciclo global, tal como se muestra en la figura citada. Bien, ese volumen fue acumulado durante cuatrocientos millones de años, mientras que el hombre lo va a poner en la atmósfera en unos cientos de años, es decir a una velocidad un millón de veces mayor que como lo hizo la Tierra.

Es hora de asumir pues que nuestras acciones introducen un cambio significativo en los equilibrios de la Tierra y en la evolución climática, vamos a actuar en pocos años sobre un tercio de ese ciclo de carbono. Otra cuestión distinta es como se puede cambiar esta situación hacia la que caminamos, sí es que se puede hacer sin introducir problemas más graves para la especie humana.

También es verdad que sabemos poco sobre el clima y los factores que lo condicionan, y eso también nos debiera llevar a una mayor investigación y reflexión. Otras emisiones de origen bien antropogénico bien derivadas de fenómenos naturales inciden también en la capacidad de filtrar radiaciones que recibimos del Sol o en la retención de las radiaciones que emite la Tierra.

Es el caso de los aerosoles que se forman en la atmósfera debidos entre otras causas a las emisiones ácidas, óxidos de nitrógeno y de azufre, que reaccionan con el agua o con las partículas. Estos compuestos en suspensión tienen un efecto contrario al de los gases de efecto invernadero, aunque en conjunto en menor escala. (HANSEN).

Hay que señalar que en esos años desde 1940 a 1970 en los cuales hubo un cierto enfriamiento en la temperatura media de la Tierra, quizás una décima de grado, que

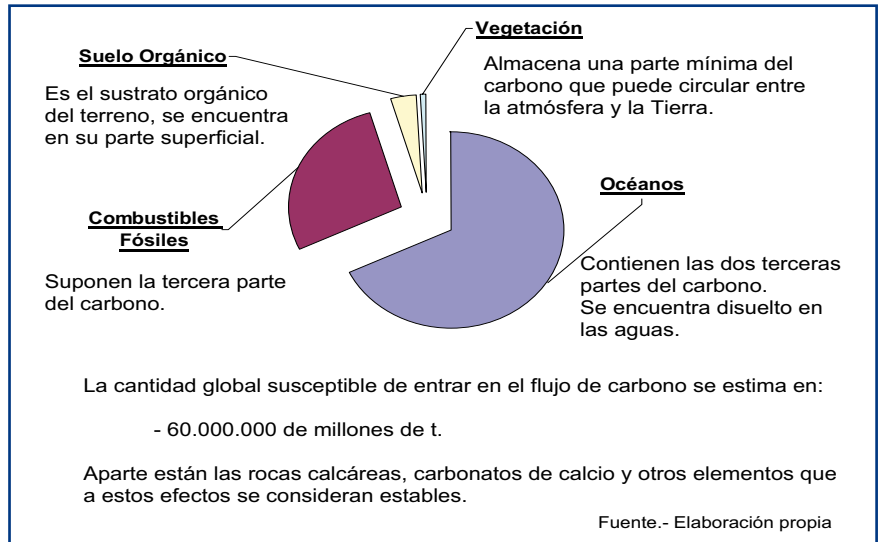


Figura 12. Almacenes de carbono que entran en la circulación de CO<sub>2</sub>.

coincidió con un incremento de las emisiones ácidas de origen antropogénico, se llegó a plantear que el hombre inducía una nueva glaciación.

Las partículas sólidas que se encuentran en la atmósfera tienen carácter reflectante sobre la radiación solar que incide en la Tierra, pueden estar originadas por actividades humanas, pero también por fenómenos naturales. Han sido significativos a este respecto las erupciones volcánicas, la del volcán Tambora en Indonesia en 1815 emitió tal cantidad de polvo que al año siguiente prácticamente no hubo verano.

Hoy previsiblemente se sabe más de la evolución climática y sus causas, ello nos lleva a preocuparnos más por los gases de efecto invernadero cuya concentración crece en la atmósfera, y cuyo efecto parece uno de los más significativos en los cambios del clima, sin que se olviden otros. Así se estiman las siguientes variaciones. (BALAIRON).

- Aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en los dos últimos siglos: Para el CO<sub>2</sub> un 35%, el CH<sub>4</sub> un 145%, y N<sub>2</sub>O el 15%.
- La Tierra recibe del Sol una cantidad de energía valorada en 240 W/m<sup>2</sup>, de la cual la reflexión o albedo se supone un 30%.
- La concentración de los gases de efecto invernadero hacen variar el valor neto de la energía que queda en la Tierra.

Las Naciones Unidas crearon en 1988 el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático, IPCC, que periódicamente emite informes, años 1990, 1995, 2001 y 2007, los cuales van creando un cuerpo de documentación, tanto con datos contrastados, como de predicciones hacia futuro.

Los ecosistemas de la Tierra almacenan carbono tal como se ha indicado anteriormente, algo más de la mitad del mismo se localiza en los bosques: boreales en mayor medida, seguidos por los tropicales, y los templados en menor medida. Se constata una reducción progresiva de la masa forestal tropical y del carbono almacenado, fundamentalmente en África y América del Sur. (FIDALGO Y SANCHO).

La Tierra en su entorno natural se encuentra deteriorada, en buena medida por la acción del hombre, la pérdida de masas forestales arriba citada, la erosión del suelo y la degradación de los mares, son tres aspectos críticos y eso le quita capacidad de respuesta a los fenómenos que parece se derivarán del Cambio Climático, y que ya se están viendo llegar. (DOW).

La temperatura media de la Tierra se ha incrementado en un valor que se estima entre 0,4 y 0,7 °C, en mayor medida en el Hemisferio Norte que en el Hemisferio Sur. No es un valor muy alto, lo que preocupa más es que los modelos de evolución climática sugieren que ya no es factible evitar que la temperatura media del conjunto de la Tierra se eleve 2 °C a lo largo de este siglo XXI.

Se observan cambios en los regímenes de precipitaciones acuosas, y las previsiones apuntan a que se incrementarán en determinadas zonas, por ejemplo en América del Norte y en parte de Centro y Norte de Europa, mientras que pueden ser menores en el entorno del Mediterráneo y el África Subsahariana. (CAÑADA).

Asistimos a la pérdida continuada de hielo en el Océano Ártico, y este es otro factor de calentamiento, quizás no sólo de origen antropogénico. El hielo refleja más las radiaciones solares que el agua líquida, en la medida que se pierda masa de hielo en este Hemisferio Norte, más será la radiación solar que se quede en la Tierra, en esas latitudes.

En España se mide la evolución del nivel del agua del mar en nuestras costas, las observaciones en Santander, Coruña y Vigo, muestran que desde 1950 a la actualidad éste se ha incrementado en unos 8 cm, a un ritmo de crecimiento de 2 mm anuales en los últimos años; valor que coincide con otras mediciones en el Atlántico Norte, y que induce preocupaciones globales para este siglo.

Estamos pues ante hechos que muestran un cambio en nuestro contexto climático, que quizás los países más desarrollados podemos gestionar, es posible que tengamos capacidad para ello. No así en los países menos favorecidos tal como se sugiere más adelante.

Los miedos a “cambios dramáticos”, por ejemplo la ruptura de la corriente termohalina, no parecen de momento justificados, aunque no son descartables. Esta corriente es la de circulación marina, cuyo flujo de aguas calientes se muestra en la figura 13, que evacua calor de las zonas tropicales y lo lleva a las regiones polares, tiene un efecto de “igualación de temperaturas”. Se ceba

por el hundimiento de aguas frías en los entornos de Groenlandia, Islandia y el Continente Antártico.

Hay que pensar que quizás ese efecto de ruptura o aminoramiento de la circulación termohalina pudo darse en el Cálido Medieval, cuando Groenlandia no disponía de hielo en sus costas, que al hundirse en el mar como agua fría ceba la corriente; no habría evacuación de calor en las zonas tropicales y esto hizo que hubiera una punta de calor. Siendo esta una reflexión que queda en ese mar de dudas que tenemos en torno al clima.

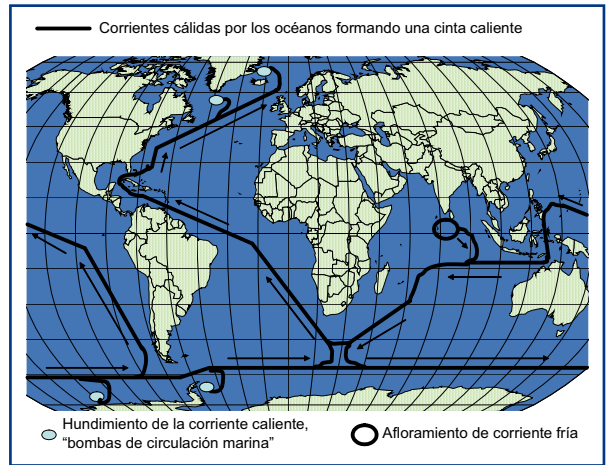


Figura 13. Circulación termohalina. Parte correspondiente a las aguas calientes.

### AFECTADOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

En las reflexiones sobre la incidencia del cambio climático en la naturaleza es preciso valorar de forma especial la afección a la habitabilidad humana del entorno. Aquí se quiere hacer mención específica a dos áreas geográficas que pueden ser afectadas y que por diferentes razones están muy cerca de nosotros. Figuras 14 y 15.

Uno de los aspectos más preocupantes es el avance de la erosión y de la desertización, pues si bien estos espacios tienen su propia estructura de especies y conforman una naturaleza específica, en ella la posibilidad de vida para la especie humana es más reducida, el número de individuos que en esos entornos podemos vivir es menor. Otro son los derivados de la dinámica marina, bien huracanes y tornados, bien invasión del agua salada de los acuíferos terrestres por efecto del incremento del nivel del mar.

La especie humana camina hacia unos 9.000 millones de personas para mediados de este siglo XXI, las cuales precisarán en primer lugar disponer de agua y alimentos, pero también de posibilidades de crecimiento económico, al menos para los países más desfavore-

**NORTE Y CENTRO DE ÁFRICA:**

- *Incremento de la temperatura por mayor temperatura media de la Tierra.*
- *Distribución posiblemente más irregular que la actual de las lluvias.*
- *Elevación del nivel del mar en las costas, especial afección al delta del Nilo y al estuario del río Gambia, pero también a otras áreas.*
- *Traslación de todo ello hacia una evolución negativa en la producción de alimentos. Mayor incidencia de las hambrunas.*
- *Efectos desfavorables sobre el desarrollo del turismo.*
- *Aumento de algunos condicionantes que fuerzan la emigración masiva.*

Figura 14. Reflexiones sobre la incidencia del Cambio Climático en el Norte y Centro de África.

**AMÉRICA CENTRAL Y CARIBE:**

- *Incremento de la temperatura, tanto por mayor temperatura media de la Tierra, como por posiblemente menor evacuación de calor desde esta zona geográfica hacia latitudes mayores a causa de una menor actividad de la Corriente del Golfo.*
- *Mayor incidencia negativa de los huracanes y tifones en el lado atlántico, donde ya tradicionalmente ocasionan graves problemas. Posible llegada de huracanes en la costa del Pacífico.*
- *Posible reducción de la disponibilidad efectiva de agua para agricultura y para otros usos. Es previsible una mayor intensidad de la evaporación superficial y por lo tanto un déficit, que se une a las demandas crecientes de agua.*
- *Incidencia negativa en la habitabilidad de la región y en el turismo.*

Figura 15. Algunas posibles afecciones del cambio climático sobre Centro América y el Caribe.

cidos, y de desarrollo social para todos. El deterioro de la habitabilidad de la Tierra va contra esto.

Es posible que en latitudes altas del planeta, por encima del paralelo 45 no haya especial deterioro de las condiciones de habitabilidad, e incluso que regiones poco pobladas en torno al Océano Ártico pudieran admitir mayor volumen de población humana. Habría que considerar este hecho ante la expulsión por razones de tipo climático desde otras zonas de la Tierra.

El incremento de la temperatura en áreas tropicales y ecuatoriales incidirá negativamente en varios aspectos. Por un lado reducirá la disponibilidad de agua potable, aunque es posible que las precipitaciones se incrementen de forma violenta e irregular. De otro modo esa mayor temperatura extenderá el área de influencia de ciertas enfermedades al reducirse la limitación al desarrollo de los microorganismos de la enfermedad o sus portadores que suponen los fríos nocturnos.

Ya se ha dicho que el incremento del nivel del mar se evalúa en unos 2 mm anuales, que aunque nos parezca un valor irrelevante, al cabo de un siglo puede ser significativo, en particular si en el futuro aumenta ese ritmo de elevación, como parece factible. Es un tema que afectará a las poblaciones costeras, no podemos olvidar que el desplazamiento de la vivienda hacia las costas es en general un hecho creciente en el mundo.

La incidencia negativa del aumento del nivel del mar en los cultivos en zonas costeras puede ser relevante en algunos países como Bangladesh, que ya tienen mucha población en zonas inundables, o en regiones especialmente sensibles a este tipo de cambios, como por ejemplo el delta del Nilo, o la desembocadura del río Gambia.

En América Latina hay factores de preocupación en el entorno de Centro América y el Caribe, donde ya históricamente los huracanes y ciclones han sido motivo de desastres que han afectado negativamente a sus poblaciones. Un mayor nivel de temperatura que el actual además puede contribuir a ir a esquemas climáticos de incertidumbre y de previsible afección negativa en la agricultura y otras actividades.

**EMISIONES ACTUALES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

El conjunto de las emisiones de gases de efecto invernadero, valoradas como CO<sub>2</sub> equivalente, se sitúan en torno a los 40.000 millones de toneladas anuales, siendo las de mayor contribución al efecto invernadero las correspondientes al CO<sub>2</sub>, seguidas por las de metano. La distribución de ese conjunto de emisiones en distintas áreas de actividad se refleja en la figura 16.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen energético son las mayores con diferencia, por ello la preocupación mayor se une a las posibilidades de contención, aunque no se debieran olvidar las correspondientes a las quemas de bosques y cambios de uso de la tierra, que suponen algo más de la sexta parte del total.

Hay que señalar que las emisiones de metano se han puesto de manifiesto poco en las reflexiones sobre el cambio climático, pero presentan un factor de crecimiento importante. Las mayores corresponden a las originadas en el aparato digestivo de los rumiantes, allí perviven los



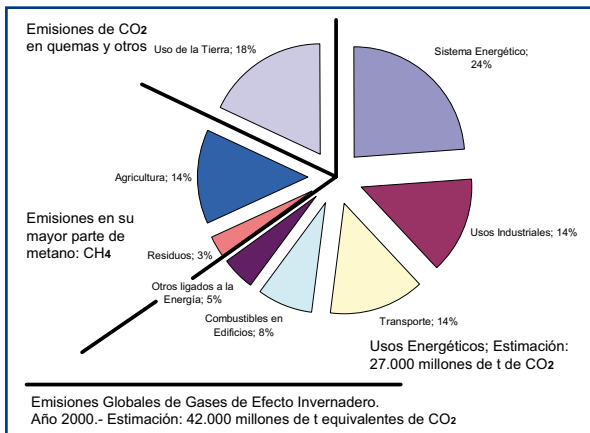


Figura 16. Origen de las emisiones de gases de efecto invernadero.

microorganismos citados al principio de este documento que desprenden metano, y que en el ganado vacuno facilitan el especial proceso de digestión de estos animales.

La cabaña de ganado vacuno se sitúa en torno a mil trescientos millones de animales, es decir uno por cada cinco humanos; nosotros hemos fomentado su crecimiento en la evolución que le estamos dando a la alimentación, comemos mucha más carne de vacuno que hace décadas, y somos muchos más hombres en la Tierra que a principios del siglo pasado.

No parece que vayamos a cambiar nuestros hábitos alimenticios, más bien se extiende el consumo de carne de vacuno, tanto en los entornos de alto nivel económico con ingestión de filetes y chuletas, como en otros de más bajo poder adquisitivo con hamburguesas. El problema no sólo se une a la emisión de metano de este ganado, sino también a la deforestación que se hace en amplias regiones del mundo para suministrar forraje a la cabaña vacuna.

## REFLEXIONES SOBRE PROPUESTAS

### ENERGÉTICAS Y DE USO DE LA TIERRA

La evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen energético ha sido mala en los últimos años, en particular en los primeros de este siglo. La bonanza económica, que ha fomentado el consumo en general, ha hecho que crezca la demanda de energía y se incremente las emisiones, a pesar de que en el año 1997 se diseñó el Compromiso de Kyoto para frenar ese crecimiento. Figura 17.

En el año 2004, las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen energético sobrepasaban los 26.000 millones de t. Adicionalmente las emisiones de origen agrícola y por cambios de uso de la tierra, tanto de CO<sub>2</sub> como de CH<sub>4</sub>, también han crecido en una serie de países; y las procedentes de los vertidos de residuos, CH<sub>4</sub>, lo han hecho en otros. (ROIS)

### EMISIONES DE CO<sub>2</sub> DE ORIGEN ENERGÉTICO: 1990 A 2004

- A nivel global a crecido a ritmo moderado entre 1990 y 2000, luego se ha incrementado. Se alcanzan los 26.000 millones de t/a en 2004.
- Los países industrializados han aumentado sus emisiones un 11% en ese período. Las correspondientes a la generación de electricidad han crecido un 8,6% y las del transporte un 23,9%.
- Los países en vías de desarrollo se estima que han incrementado sus emisiones en torno al 54%. China un 47% entre 1990 y 2002. India dobló sus emisiones en el período citado. Brasil las aumentó un 37%.
- Estados Unidos es el mayor emisor, las incrementó un 15,8% en este período. Posiblemente será superado por China hacia el año 2010.

(ROIS.- *Ecologista*, n.º 33, Verano 2007)

Figura 17. Información sobre la evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Las emisiones globales medidas como CO<sub>2</sub> equivalente se sitúan en torno a 40.000 millones de toneladas, con el desglose de la figura 16, antes mencionada. Se estima, de acuerdo a los modelos de evolución del clima, que para conseguir que la temperatura media de la Tierra no aumente por encima de 2 °C se debieran reducir a algo más de 30.000 millones de toneladas anuales.

Con esa reducción de emisiones se pretende que la concentración de gases de efecto invernadero se establezca en el rango de 450 a 550 ppmv medido en CO<sub>2</sub> equivalente. Se recuerda que el valor actual se estima en 430 ppmv equivalente, esto hace muy difícil pensar que ese objetivo se va a conseguir, salvo que las medidas globales a corto plazo fueran muy estrictas, lo cual choca en primer lugar con el desarrollo económico y social de los países más desfavorecidos.

Las propuestas actuales de actuación se dirigen hacia el sector energético, para conseguir moderar el crecimiento de sus emisiones, y como horizonte teórico a reducirlas. Ambos objetivos parecen difíciles de realizar:

- Los países más ricos debieran cambiar de forma drástica sus esquemas energéticos, lo cual ineludiblemente implica modificar su actual modelo económico, reduciendo en general su consumo de bienes y de servicios de mercado.

Hay que señalar por ejemplo que los denominados productos de usar y tirar: aluminio, vidrio, celulosa y papel, implican elevados aportes energéticos en su fabricación, y consecuentemente emisiones de CO<sub>2</sub>. Los servicios de mercado, comerciales y turísticos, consumen energía eléctrica, pero sobre todo carburantes en la movilidad que implican. El transporte es el concepto de mayor crecimiento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, que se estima que pasarán de 4.500 millones de t en 1990 a más de 9.000 millones en el año 2030, y fundamentalmente debido al aumento en países ricos. (SEGURA).

No olvidemos a efectos de esa situación dispar entre países ricos y pobres, que Estados Unidos emite 20 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por habitante y año, y la Unión Europea 10; mientras que la media mundial debiera situarse en 4 toneladas por persona y año para ir hacia esos 2 °C de incremento de la temperatura media.

- Los países en vías de desarrollo necesitan incrementar sus producciones y consumos para que en sus poblaciones haya un cierto equilibrio y un grado de bienestar mínimo. Hay muchos problemas para que se pueda avanzar en desarrollo social y humano sin incrementar el consumo energético, por ejemplo el crecimiento de las ciudades deman-

da mayor movilidad de personas y mercancías, es decir consumo de carburantes, así como aportes de electricidad.

Las previsiones de demanda energética apuntan a crecimientos globales importantes, incluyendo aumentos en los países más desarrollados; lo cual se traducirá en aumentos de las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen energético. Posiblemente se llegue al entorno de 40.000 millones de toneladas hacia el años 2030. Véase la figura 18.

Hay visiones más optimistas que asumen que habrá planteamientos de ahorro y uso eficiente de la energía, más avances importantes en la extensión de las energías renovables, con ello nos podríamos estabilizar en emisiones del orden de 30.000 millones de toneladas anuales.

En cualquier caso hay que ver que en el escenario optimista, ya sólo las emisiones de origen energético alcanzarían la cifra tope que se planteó más arriba. Esto hace que haya que pensar también en actuaciones para frenar el crecimiento de emisiones de metano o de dióxido de carbono derivadas de cambios en el uso de la tierra, la agricultura y la ganadería.

Hay que plantear que no podemos seguir deforestando el planeta, por ejemplo para obtener más proteínas de la

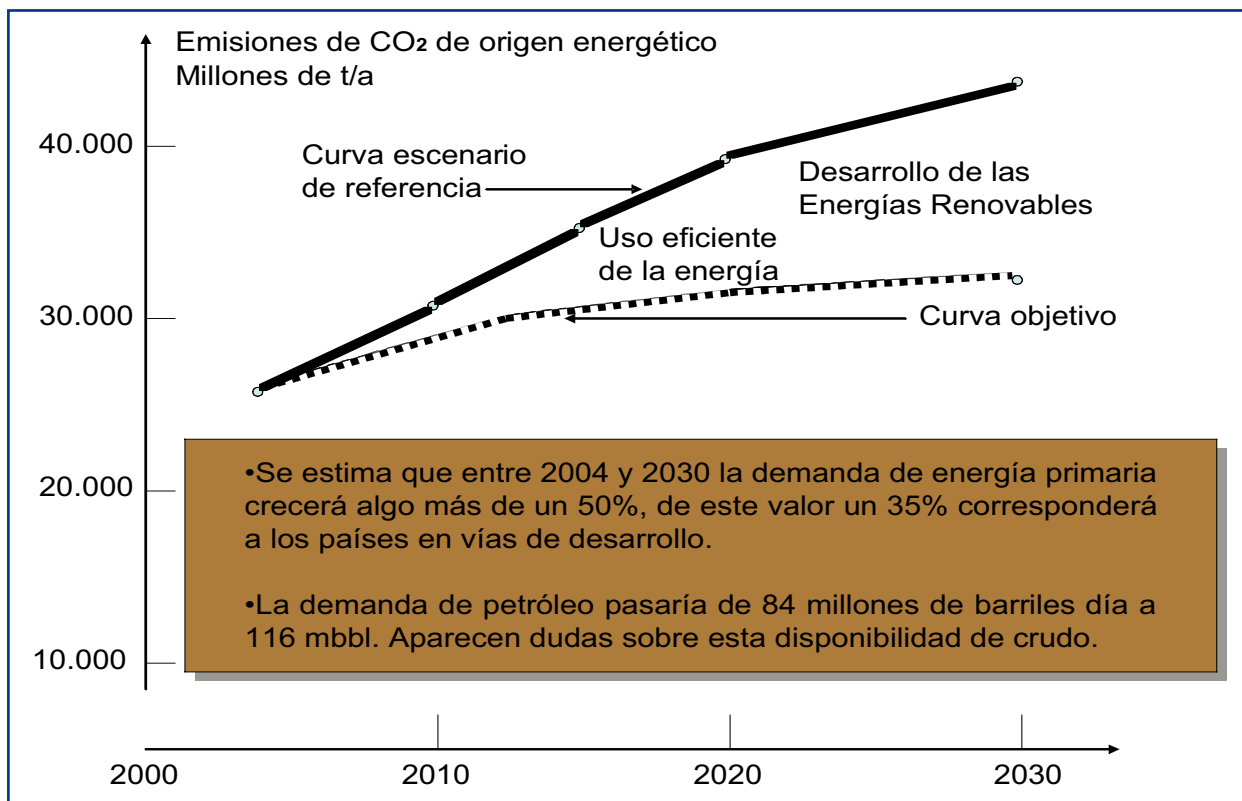


Figura 18. Previsiones de evolución de las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen energético.

carne de vacuno; es decir habría que pedir un cambio cultural y social. No parece nada fácil en el actual contexto de desigualdades e injusticias a nivel global. No olvidemos que esos cambios en el uso de la tierra se ven con ciertas esperanzas de desarrollo en algunos países de bajo nivel económico, aunque luego el reparto de la riqueza generada cuando menos no sea equilibrado en toda su población.

### ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Todo lo anterior apunta a que hemos de asumir un cambio climático importante, aunque se deba seguir trabajando para que sea el menor posible; previsiblemente el incremento de la temperatura media de la Tierra sobrepasará los 2 °C, quizás los 4 °C son inevitables, pero a partir de ahí es posible que se entre en esquemas de alto riesgo.

Parece lógico que cada país analice su situación actual y previsiones de evolución, a la vez que vaya tomando medidas para que esa evolución previsible del clima introduzca las menores alteraciones posibles en la sociedad. Sin que ello sea fomentar la actual cultura que tiene una fuerte componente de autovaloración, de mirar lo más cercano y nacional, a la vez que se olvida lo global, lo ciudadano.

Evidentemente habrá países y zonas del mundo con graves problemas derivados del cambio climático, quizás los efectos negativos haya que valorarlos desde ahora. Eso nos lleva a pensar en que se debiera crear un fondo de remediación para los más afectados, y esto sólo se puede hacer desde las sociedades ricas.

Aquí aparece el concepto de impuestos energéticos, que debieran ser una herramienta tanto para avanzar en los cambios tecnológicos, como en ayudar a los más desfavorecidos por el previsible cambio climático, sea cual sea su origen, pero que previsiblemente distorsionará fuertemente la estructura de la Humanidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- BALAIRÓN, Luís.- Cambio Climático y Desarrollo Sostenible.- Cuadernos de Sostenibilidad y Patrimonio Natural.- Nº 6. Fundación Santander Central Hispano.
- CAÑADA TORRECILLA, Rosa.- El cambio climático, impactos y opciones de mitigación.- estrategias para la tierra y el espacio.- Editorial ESPASA.
- FERNÁNDEZ SUÁREZ, Emilio Manuel.- Cambio Climático: un reto para Galicia, un desafío para a humanidades.- Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible.- Voz Natura.- Fundación Santiago Rey Fernández-Latorre.
- FIDALGO HIJANO, Concepción y SANCHO GARCÍA, Inés.- La conservación de las comunidades vegetales en el mundo.- estrategias para la tierra y el espacio.- Editorial ESPASA.
- HANSEN, James. El calentamiento global. Investigación y Ciencia. Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN.- Temas 45, 3<sup>er</sup> trimestre de 2006.
- KASTING, James F.- Cuando el metano regulaba el clima.- TEMAS DE INVESTIGACIÓN Y CIENCIA.- Nº 45, 3<sup>er</sup> Trimestre de 2006.
- MADRID CASADO, Carlos M.- Las Matemáticas del cambio climático.- Encuentros Multidisciplinares. Revista de Investigación, divulgación y debate multidisciplinar. Nº 26, Mayo – Agosto de 2007.- Universidad Autónoma de Madrid.
- MARTÍNEZ CORTIZAS, Antonio y PÉREZ ALBERTI, Augusto.- Atlas Climático de Galicia.- Xunta de Galicia.
- PEDRAZA, Javier de.- Algunas consideraciones geológicas de la desertificación.- Cuadernos de Sostenibilidad y Patrimonio Natural, nº 10.- Fundación Banco Santander Central Hispano.
- ROIS, Cristina.- Emisiones de CO<sub>2</sub>: crecimiento sostenido.- Revista “ecologista”, nº 53, verano 2007.
- SEGURA, Paco.- Transporte y cambio climático.- Revista “ecologista”, nº 53, verano 2007.



# REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

## Marco regulador internacional y mercados de carbono

### ENFOQUE GLOBAL

En base a los informes de evaluación llevados a cabo por el IPCC, se acepta que para evitar las consecuencias del aumento de temperatura en el planeta, esta no debería incrementarse más de 2°C en el año 2030, lo que equivale a una estabilización del nivel de gases efecto invernadero en la atmósfera entre 450 y 550 ppm de CO<sub>2</sub> eq, concentración no muy alejada de los 430 ppm de CO<sub>2</sub> eq que tenemos en la actualidad.

Según el informe controvertido informe Stern Review on Economics of Climate Change (2007), encargado por el Gobierno del Reino Unido sobre el impacto del cambio climático en la economía mundial, la inversión necesaria para lograr el objetivo anterior, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero de forma eficaz, sería entre 5 y 20 veces inferior a la que habría que hacer para mitigar los efectos del calentamiento global. El coste de la estabilización se valora en un 1% del PIB mundial anual, mientras que el riesgo de no hacer nada, supondría un coste de entre 5 y 20% del PIB mundial.

El informe Stern tampoco cuenta con la aceptación unánime de los expertos en la materia, pero ha tenido una amplia repercusión mediática y sus conclusiones son tenidas en cuenta en las decisiones que se toman en cuestión de cambio climático.

La Convención Marco de Naciones Unidas (UNFCCC) estima que, para mantener los actuales niveles de emisión de CO<sub>2</sub> e en 2030, será necesaria una inversión anual de unos 200.000 millones de dólares.

La mayoría de los gobiernos, conscientes del riesgo del cambio climático, han adoptado, en mayor o menor medida, políticas de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, que constitu-

yen el principio de lo que, con toda seguridad será un futuro condicionado por el CO<sub>2</sub>.

Para que las medidas de reducción sean efectivas, es necesario combinar las opciones tecnológicas con las políticas y financieras.

La primera declaración en la que se identificó al cambio climático como una amenaza global, se publicó en 1979, en la **Primera Conferencia Mundial del Clima**. La declaración llamaba a la acción conjunta de los gobiernos en la lucha contra el cambio climático.

La comunidad internacional ha trabajado desde entonces intensamente para resolver los problemas que causan las emisiones de gases de efecto invernadero.

En 1988, la Asamblea General de Naciones Unidas adoptó la resolución 45/53 en la cual reconocía que “el cambio climático es una preocupación para la humanidad, ya que el clima es una condición esencial que permite la vida en la tierra”, y determinó que “debe tomarse una acción necesaria y a tiempo para tratar el cambio climático dentro de un marco global”.

Fue en 1988, cuando la Organización Mundial de Meteorología (WMO) junto al Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas (UNEP) creó el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

El IPCC evalúa la mejor información científica, técnica y socioeconómica disponible en el mundo. Los informes del IPCC tienen como finalidad dar a conocer diferentes puntos de vista sobre el fenómeno del cambio climático y su impacto, y son la referencia más

importante en la que se basan los responsables de la toma de decisiones en Naciones Unidas y otras instituciones internacionales.

En Noviembre del año 2007, el IPCC presentó en Valencia el cuarto

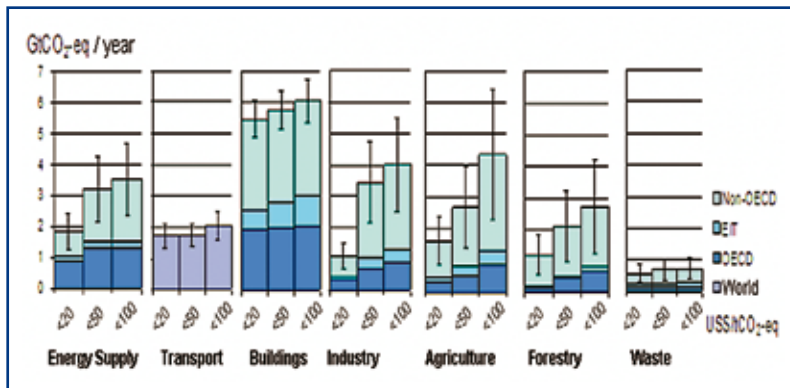


Figura 1. Potencial de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por sectores y grupos de países.

Fuente: Presentación del Grupo de trabajo 3 del IPCC. Mayo 2007.

informe de evaluación, que corresponde a la síntesis de los correspondientes informes de los tres Grupos de trabajo: I (Base Científica), II (Efectos, Adaptación, y Vulnerabilidad), y III (Mitigación). Sus conclusiones apoyan la decisión de tomar medidas urgentes en la lucha contra el cambio climático.

El grupo de trabajo I del IPCC determina que, con un 90% de certeza, la actividad humana ha tenido un efecto de calentamiento sobre la tierra desde 1750.

El grupo de trabajo II estima que la temperatura de la Tierra se incrementará en 0,2° C por década en los próximos 20 años, lo que eleva los riesgos para la vida humana y los ecosistemas.

Del informe del grupo de trabajo III, presentado el 4 de Mayo de 2007 en Bangkok, se puede concluir que entre 1970 y 2004, las emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado en un 70% y si se mantienen las actuales medidas de mitigación, serán en 2030 entre un 25 y un 90% superiores a las del año 2000.

Según el IPCC, existe potencial económico para limitar las emisiones, con una reducción estimada del 3% del PIB mundial.

El potencial de reducción es distinto para regiones y sectores, pero todos ellos deben contribuir. (Fig.1)

La gráfica muestra el potencial de reducción de CO<sub>2</sub>-eq por sector en tres rangos de coste de las medidas de reducción de la tonelada de CO<sub>2</sub>-eq : <20 €/ton CO<sub>2</sub>-eq , <50 €/ton CO<sub>2</sub>-eq , y <100 €/ton CO<sub>2</sub>-eq .

Además, se diferencia el potencial de reducción por grupos de países: países de la OCDE, países con economía de transición, países no OCDE, y total mundial.

Es decir, el sector de suministro de energía mundial podría lograr una reducción de casi 2 GtCO<sub>2</sub>-eq/año aplicando medidas con un coste inferior a 20€ ton CO<sub>2</sub>-eq, algo más de 3 GtCO<sub>2</sub>-eq/año a un coste inferior a 50 € ton CO<sub>2</sub>-eq y unas 3,5 con medidas a un coste por debajo de 100 € ton CO<sub>2</sub>-eq.

El potencial de reducción de emisiones del sector energético sólo es superado, al mismo nivel de coste, por el del sector de la vivienda.

Cuando el coste de reducción es más alto, el potencial de reducción es mayor en sectores como la agricultura, la industria, y de nuevo, la vivienda.

El IPCC considera tecnologías y prácticas clave para la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> del sector energético la mejora de eficiencia, el cambio de combustible, la energía nuclear, la energía renovable, cogeneración, captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>, y medidas del lado de la demanda.

El CO<sub>2</sub> es el gas que más contribuye al incremento de la concentración de gases de efecto invernadero, y la combustión de combustibles fósiles es, en valor absoluto, la actividad que más CO<sub>2</sub> libera a la atmósfera.

## MARCO REGULADOR

La lucha contra el cambio climático se regula a tres niveles:

- Naciones Unidas. Afecta a los países firmantes.
  - o Convención Marco sobre cambio Climático.
  - o Protocolo de Kioto.
  - o Conferencia de las Partes.
- Unión europea. Afecta a los Estados Miembros y a sus instalaciones emisoras de gases de efecto invernadero.
  - o Ratificación del Protocolo de Kyoto.
  - o Directiva de Comercio de Emisiones 2003/87/CE.
  - o Directiva de enlace sobre mecanismos de flexibilidad. 2004/101/CE.
- Estados Miembros.
  - o Transposición de la Directiva de Comercio de emisiones. Ley 1/2005, en el caso de España.
  - o Planes Nacionales de Asignación.

### Naciones Unidas

- **Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC)**

En 1990 el IPCC publicó el primer informe de evaluación sobre el estado del clima global, que se convirtió en la principal base de negociación en la Asamblea General de Naciones Unidas la cual estableció, mediante la Resolución 42/212, el Comité Intergubernamental negociador para el Marco de la Convención de Cambio Climático.

En la Cumbre de Río de Janeiro de 1992, 154 Estados acordaron estabilizar los niveles de gases de efecto invernadero, y firmaron el texto de la Convención. En la actualidad son 191 países los que han ratificado la Convención. La Conferencia de las Partes (COP) es la máxima autoridad de la Convención, y celebró su primera reunión en el año 1995.

• **El Protocolo de Kioto**

El Protocolo de Kioto es el primer mecanismo internacional en la lucha contra el cambio climático, y los compromisos de reducción aceptados por los países firmantes constituyen una obligación legal para los mismos.

El Protocolo de Kioto, firmado en Diciembre de 1997, comparte el objetivo de la Convención Marco de Naciones Unidas. De las 191 Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas, 175 han ratificado el Protocolo de Kioto. De estas, 36 han adquirido compromisos legalmente vinculantes de reducción de gases de efecto invernadero. La entrada en vigor del Protocolo estaba sujeta a la ratificación de al menos 55 Partes, que correspondieran al menos al 55% de las emisiones totales de CO<sub>2</sub>. El 16 de Febrero del año 2005, el Protocolo entró en vigor, después de la ratificación de Rusia. Los principales países desarrollados y con economías en transición que firmaron el Protocolo de Kioto convinieron una reducción del 5,2% de las emisiones de los gases de efecto invernadero durante el período 2008-2102, tomando como base las emisiones del año 1990.

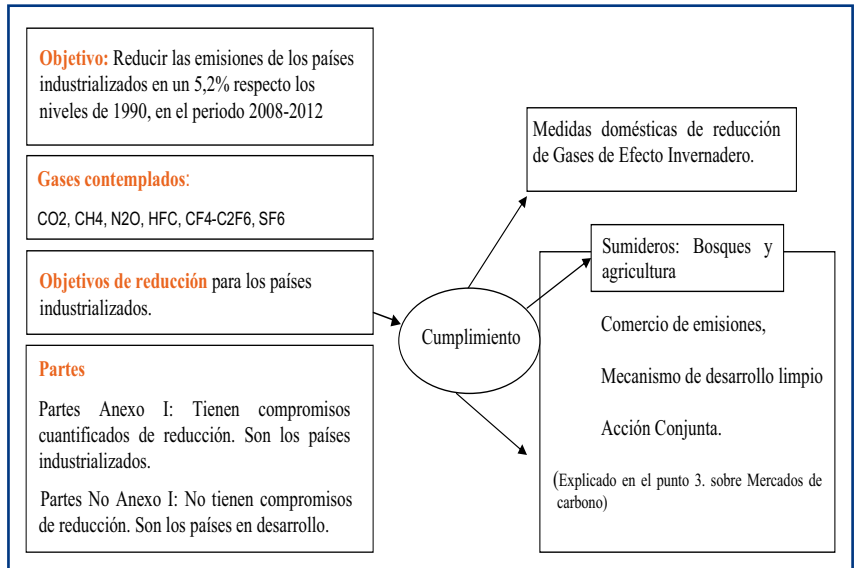


Figura 2. Elementos básicos del Protocolo de Kioto.

El Protocolo distingue entre dos grupos de países, los llamados Países Anexo I de la Convención, y los denominados No Anexo I. Aunque ambos grupos han firmado el Protocolo, sólo los países Anexo I, correspondientes a los más industrializados, han adquirido compromisos cuantificados de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el período 2008-2012. (Figura 2).

*Países Anexo I*

Unión Europea (25)	Croacia	Japón	Suiza
Australia	Estados Unidos	Liechtenstein	Ucrania
Bielorrusia	Federación Rusa	Mónaco	Turquía
Canadá	Islandia	Nueva Zelanda	

Gases de efecto invernadero	Fórmula	Potencial de Calentamiento global (*)
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	1
Metano	CH <sub>4</sub>	23
Óxido Nitroso	N <sub>2</sub> O	310
Hidrofluorocarbonos	HFC	140-11700
Perfluorocarbonos	CF <sub>4</sub> -C2F6	6500-9200
Hexafluoruro de azufre	SF6	23900

(\*) El potencial de calentamiento global es el resultado de comparar los gases de efecto invernadero con el CO<sub>2</sub>, que tiene un potencial de calentamiento global de 1. Por ejemplo, el óxido nitroso es 310 veces más eficiente absorbiendo calor que el CO<sub>2</sub>. La concentración de los gases de efecto invernadero suele expresarse como la concentración equivalente de CO<sub>2</sub> de cada gas (CO<sub>2</sub>-eq).

El Protocolo de Kioto es manifiestamente mejorable, ya que presenta varios aspectos que lo hacen insostenible en el medio y largo plazo, y que deberán ser tenidos en cuenta en las negociaciones de la política de cambio climático para después de 2012.

Al final del año 2007, el protocolo de Kioto había sido ratificado por 176 Estados más la Unión Europea.

El último país en hacerlo fue Australia, que se convertirá en Parte del Protocolo de Kioto al final del mes de marzo de 2008.

Una de las principales dudas sobre su efectividad en la reducción global de gases de efecto inver-

nadero, es que algunos de los países que firmaron el Protocolo de Kioto, como Estados Unidos, cuyas emisiones de CO<sub>2</sub> representan aproximadamente una cuarta parte de las emisiones globales, no lo han ratificado, por lo que no tienen compromisos de limitación del crecimiento de las emisiones de gases con potencial de contribuir al calentamiento global. Los objetivos cuantificados de reducción de gases de efecto invernadero sólo aplican a los países desarrollados y los de economías de transición (Países Anexo I) que han ratificado el Protocolo de Kioto. Países con gran crecimiento de emisiones, como China e India, quedan fuera del compromiso. (Figura 3).

País	Objetivo (1990** - 2008/2012)
EU-15*, Bulgaria, República Checa, Estonia, Lituania, Liechtenstein, Letonia, Mónaco, Rumanía, Eslovaquia, Eslovenia, Suiza	-8%
Estados Unidos de América	-7%
Canadá, Hungría, Japón, Polonia	-6%
Croacia	-5%
Nueva Zelanda, Federación Rusa, Ucrania	0
Noruega	+1%
Australia	+8%
Islandia	+10%

Figura 3. Compromisos de reducción de gases de efecto invernadero de los países firmantes del Protocolo de Kioto.

\* Los países de la EU-15, redistribuyeron su cuota de CO<sub>2</sub> en la llamada burbuja europea.

\*\*Para algunos países el año de referencia no es 1990.

\*\*\*El Anexo B del Protocolo de Kioto coincide casi en su totalidad con el Anexo I de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático.

Fuente: UNFCCC

En Junio de 1998, la UE distribuyó su objetivo de reducción del -8% sobre las emisiones de 1990 entre los 15 países que la formaban entonces.

Austria	-13	Italia	-6.5
Bélgica	-7.5	Luxemburgo	-28
Dinamarca	-21	Holanda	-6
Finlandia	0	Portugal	+27
Francia	0	España	+15
Alemania	-21	Suiza	+4
Grecia	+25	Reino Unido	-12,5
Irlanda	+13		

% sobre emisiones de 1990.

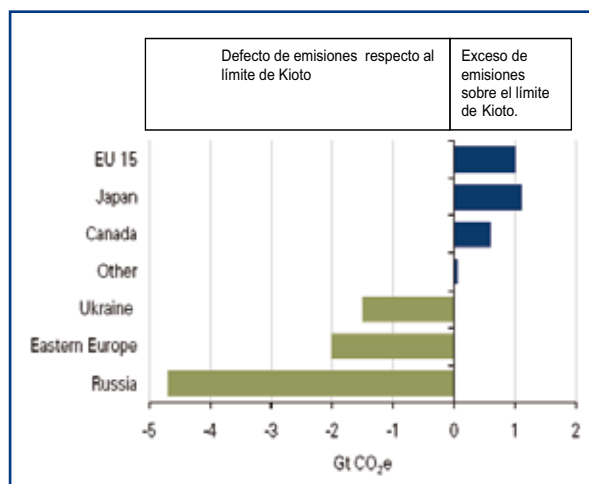


Figura 4. Estimación de la situación de los países respecto a sus compromisos de reducción de emisiones del Protocolo de Kioto. Point Carbon, 2007.

Según algunas estimaciones, como la de la publicación especializada en cambio climático, Point Carbon, el exceso de emisiones de los países firmantes del Protocolo de Kioto, se compensará con la escasez de emisiones de otros. Esto siempre en referencia a los objetivos de limitación negociados para el Protocolo en 1997.

Así, países como Rusia y Ucrania, suplen el exceso de Europa, Canadá y Japón. (Fig. 4).

En la gráfica se observa que los países con economías de transición, como Ucrania, Este de Europa y Rusia, tienen unas emisiones muy inferiores a las que resultan de aplicar sus compromisos de reducción del Protocolo de Kioto. Aproximadamente emiten 8 Gt CO<sub>2</sub> eq por debajo de las emisiones permitidas.

En el otro lado de la curva se encuentran la Unión Europea 15, Japón y Canadá, que emiten aproximadamente 2,5 Gt CO<sub>2</sub> eq por encima de sus objetivos de Kioto.

La negociación de los límites del Protocolo de Kioto, en 1997, ha dado lugar a desequilibrios en su aplicación, por lo que es necesario corregirlos en el próximo período.

- **Futuro marco legal internacional para la lucha contra el cambio climático.**

El Protocolo de Kioto finaliza en el año 2012, y ni siquiera en el mejor de los casos en el que se logren sus objetivos, se resolverá el problema de la reducción de emisiones, que no ha hecho más que empezar.

En Diciembre de 2007 la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático, celebró su reunión n° 13, en la que dieron comienzo las negociaciones para el establecimiento del marco regulatorio internacional de reduc-



ción de gases de efecto invernadero que de continuidad al Protocolo de Kioto después del año 2012.

Para estabilizar las emisiones de GEI a 550 ppm en el año 2050, los países Anexo I deberán reducir sus emisiones entre un 15 y un 30 % por debajo de los niveles de 1990 en el año 2020 y entre un 55 y un 90 % en 2050. Esto supondría que los objetivos de reducción para el año 2050, serán para la mayoría de los países, entre un 10 y un 20% más estrictos que los objetivos de Kioto.

Para conseguir estabilizar el clima, en 2030, y no incrementar en más de 2°C la temperatura del planeta, se necesitará una reducción del 23% sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>e del año 2002 y de un 47% sobre la proyección estimada para 2030. (Vattenfall, 2006).

Según la Dirección General de Energía y Transporte de la UE, en su publicación European Energy and Transport Trends to 2030, las emisiones de CO<sub>2</sub> mundiales crecerán en un 2,1% de media entre los años 2000 y 2030, lo que supone superar en un 112% las emisiones de 1990.

Se prevé que el crecimiento de las emisiones sea más rápido que el consumo primario de energía debido al aumento en el consumo de combustibles fósiles, en especial de carbón en las regiones asiáticas, y al insuficiente crecimiento de las energías renovables y la energía nuclear a nivel mundial.

Las emisiones de los países en desarrollo muestran un crecimiento muy rápido, que tiene su origen en sus requerimientos energéticos, que son satisfechos con un gran porcentaje de combustibles fósiles. Se estima que sobre el año 2010 estos países superen las emisiones de los países de la OCDE, llegando a ser un 50% de las emisiones globales en el año 2030.

Se estima que la participación de las emisiones de Asia en 2030 alcance el 41%, lo que representa un gran aumento a su contribución a las del año 2000, que eran del 27%.

Las emisiones de los países en economías de transición han experimentado un descenso durante el período de adaptación, sin embargo se espera que en 2030 vuelvan a situarse en el los niveles en que se encontraban en 1990.

Los países de la OCDE tendrán unas emisiones moderadamente mayores a las del año 2000, y representarán un porcentaje menor en las emisiones globales mundiales. (Figura 5).

Según las proyecciones de la Agencia Internacional de la energía (IEA), que aparecen en la figura 5, las emisiones de gases de efecto invernadero de procedencia energética, seguirán aumentando después del año 2012, creciendo globalmente un 62,1% por encima del nivel del año 2002, en el año 2030. La generación de energía contribuirá en un 50% al aumento de las emisiones globales de gases de efecto invernadero en el año 2030. Nuevamente el mayor crecimiento corresponde a los países en desarrollo.

Teniendo en cuenta los datos expuestos anteriormente parece imposible lograr los objetivos de reducción necesarios para estabilizar el aumento de la temperatura del planeta. La solución no es fácil ya que el crecimiento de las economías emergentes conlleva un incremento en la demanda energética, que no podrá cubrirse con fuentes libres de emisiones de CO<sub>2</sub>, y que necesitará de la utilización de combustibles fósiles, especialmente el carbón, tal y como prevé la Agencia Internacional de la Energía.

Como pone de manifiesto la figura 7, el carbón continuará siendo la principal fuente de generación eléctrica mundial, pese a las políticas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

En este momento se están llevando a cabo las primeras negociaciones para el establecimiento de las bases de este nuevo acuerdo internacional. Durante el año 2007 la información científica sobre cambio climático, y la presión social y empresarial, han

	Mt CO <sub>2</sub>					annual growth rate				
	1990	2000	2010	2020	2030	90/00	00/10	10/20	20/30	00/30
North America	5314	6170	6884	7466	7970	1.5	1.1	0.8	0.7	0.9
Europe OECD	3394	3604	3795	4202	4484	0.6	0.5	1.0	0.7	0.7
OECD Pacific	1364	1516	1548	1671	1800	1.1	0.2	0.8	0.7	0.6
CEEC	1005	780	819	925	1013	-2.5	0.5	1.2	0.9	0.9
CIS	3522	2077	2219	2936	3434	-5.1	0.7	2.8	1.6	1.7
Latin America	919	1298	1642	2186	2723	3.5	2.4	2.9	2.2	2.5
Middle East	800	1264	1550	2047	2643	4.7	2.1	2.8	2.6	2.5
Africa	417	439	816	1346	1934	0.5	6.4	5.1	3.7	5.1
Asia	4086	6401	10030	13889	18048	4.6	4.6	3.3	2.7	3.5
<b>World</b>	<b>20822</b>	<b>23549</b>	<b>29302</b>	<b>36667</b>	<b>44048</b>	<b>1.2</b>	<b>2.2</b>	<b>2.3</b>	<b>1.9</b>	<b>2.1</b>

Figura 5. Tendencias de evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Fuente: Poles.

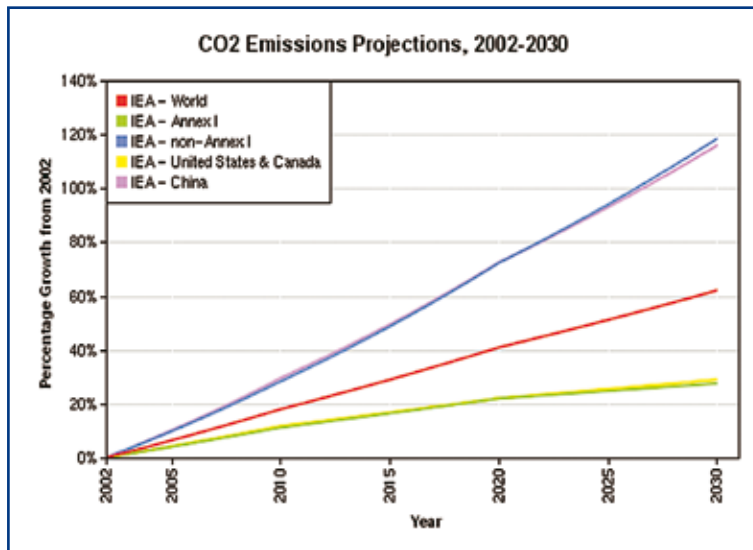


Figura 6. Tendencias de evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Fuente: Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) Version 4.0. (Washington, DC: World Resources Institute, 2007).

dado lugar a la aparición de procesos de negociación paralelos al de Naciones Unidas, entre los que se encuentra el del APEC (Asia-Pacific Partnership On Clean Development and Climate).

Ya que el cambio climático es un problema global, necesita soluciones globales, por lo que, hoy en día es indiscutible el desarrollo de un marco internacional que sustituya o de continuidad al Protocolo de Kioto después de 2012.

Antes de la Cumbre de Bali, celebrada en diciembre de 2007, se llevaron a cabo varias reuniones, correspondientes a distintos procesos de negociación:

- **Reunión de Gleeneagles.** Se sitúa en el contexto del G8 ampliado con 20 países grandes emisores, entre los que se encuentra España, y en el que participan instituciones como la Agencia Internacional de la Energía y el Banco Mundial. Su objetivo es facilitar la transición hacia una economía con bajas emisiones de gases de efecto invernadero. Ha conseguido un acercamiento de EE.UU. a la búsqueda de una solución multilateral al problema del cambio climático.
- **Consejo Europeo de Primavera.** La UE asume un compromiso unilateral de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% en el año para 2020, ampliable

al 30% en caso de que otras economías del mundo asuman compromisos similares.

- Cumbre del **grupo G8**, Alemania, Junio 2007. Compromiso de actuación rápida para estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero en concentraciones aceptables para el clima. Se tendrán en cuenta las propuestas de la UE, Japón y Canadá, de que la reducción debe alcanzar el 50% en el año 2050. Se considera que Naciones Unidas es el foro adecuado para liderar la lucha contra el cambio climático.
- **Reunión informal de Naciones Unidas en Viena.** La Secretaría de la Convención Marco de Naciones Unidas presentó en Viena, el mes de agosto de 2007 el informe que analiza las inversiones y los flujos financieros necesarios para dar respuesta al cambio climático en los próximos 25 años.

Para que las emisiones de 2030 sean similares a las actuales, el estudio estima que se necesitarán flujos financieros y de inversión adicionales por valor de 200.000-210.000 millones de dólares.

La inversión requerida por los países en desarrollo representará el 46% de las inversiones totales, sin embargo, la reducción de emisiones lograda será de un 68% del total.

También se prevé un requerimiento de inversiones destinadas a la adaptación al cambio climá-

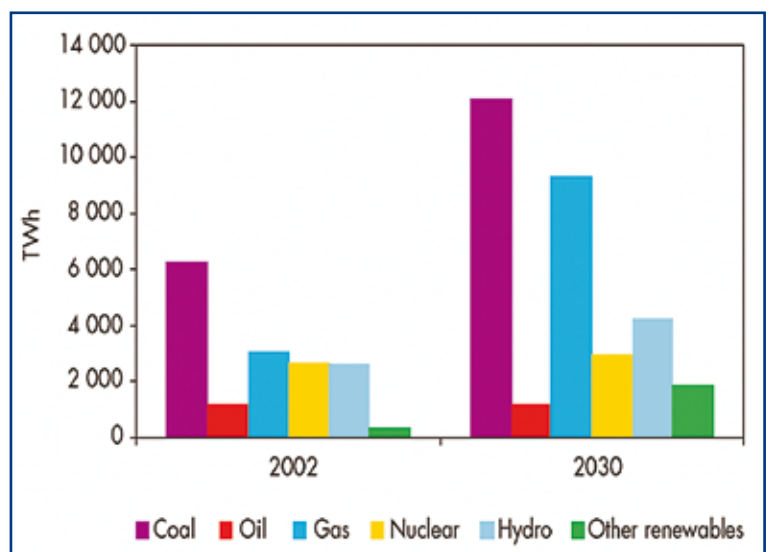


Figura 7. Proyección de las fuentes de energía en el año 2030. Fuente: Agencia Internacional de la Energía.

tico, especialmente en aquellos países y sectores más vulnerables y con menos recursos para responder al sus efectos adversos.

Todo ello implicará un cambio en el uso de los fondos de los gobiernos, que deberán hacer un esfuerzo para adoptar políticas que hagan frente a la nueva economía mundial.

En la reunión se puso de manifiesto la dificultad de llegar a acuerdos concretos, fundamentalmente debido la postura de países como India o China, en relación a la definición de las contribuciones de cada país.

La reunión de Naciones Unidas de Agosto de 2007 en Viena, "Vienna Climate Change Talks 2007", reunión preparatoria para la cumbre de Bali (COP13), finalizó con un relativo fracaso. La decisión sobre los límites de emisión a adoptar se pospuso hasta el próximo mes de Diciembre, por la oposición de países como Canadá, Rusia o Japón.

El logro conseguido en la reunión fue el reconocimiento oficial de que para evitar los efectos adversos del cambio climático, es necesario reducir, en el horizonte de 2020, las emisiones de gases de efecto invernadero en un rango que va del 25 al 40% por debajo de los niveles del año 1990 de los países industrializados.

La conclusión más importante es la que se refiere a la necesidad de enfrentar el problema del cambio climático con soluciones globales, que deberán establecerse en función de las características de las distintas economías.

- **Asamblea General de Naciones Unidas de septiembre de 2007.** En la reunión se apoya la idea de tener en cuenta las emisiones per cápita en el establecimiento de los compromisos de reducción.
- **Convocatoria del Presidente Bush** de las mayores economías/emisores de Gases de Efecto Invernadero del mundo, en Septiembre de 2007. El interés de la reunión radica en un aparente cambio de política de la administración Bush en la lucha contra el cambio climático.

Estados Unidos apuesta por un modelo basado en el acuerdo internacional de los países APEC (Asia-Pacific Partnership On Clean Development and Climate). Australia, China, India, Japón, la República de Corea y los Estados Unidos, son los países promotores de esta iniciativa, y representan alrededor de la mitad de la economía mundial, de la población y del uso de energía. También integran esta alianza, Brunei, Chile, Filipinas, Hong Kong, Indonesia, Malasia, México, Nueva Zelanda, Papúa, Nueva Guinea, Perú, Rusia, Singapur, Tailandia, Taiwán y Vietnam.

La colaboración entre estos países persigue que se alcancen los siguientes objetivos en su conjunto:

- Lograr seguridad en el suministro energético.
- Reducir reducción de la contaminación atmosférica.
- Luchar contra el cambio climático.
- Trabajar para que el desarrollo sea sostenible.
- Luchar contra la pobreza.

La idea es que los sectores público y privado trabajen conjuntamente para expandir las inversiones y expansión de nuevas tecnologías limpias en áreas clave.

El 8 de septiembre de 2007, en la reunión celebrada en Australia, los países APEC firmaron una declaración en la que se comprometen a combatir el calentamiento global.

Los países APEC reconocen la necesidad de reducir en un 25% la intensidad energética para el año 2030 y de que se incremente en 20 millones de hectáreas la extensión de los bosques en todo el mundo para el próximo 2020. Además, el texto sugiere que, de ahora en adelante, cualquier tipo de negociación en el marco del cambio climático tenga lugar bajo el auspicio de Naciones Unidas.

- **Reunión de la Decimotercera Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas para el cambio climático (COP13)**



**y Tercera reunión de la Conferencia de las Partes en calidad de Reunión de las Partes del Protocolo de Kioto (COP/MOP 3). Bali (Indonesia) del 3 al 14 de diciembre.**

El objetivo fundamental de esta cumbre fue lograr un acuerdo de todas las Partes para establecer el marco legal después de 2012, de forma que en diciembre de 2009, estén desarrollados los términos del acuerdo. El resultado más importante de la cumbre es la llamada Hoja de ruta de Bali

Como primer acuerdo se reconoce que el cambio climático es inequívoco y que es necesario reducir de forma importante las emisiones globales, tomando como referencia el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC. Sin embargo, no se logró incluir rangos concretos de reducción, tal y como proponían algunas Partes, entre las que se encuentra la UE.

Según la Hoja de ruta, el acuerdo que se alcance en la COP 15, de diciembre de 2009, deberá contemplar los siguientes aspectos:

- Objetivo global de reducción a largo plazo.
- Responsabilidad de todas las partes. Todos los países desarrollados se comprometerán a tomar medidas contra el cambio climático, incluyendo objetivos cuantificados de reducción, teniendo en cuenta las distintas circunstancias nacionales. Se acuerda la toma de medidas que eviten la deforestación y la degradación de superficies forestales.
- El futuro acuerdo tendrá en cuenta los enfoques sectoriales y los mecanismos de mercado.
- Necesidad de cooperación de organismos multilaterales, sectores público y privado y sociedad civil.
- Cooperación internacional, para reducir vulnerabilidades y estrategias de reducción de desastres.
- El desarrollo y transferencia de tecnología.
- Definición de recursos financieros e inversiones.
- Para liderar el proceso, se ha constituido el Grupo de Trabajo Ad Hoc sobre Acción Cooperativa a largo plazo bajo la Convención.



*Análisis del sector privado*

Existen algunos análisis del sector privado que plantean posibles escenarios de reducción de gases de efecto invernadero. El informe Vattenfall, “Curbing climate change. An outline of a framework leading to a low carbon emitting society” (2006), concluye que será necesaria una reducción del 50% de las emisiones globales, para que en el período de 100 años, se igualen las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita de los países, incluyendo los países en desarrollo, al tiempo que se consigue una estabilización de la temperatura.

Dado que las reducciones no son simétricas porque es necesario contemplar el crecimiento económico de los países emergentes, la reducción para los países industrializados deberá ser, según el modelo de Vatenfall, de un 80 ó 90%.

Las distintas propuestas para afrontar el problema del cambio climático tienen elementos comunes básicos que deberán acordarse para lograr el objetivo único de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, en base al compromiso global de los países, el impulso en el uso de tecnologías eficaces para evitar las emisiones, y el desarrollo sostenible. De momento, aunque hay varias aproximaciones, ninguna es vinculante, y las negociaciones deberán continuar, para alcanzar un acuerdo a lo largo del año 2008.

Hoy día existe consenso respecto a que la repuesta debe ser global, con el compromiso de todos los países, lo cual implica que hay que dar la misma importancia a la adaptación y a la mitigación. (Yvo de Boer. Secretario Ejecutivo de UNFCCC). Ningún mecanismo aislado puede, por sí solo, afrontar de forma eficaz problema del

cambio climático. La solución vendrá de la mano de una combinación de políticas, tecnologías y finanzas.

*UNIÓN EUROPEA*

**En Junio de 2000 se crea el Programa Europeo de Cambio Climático.** En el se contemplan medidas para el suministro de energía (Directivas de Renovables, CHP y Biocombustibles), para la demanda de Energía, para el Transporte, Agricultura y Silvicultura. Se estudian las tendencias de las emisiones y las tecnologías para reducirlas.

En el año 2005 la UE puso en funcionamiento la Directiva de Comercio de Emisiones 2003/87/CE, que se explicará con detalle al hablar sobre Mercados de Carbono.

El comercio europeo de emisiones de gases de efecto invernadero es la iniciativa más importante de la UE y se encuadra en el Programa Europeo de Cambio Climático.

En la Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones, en enero de 2007, la Comisión europea declara de que para cumplir los objetivos es necesario que *“la UE promueva, en el contexto de negociaciones internacionales, el objetivo de reducir en un 30 % las emisiones de gases de efecto invernadero de los países desarrollados de ahora a 2020 (respecto de los niveles de 1990). Este esfuerzo es necesario para limitar la elevación de las temperaturas del planeta a 2 °C. Hasta que se alcance un acuerdo internacional, y sin perjuicio de la postura que adopte en las negociaciones internacionales, la UE deberá desde ahora asumir de forma autónoma el firme compromiso de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al menos en un 20 % de aquí a 2020, recurriendo al régimen comunitario de comercio de derechos de emisión, a otras medidas de lucha contra el cambio climático e iniciativas en materia de política energética. De ahora a 2050, las emisiones mundiales deberían haber disminuido en un 50 % respecto a 1990, lo que supone reducciones en los países desarrollados del orden del 60 al 80 % hasta 2050. Muchos países en desarrollo deberán también reducir considerablemente sus emisiones”*.

Según las previsiones, en el 2010, el total de las emisiones de GEI de la EU-25 se situará aproximadamente un 4,9 % por debajo de los niveles del año de referencia. Estas previsiones se basan en las estimaciones de los propios Estados miembros, que tienen en cuenta todas las políticas y medidas nacionales actuales. La reducción prevista se cifra en un 8,1 % si se tienen en cuenta las políticas y medidas nacionales adicionales objeto de debate y un 10,8 % si se tienen en cuenta los mecanismos de Kioto y los sumideros de carbono. Según las previsiones, las emisiones experimentarán un aumento entre 2004 y 2010 si no se aplican las políticas y medidas nacionales adicionales.

**El 23 de enero de 2008 la UE presentó el Paquete Verde sobre Energía y Cambio Climático** que tiene que ser aprobada por el Parlamento y Consejo Europeos. Responde al compromiso anunciado por el Consejo Europeo de marzo de 2007 y la Resolución del Parlamento Europeo; anunciando su compromiso de reducción, en el año 2020, del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero, aumentando un 20% las energías renovables, y un 20% la eficiencia energética. Si el compromi-

so es asumido globalmente, la reducción de emisiones alcanzará el 30%. El “Paquete Verde” comprende:

- Revisión de la Directiva de comercio de emisiones (capítulo 3).
- Decisión sobre el reparto de los objetivos de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero entre los sectores difusos de los Estados Miembros.
- Directiva de energía renovable.
- Directiva sobre almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>.
- Comunicación sobre el apoyo a las plantas de demostración de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.
- Revisión Directrices para ayudas de estado medio-ambientales.

Y contiene los siguientes compromisos para España en el 2020:

- Los sectores incluidos en el Comercio europeo de emisiones de gases de efecto invernadero deben disminuir las emisiones en un 21% respecto a sus emisiones del año 2005.
- Sectores difusos: disminuir las emisiones en un 10% respecto a las emisiones del año 2005.
- Renovables: El 20% del consumo final energía tiene que proceder de fuentes renovables. Esto representará un porcentaje de renovables en la electricidad consumida del 42-43% en 2020.

### ESPAÑA

Para cumplir con el Protocolo de Kyoto, y el correspondiente reparto europeo, España tiene que limitar, en el periodo 2008-2012, el crecimiento de sus emisiones de gases de efecto invernadero a un 15%, respecto a las del año 1990.

Las emisiones totales de gases de efecto invernadero en España en el año 2005 aumentaron un 52,2% respecto a las de 1990, lo cual supone una superación del objetivo de Kyoto (+15%), de 37,2%. Las emisiones para ese año fueron de 440,6 Mt de CO<sub>2</sub>-equivalente.

Según el análisis del Ministerio de Medio Ambiente, las elevadas emisiones se debieron a la baja hidráulidad, la poca aportación de la energía nuclear, y al elevado precio del gas natural. Sin embargo, se aprecia un descenso en la demanda de energía primaria de un 1,3% con respecto al año anterior, lo cual puede ser una señal de que se da un cambio de tendencia.

Los datos del año 2006 muestran un descenso en las emisiones. Según el Informe para el Presidente del Gobierno elaborado por expertos en cambio climático, el reto para España es desacoplar el crecimiento económico de las emisiones de gases de efecto invernadero. (Figura 9).

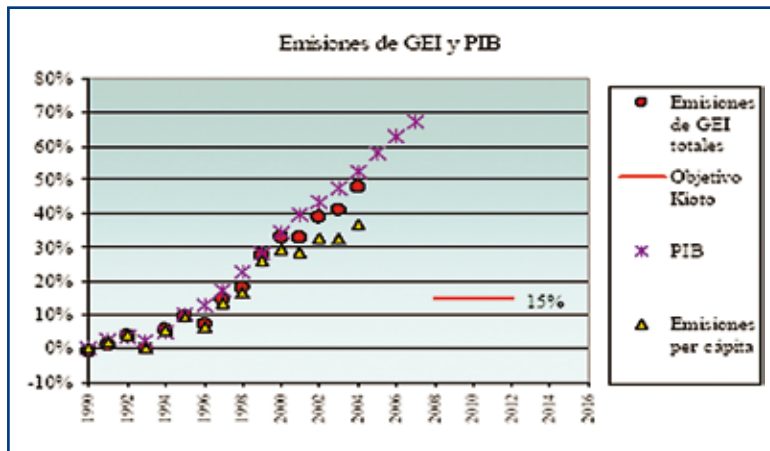


Figura 9. Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero desde 1990 (2006 dato provisional).

Fuente: El Cambio climático en España. Estado de situación. Noviembre de 2007. Informe para el Presidente del Gobierno elaborado por expertos en cambio climático.

ble en los ámbitos de cambio climático y de energía limpia.

De los 8 objetivos establecidos en la estrategia, cinco están relacionados directamente con el sector de la energía, que representa el 79% de las emisiones totales de gases de efecto invernadero de España.

La Estrategia Española configura el marco que garantiza el cumplimiento de los compromisos adquiridos por España tras la ratificación del Protocolo de Kyoto.

Se han establecido 198 medidas orientadas a la reducción de emisiones, impulsar la reducción en los sectores difusos, aplicar el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático y aumentar la conciencia pública y el uso responsable de la energía.

El aumento de las emisiones en el período 1990-2005 fue debido al gran crecimiento económico y al aumento de la población en el país, unido a la falta de políticas de ahorro y de eficiencia energética.

Aunque las emisiones per cápita de España están al mismo nivel que las emisiones per capita medias de la UE 15, es el país europeo más alejado del cumplimiento de los compromisos de limitación de emisiones del Protocolo de Kyoto, y el segundo a nivel mundial. (Figura 10).

Para afrontar el difícil reto del cumplimiento del Protocolo de Kyoto, el Gobierno ha tomado varias medidas, que se plasman en el documento de estrategia española de cambio climático.

*Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia horizonte 2007- 2012 -20201*

España es uno de los países que más se aleja del cumplimiento de sus objetivos del Protocolo de Kioto, por lo que el Gobierno presentó en septiembre de 2007 la propuesta Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia horizonte 2007- 2012 -20201 al Consejo Nacional del Clima, y a la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático.

La estrategia recoge políticas y medidas que contribuyen al desarrollo sosteni-

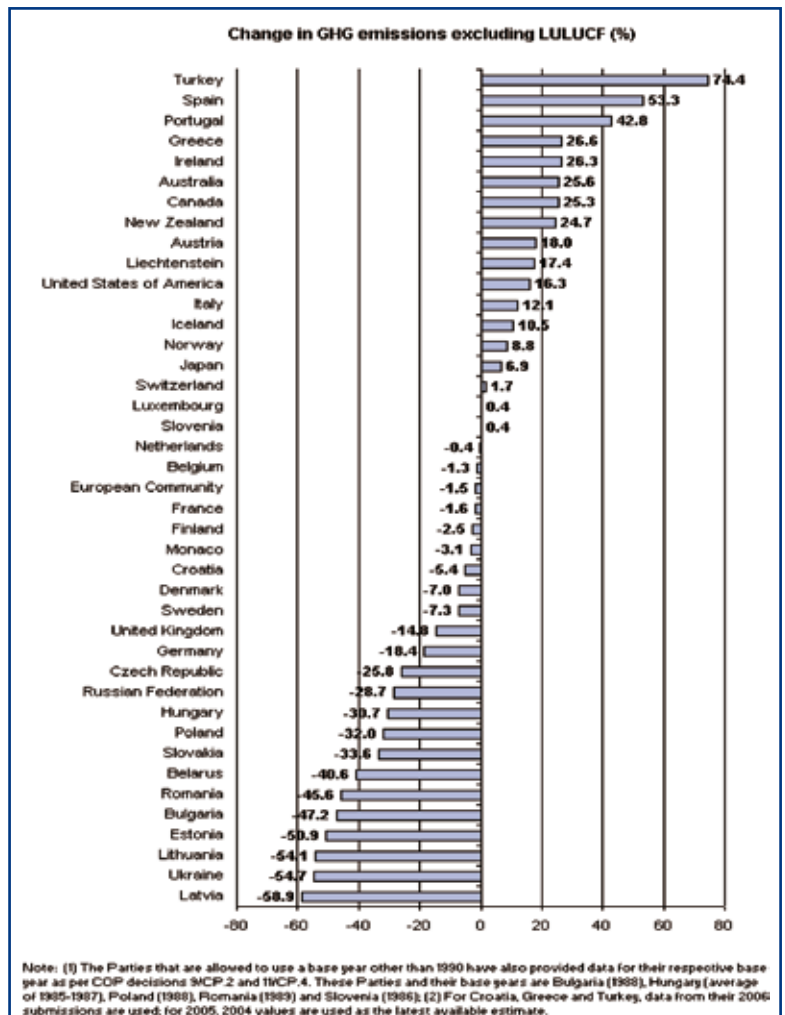


Fig 10. Situación en el año 2005 de los países Anexo I respecto al cumplimiento de objetivos del Protocolo de Kyoto. Fuente: UNFCCC. 2007.

Como ejemplo de actuaciones ya en marcha, se pueden mencionar las siguientes:

- **Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (PAE4)**, coordinado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- **Plan de Energías Renovables 2005-2010:** Lograr en 2010 una contribución de las fuentes renovables de un 12% del consumo de energía primaria, una cuota de producción eléctrica renovable del 30%, y un consumo de biocarburantes del 5,83% sobre el consumo de gasolina y gasóleo previsto para el transporte.
- **Código Técnico de Edificación.**
- **Comercio de derechos de emisión: PNA 2005-2007** y participación en los mecanismos flexibles del Protocolo de Kioto.

Algunas de las medidas contempladas en los capítulos de cambio climático y de energía limpia son:

- En materia de transporte, elaboración de una norma básica de Movilidad Sostenible.
- En el sector residencial, la mejora de la eficiencia energética en los edificios.
- En relación con la energía limpia, el Gobierno asume los objetivos marcados recientemente por la Unión Europea.
- En materia de Investigación, Desarrollo e Innovación, los objetivos se centran en el desarrollo y despliegue de nuevas tecnologías “limpias” energéticas para mejorar la seguridad del suministro, la sostenibilidad y reducir su impacto sobre el medio ambiente. La estrategia va acompañada de un plan de medidas urgentes.

### *Proyecciones de las emisiones de gases de efecto invernadero en 2008-2012 en España*

	Aumento de las emisiones en 2008-2012 sobre 1990 (%)
Sin adopción de medidas	70
Medidas actualmente adoptadas	50
Sectores difusos	65
Sectores industrial y energético	37

(Universidad Politécnica de Madrid).

A la vista de las proyecciones, el Gobierno español fijó el objetivo de que en el periodo 2008-2012, España no supere un incremento del 37% respecto al año 1990. El porcentaje corresponde a la suma del objetivo de Kioto(+15%), mecanismos de flexibilidad (20%), y

sumideros(2%). Aun así, todavía son necesarias medidas adicionales que deberán identificarse.

En España, la Directiva de Comercio de Emisiones Europea se regula a través de la Ley 1/2005, cuyo funcionamiento se describirá posteriormente.

## MERCADOS DE CARBONO

EL mercado de carbono es un instrumento económico que encuentra antecedentes satisfactorios en el control de la emisión de contaminantes como el dióxido de azufre, o las partículas, en EE.UU.

El mercado de carbono está contemplado en todas las estrategias de reducción, como uno de los pilares clave, que permite que las reducciones no sean tan costosas, a la vez que promueve la inversión en tecnologías limpias y eficientes.

Aunque existen varios mercados de carbono en el mundo, en este capítulo se describirán los Mecanismos de Flexibilidad del Protocolo de Kioto, y el Esquema Europeo de Comercio de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero, dado que afectan a gran número de países y que han generado hasta la fecha un gran volumen de negocio.

Dado que cambio climático requiere reducción de emisiones globales, no importa en qué lugar del planeta se lleve a cabo, el objetivo es disminuir las emisiones totales.

El Protocolo de Kioto, define en sus artículos 12 y 17 los mecanismos de flexibilidad, que serán suplementarios a las medidas internas que adopte cada país.

Los mecanismos de flexibilidad facilitarán el cumplimiento de los compromisos de los países Anexo I, a la vez que contribuirán al desarrollo sostenible de los países en desarrollo a través de la transferencia de tecnología.

Los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kioto son:

- Comercio de emisiones.
- Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).
- Acción Conjunta (AC).

MDL y AC se denominan Mecanismos basados en proyectos, ya que las reducciones de emisión que generan proceden de inversiones en proyectos.

### *EL COMERCIO DE EMISIONES EN EL PROTOCOLO DE KIOTO*

Contemplado en su artículo 17, permitirá a los países Anexo I el comercio de unidades de reducción de CO<sub>2</sub> para usarlas en el cumplimiento de sus compromisos de limitación de emisiones, de una forma efectiva desde el punto de vista económico.

Los países Anexo I, cuyas emisiones sean inferiores a los límites establecidos por el Protocolo, podrán vender, dentro de un mercado internacional las unidades sobrantes a los países cuyas emisiones sobrepasen dichos límites.

El sistema de comercio de emisiones establece una cuota total de derechos de emisiones igual al límite global de las emisiones autorizadas.

Las Partes tienen la obligación de mantener la “Reserva del Período de Compromiso”, que es una cantidad de unidades que no pueden ser utilizadas en el comercio de emisiones, y que garantizan un mínimo de cumplimiento.

Las unidades objeto de transferencia entre países Anexo I, corresponden a una tonelada métrica de CO<sub>2</sub> equivalente, y pueden ser las siguientes:

Mecanismo de generación de la reducción	Unidades de reducción de emisiones (1 ton CO <sub>2</sub> )	Siglas Español/Inglés
Comercio de Emisiones	Unidades de Cantidad Atribuida Son las asignadas a cada Parte.	UCA/AAU
Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL o CDM)	Reducciones Certificadas de Emisiones	RCE/CER
Acción Conjunta (AC o JI)	Unidades de Reducción de Emisiones	UREs/ERUs
Actividades de sumideros	Unidades de Absorción (UDAs),	UDA

Las transferencias pueden llevarse a cabo por países o personas jurídicas autorizadas, y serán registradas por un sistema internacional de registro (ITL).

En torno al comercio de emisiones se encuentran Gobiernos, Empresas privadas, Fondos de Carbono, Traders, Brokers, Bancos, e iniciativas privadas de diversa naturaleza.

En la figura 11 se resume la interacción de los mecanismos de flexibilidad, con otros sistemas de comercio de emisiones, como el Esquema europeo de comercio de emisiones EU ETS, que se tratará en detalle más adelante.

*Mecanismo de Desarrollo Limpio. (MDL)*

El Mecanismo de Desarrollo Limpio, regulado en los artículos 6, 12 y 17, del Protocolo, el Acuerdo político de Bonn, y los Acuerdos de Marrakech, permite a un país Anexo I (desarrollado o en economía de transición firmante del Protocolo de Kioto), obtener Reducciones Certificadas de Emisiones (RCEs) gracias a la inversión

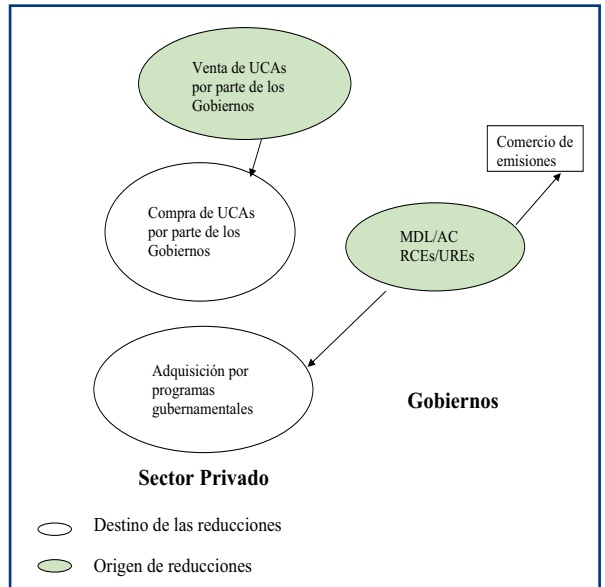


Figura 11. Esquema de funcionamiento de Mercado internacional de emisiones de gases de efecto invernadero. Fuente: Point Carbon.

en proyectos de países no Anexo I (en desarrollo y firmantes del Protocolo de Kioto), para el cumplimiento de sus compromisos de limitación de emisiones derivados del Protocolo (Figura 12).

El mecanismo, supervisado por la Junta Ejecutiva de Naciones Unidas, tiene un ciclo (Figura 13), en el que intervienen varios actores:

- Junta Ejecutiva: Órgano de supervisión de UNFCCC.
- País no Anexo I, país en desarrollo receptor del proyecto.

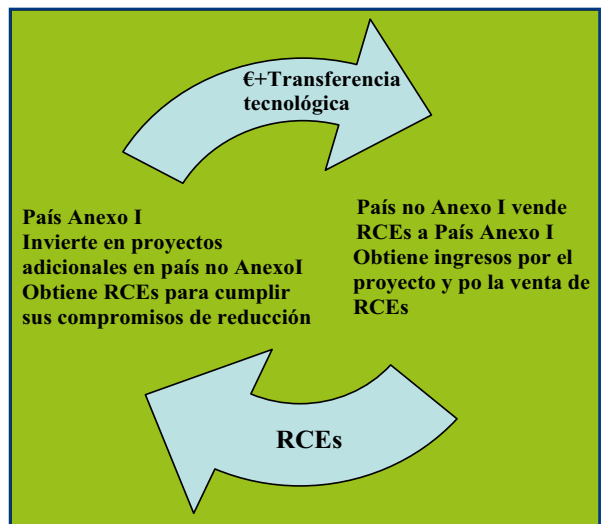


Figura 12. Esquema del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL).



- País Anexo I, país inversor.
- Las autoridades nacionales designadas (AND) en cada uno de los países participantes en el proyecto.
- El promotor del proyecto.
- Las entidades operacionales acreditadas por la Junta Ejecutiva (EOD), que validan los proyectos y verifican las reducciones de emisiones que generan.

Los principales hitos del ciclo de un proyecto MDL son:

1. El promotor identifica un proyecto en un país no Anexo I. El promotor puede ser de un país Anexo I (proyectos bilaterales) o de un país no Anexo I (proyectos unilaterales).
2. El promotor estima la viabilidad del proyecto, y la cantidad de RCEs que generará.
3. El Promotor Analiza la elegibilidad del proyecto, que consiste en un conjunto de requisitos que debe cumplir el proyecto recogidos en los acuerdos de Marrakech. El más importante es el llamado criterio de adicionalidad, que básicamente se trata de demostrar que las reducciones que genera el proyecto no se habrían producido en ausencia del MDL, es decir, el MDL ayuda al proyecto a salvar alguna barrera por la cual el proyecto no es viable. El ejemplo más claro es que, gracias a los ingresos adicionales que obtiene el país receptor por la venta de los RECs, el proyecto alcanza la rentabilidad necesaria para su ejecución.
4. El promotor elabora el documento de diseño de proyecto (PDD), cuyo contenido está definido por la Junta Ejecutiva de UNFCCC.
5. La Entidad Operacional Acreditada, valida el PDD, y junto con las cartas de aprobación de las DNAs, lo presenta a la Junta Ejecutiva de UNFCCC, que finalmente lo registra.
6. A partir de ese momento, el proyecto empieza a generar reducciones de emisión, que son verificadas por una Entidad Operacional Acreditada.
7. LA Junta Ejecutiva valora el informe de verificación, y emite los RCEs, que ya pueden ser utilizados en el comercio de emisiones, o en el cumplimiento de los compromisos.

Los seis gases de efecto invernadero son susceptibles de los proyectos MDL, y los sectores permitidos son:

- Mejora en el uso final de la energía.
- Mejora en el suministro de energía.

- Energías renovables.
- Cambio de combustible.
- Agricultura.
- Procesos industriales.
- Uso de solventes y otros productos.
- Gestión de residuos.
- Sumideros (Reforestación y forestación).

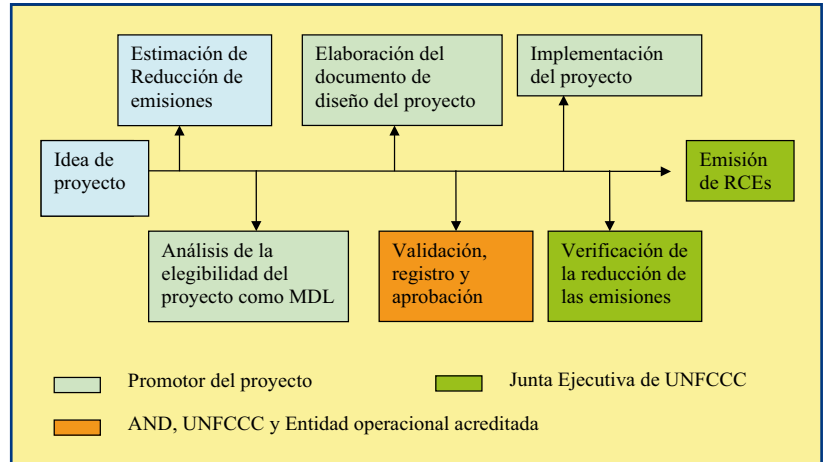


Figura 13. Ciclo de un proyecto MDL.

Quedan expresamente excluidos los proyectos de energía nuclear.

El MDL se concibió con la idea de que el ingreso adicional por la venta de reducciones certificadas generadas por un proyecto, haría posible el uso de tecnologías limpias en los países en desarrollo, potenciando así, un desarrollo sostenible.

En la práctica, y con los precios actuales de las unidades de reducción de emisiones (~15 €/ton CO<sub>2</sub>), el MDL no hace viables proyectos que no lo son por sí mismos, ya que, excluyendo actividades como las de producción de gases industriales y de captura de metano, cuya TIR aumenta considerablemente al añadir los ingresos procedentes de la venta de RCEs, estos no hacen rentables proyectos energéticos como los que corresponden a energías renovables o de eficiencia energética.

Recientemente, en el marco de Naciones Unidas se ha aprobado una nueva modalidad de proyectos MDL. Se trata del MDL Programático, que podría ayudar a extender los proyectos de eficiencia energética.

El MDL Programático permitiría considerar como MDL un programa de gran escala en diferentes localizaciones. Sería plenamente aplicable a actividades como el uso eficiente de energía (ej. programas de iluminación eficiente, o de eficiencia energética del lado de la demanda).

Las reglas de esta modalidad fueron aprobadas por Naciones Unidas en el mes de junio de 2007, y simplifican considerablemente el coste y la tramitación de estos proyectos comparándolo con la complejidad que presentaría considerar cada actividad de forma aislada.

De los aproximadamente 2.000 proyectos MDL en tramitación en Junio de 2007, unos 300 eran de mejora de eficiencia energética y menos de la mitad de ellos eran de sobre la demanda energética.

Dado el importante papel que juega la eficiencia energética en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, parece lógico impulsar el MDL de esta actividad, a través de un marco regulador favorable.

La utilización de proyectos de **fijación de carbono a través de las plantas** (sumideros), es un tema muy controvertido, dada la dificultad de asegurar la permanencia de las absorciones, y la poca precisión de sus verificaciones.

Sin embargo, es una actividad con un gran potencial, y finalmente se han acordado metodologías para poder registrar proyectos de sumideros en el MDL.

Los proyectos permitidos en el MDL son los que corresponden a Forestación, y Reforestación, cuya contribución en el período 2008-2012 se ha limitado al 1% de las emisiones de gases de efecto invernadero de los países Anexo I, lo que equivale aproximadamente a 500 Mt CO<sub>2</sub>.

#### Mecanismo de Acción Conjunta (AC)

El Mecanismo de Acción Conjunta permite la inversión de una País Anexo I en otro Anexo I. El País receptor se descuenta las unidades de Reducción de Emisiones (UREs) que van a parar al país inversor (Figura 14).



Figura 14. Esquema de funcionamiento del mecanismo de Acción Conjunta. Banco Mundial, 2007.

Este mecanismo es especialmente atractivo cuando el país receptor es un país con economía de transición, que obtendrán el beneficio de las inversiones en tecnologías limpias.

Está supervisado por el Comité de Supervisión, que establece las normas.

El mecanismo opera de dos formas:

- Vía Simplificada: Cuando los Países participantes cumplen todos los requisitos de elegibilidad recogidos en los Acuerdos de Marrakech, una vez verificadas las reducciones de emisiones, los UREs pueden ser expedidos.
- Vía Regulada por el Comité de Supervisión: Si el País receptor del proyecto de Aplicación Conjunta, no cumple los requisitos de elegibilidad recogidos en los Acuerdos de Marrakech, el Comité de Supervisión deberá comprobar la adicionalidad del proyecto.

#### ¿Funcionan los Mecanismos de Desarrollo Limpio y de Acción Conjunta?

La actividad registrada en el Mecanismo de Desarrollo Limpio, ha superado las expectativas en sus primeros años de funcionamiento. El MDL se ha revelado como uno de los instrumentos de mercado más eficaces para la lucha contra el cambio climático. Ha tenido una amplia aceptación, y una rápida implantación.

En el año 2006 participaron 55 países en el Mecanismo, con 1.750 proyectos en tramitación en Naciones Unidas, el doble que en el año anterior.

La Secretaría de UNFCCC y el Centro UNEP Riso (Programa de Naciones Unidas), presentaron en febrero de 2007 una estimación de la reducción de emisiones que se logrará en 2012, teniendo en cuenta los proyectos MDL que estaban en tramitación hasta final de 2006. En la figura 15 se detalla la contribución de cada actividad permitida en el MDL. La cantidad total de Reducciones Certificadas de Emisión (RCEs) es de 1.700-1.800 Millones.

En un principio el protagonismo es de los proyectos con gran potencial de reducción de CO<sub>2</sub> eq. y bajo coste, como los de gases industriales (HFC<sub>23</sub> y N<sub>2</sub>O), que previsiblemente darán paso a proyectos que contribuirán en mayor medida al desarrollo sostenible, como son los basados en mejora de eficiencia, energías renovables y agricultura.

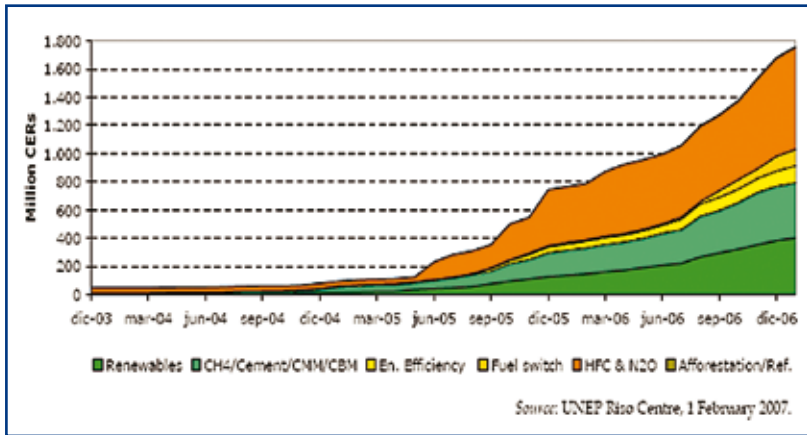


Figura 15. Estimación de RCEs ó CERs por actividad para el año 2012.

Las últimas proyecciones sobre el potencial de RCEs en 2012, a fecha de septiembre de 2007, se muestran en la figura 16.

	Proyectos existentes	Proyección al final de 2012
RCEs	Millones de RCEs	
RCEs total estimados para 2012 en tramitación y registrados actualmente	2223	
RCEs total estimados anualmente	374	
RCEs total emitidos	76	2167
RCEs esperados en 2030	6724	
RCEs dsionibles después de 2012	4501	

Figura 16. RCEs estimados en base a los proyectos en tramitación en septiembre de 2007.

Fuente: CD4CDM 2007

La cantidad total estimada ha aumentado respecto a las previsiones con proyectos de 2006, lo que demuestra que el Mecanismo está siendo utilizado. También se percibe un aumento en la proporción de los RCEs o CERs procedentes de proyectos energéticos y forestales (Figura 17).

En cuanto al número de Unidades de Reducción de emisiones procedentes de proyectos AC (UREs), también según CD4CDM, esperadas para el año 2012, teniendo en cuenta los proyectos actualmente en tramitación, la cifra se estima en unos 120 millones de UREs. El mecanismo de Acción Conjunta ha comenzado más tarde que el MDL, por lo que, el número de proyectos es inferior a los de este.

Recapitulando la información anterior, podemos concluir, que la oferta total de unidades de reducción de carbono en el período 2008-2012, teniendo en cuenta todas sus modalidades, será mayor que la demanda (Figura 18).

En el gráfico, resultado de un modelo de Banco Mundial, se aprecian dos escenarios de demanda de UCAs una vez utilizado el potencial de los mecanismos MDL y AC, además de las reducciones domésticas de los países. Resultan dos cifras, una de baja demanda (1.000 millones de UCAs), y otra de alta demanda (2.000 millones de UCAs). La estimación de

UCAs sobrantes de países como Rusia y Ucrania, es de unos 4.000 millones, por lo que, teóricamente, no habría problema en que los países con déficit, comprasen en el mercado internacional estas unidades de cantidad asignada.

Sin embargo, hay un gran recelo a utilizar las reducciones de estos países, ya que se existe el convencimiento de que no corresponde a reducciones reales, sino que son fruto en gran parte de una negociación política. Es el llamado “aire caliente”, y muchos países han manifestado que no cuentan con él.

El Banco Mundial apuesta por su utilización en un esquema denominado “reverdecimiento” (Green Investment Écheme), en el que el comercio de Unidades de Cantidad Asignada se liga a inversiones adicionales en proyectos de sostenibilidad en el país vendedor.

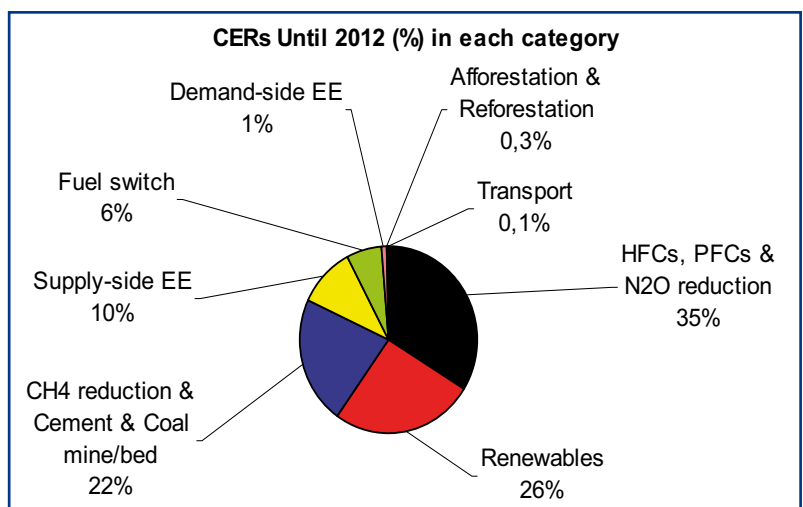


Figura 17. Distribución de RCEs por actividades en la estimación del año 2012. Fuente: CD4CDM 2007.

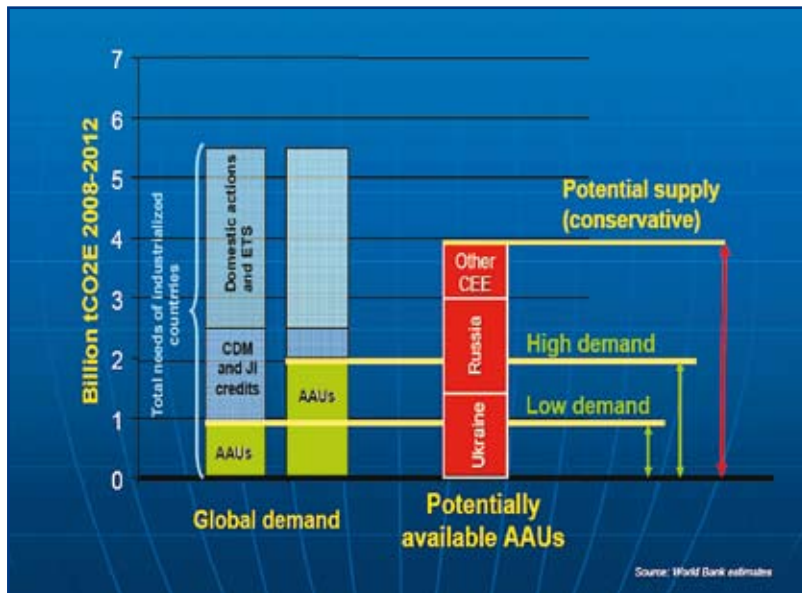


Figura 18. Oferta y demanda mundiales de Unidades de Cantidad Atribuida (UCAs o AAUs) para el periodo 2008-2012. ( 1 UCA= 1AAU= 1 t CO<sub>2</sub> eq). Fuente: Banco Mundial, 2007.

La cuestión queda en el aire, y serán los países los que finalmente tomen la decisión de utilizar el exceso de UCAs para cumplir con los compromisos derivados del Protocolo de Kyoto.

### ESQUEMA EUROPEO DE COMERCIO DE EMISIONES

El comercio Europeo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero es la demostración más visible del compromiso que la Unión Europea ha asumido en la lucha contra el cambio climático. El objetivo del esquema es ayudar a lograr la reducción del 8% de las emisiones de 1990 en el año 2012, introduciendo un mecanismo de mercado, a través de la Directiva 2003/87/CE.

El Esquema comenzó a aplicarse en enero de 2005, antes de la entrada en vigor del Protocolo de Kyoto.

Tiene dos periodos de aplicación, 2005-207 y 2008-2012. En su primer periodo de aplicación (2005-2007), se establecieron cuotas de emisión de CO<sub>2</sub> en 11.500 instalaciones, que representan un 45% de las emisiones totales de la UE.

Los sectores incluidos son: acerería, siderurgia, vidrio, papel, cemento y cal, cerámicas, refinerías de petróleo y generación eléctrica. La Comisión Europea ha anunciado su intención de incluir la aviación en el comercio de emisiones a partir del año 2011.

La asignación de cuotas o derechos de emisión (EUA) se hace a través de los Planes Nacionales de Asignación (PNA), que son elaborados por cada Estado

Miembro. Los PNA deben establecer las cuotas tomando como orientación los objetivos de limitación de Kioto.

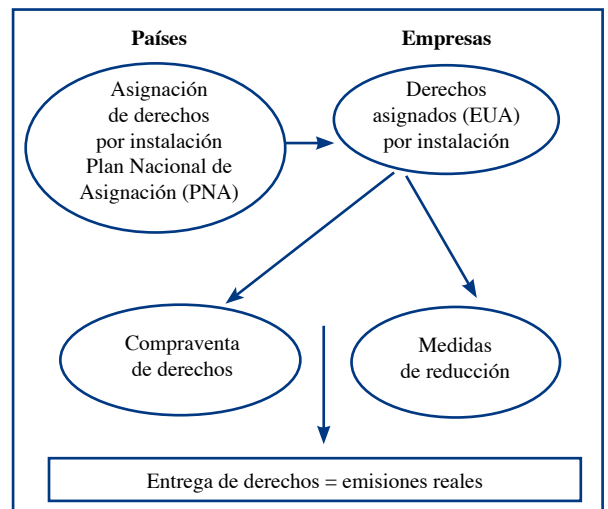
Las instalaciones pueden emitir por encima de sus cuotas, siempre que adquieran los derechos de emisión equivalentes al exceso sobre la cuota, y las instalaciones que emitan por debajo de sus cuotas pueden vender los derechos sobrantes. De esta forma, se potencia el uso de tecnologías menos emisoras de CO<sub>2</sub> ya que sus costes son menores al tener que utilizar cantidades inferiores de derechos de emisión que las más emisoras.

En caso de que los derechos entregados a la Administración sean inferiores a las emisiones reales, la instalación estará obligada a pagar una multa de 40 €/ ton CO<sub>2</sub> en la primera fase, y de 100 €/ ton CO<sub>2</sub> en la segunda. Además, la instalación deberá comprar los derechos que le falten hasta igualarlos a sus emisiones.

El comercio de emisiones ha creado una señal de precio para el CO<sub>2</sub>. El precio del CO<sub>2</sub> es un componente más del coste para las instalaciones cubiertas por la Directiva Europea.

A través de la Directiva de Enlace, está permitido el uso de reducciones procedentes de los mecanismos de flexibilidad del Protocolo de Kyoto (RCEs y UREs).

Sin embargo, la Comisión Europea ha limitado, para el segundo período de aplicación de la Directiva, el uso de reducciones procedentes de los mecanismos de flexi-



$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ de una instalación} = \text{n}^\circ \text{ de Derechos Asignados} \pm \text{n}^\circ \text{ Derechos comprados/vendidos} = \text{n}^\circ \text{ de Derechos entregados a la Administración.}$$

bilidad MDL y AC. Esta decisión llevará consigo un encajecimiento del cumplimiento de los compromisos de las empresas cubiertas por el comercio de emisiones.

El balance de los dos primeros años de funcionamiento del esquema de comercio de emisiones en Europa da como resultado un excedente de derechos de emisión, 96 Mt CO<sub>2</sub> en 2005 y 61 Mt CO<sub>2</sub> en 2006, con países excedentarios y deficitarios (Figura 19). Sólo tres países, entre los que se encuentra España, han sido claramente deficitarios. Los demás han tenido exceso de derechos.

mo resultado, a algunas les han sobrado derechos, y a otras les han faltado. Esta asimetría no se relaciona claramente con el mix de generación, sino que depende de la diferente asignación al sector eléctrico que ha hecho cada país. Así, la mayoría de las empresas deficitarias están en España, Reino Unido, Italia y Bélgica, mientras que las excedentarias se encuentran en Estados con economías de transición y países nórdicos.

*Planes Nacionales de Asignación 2008-2012*

En la siguiente tabla de muestra un resumen de las asignaciones gratuitas de los distintos países de la UE en el periodo 2005-2007 y 2008-2012, y el límite máximo permitido para el uso de mecanismos de flexibilidad (MDL y AC) en relación a las cantidades asignadas para 2008-2012.

Las asignaciones son generalmente más bajas y además, se limita el uso de los mecanismos flexibles MDL y AC, con lo que la mayoría de las reducciones deberán hacerse dentro de la UE.

*Comercio de Emisiones Europeo 2012-2020. Propuesta de modificación de la Directiva 2003/87/CE. Paquete Verde sobre Energía y Cambio Climático*

Se establece un objetivo único para el conjunto de Estados Miembros de la UE, que es una reducción de las emisiones de

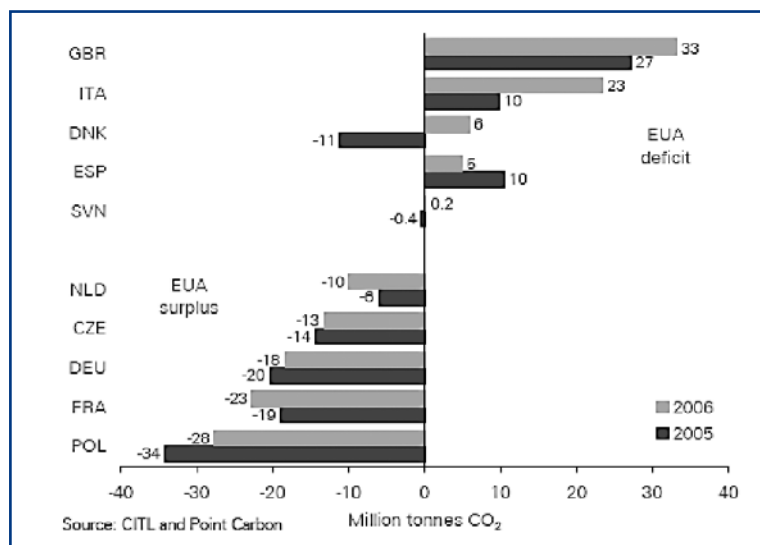


Figura 19. Balance del comercio europeo de emisiones de los años 2005 y 2006 en la UE. Fuente: CITL y Point Carbon.

En cuanto a los sectores, el eléctrico ha resultado deficitario en la mayoría de los países, y el conjunto del resto de sectores excedentario (Figura 20).

Los países con más derechos sobrantes en 2005 y 2006 han sido Alemania, Francia países con economías de transición como Polonia. Las instalaciones de países con más déficit, como España e Italia no son más contaminantes que las que representan media europea.

La mayor parte de los Estados Miembros ha asignado al sector eléctrico derechos por debajo de sus necesidades de emisión, dado que teóricamente, este sector es el menos expuesto a la competencia internacional y con mayor capacidad para internalizar los costes del CO<sub>2</sub>.

Se da la circunstancia de que no todas las empresas eléctricas han tenido el mis-

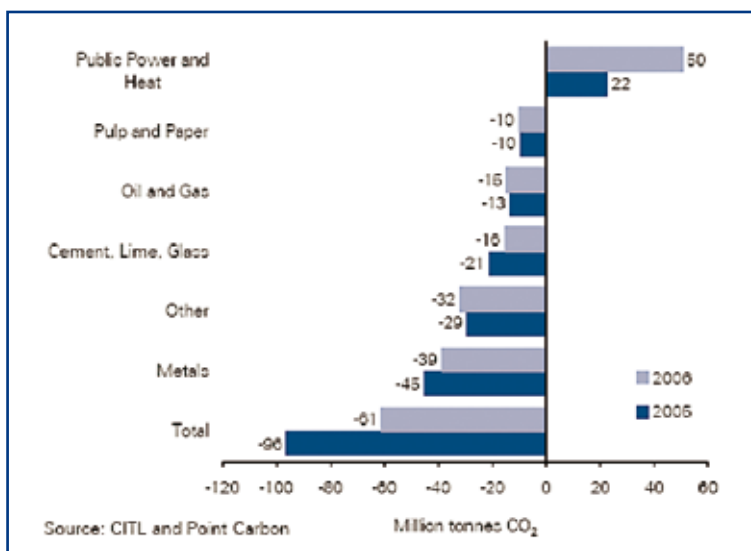


Figura 20. Balance por sectores de los años 2005 y 2006, en la UE. Fuente: CITL y Point Carbon.

Estado Miembro	Asignación (2005-2007)	Emisiones verificadas 2005	Asignación 2008-2012	Límite de MDL y AC (%sobre asignación 2008-2012)
Austria	33.0	33.4	30.7	10
Belgium	62.1	55.58[3]	58.5	8.4
Bulgaria	42.3	40.6[4]	42.3	12.55
Cyprus	5.7	5.1	5.48	10
Czech Rep.	97.6	82.5	86.8	10
Denmark	33.5	26.5	24.5	17.01
Estonia	19	12.62	12.72	0
Finland	45.5	33.1	37.6	10
France	156.5	131.3	132.8	13.5
Germany	499	474	453.1	20[5]
Greece	74.4	71.3	69.1	9
Hungary	31.3	26.0	26.9	10
Ireland	22.3	22.4	22.3	10
Italy	223.1	225.5	195.8	14.99
Latvia	4.6	2.9	3.43	10
Lithuania	12.3	6.6	8.8	20
Luxembourg	3.4	2.6	2.5	10
Malta	2.9	1.98	2.1	Tbd
Netherlands	95.3	80.35	85.8	10
Poland	239.1	203.1	208.5	10
Portugal	38.9	36.4	34.8	10
Romania	74.8	70.8[7]	75.9	10
Slovakia	30.5	25.2	32.6	7
Slovenia	8.8	8.7	8.3	15.76
Spain	174.4	182.9	152.3	ca. 20
Sweden	22.9	19.3	22.8	10
UK	245.3	242.4[9]	246.2	8
SUM	2298.5	2122.16[10]	2082.68	-

Fuente: UE, Enero 2008

un 20% respecto a las del año 1990, que representa un 14% menos de las del año 2005. La reducción para los sectores que están dentro del comercio europeo de emisiones es de un 21% respecto al año 2005 y de un 10% para los sectores difusos.

Los derechos de emisión correspondientes al límite del 21% (1720 Mt CO<sub>2</sub>), para los sectores cubiertos por la Directiva europea de Comercio de Emisiones a partir de 2013, se repartirán de forma centralizada a nivel europeo, y se aplicará un único criterio de reparto a todas las instalaciones de un mismo sector.

Los Estados Miembros subastarán los derechos que no seña asignados gratuitamente.

La producción de electricidad deberá adquirir todos los derechos en subasta, ya que no se contempla asignación gratuita para la producción de electricidad, ni la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> en todo el periodo 2013-2020.

Un porcentaje mínimo del 20% de los ingresos de las subastas será utilizado para mitigar y ayudar a la adaptación al cambio climático de los países en desarrollo.

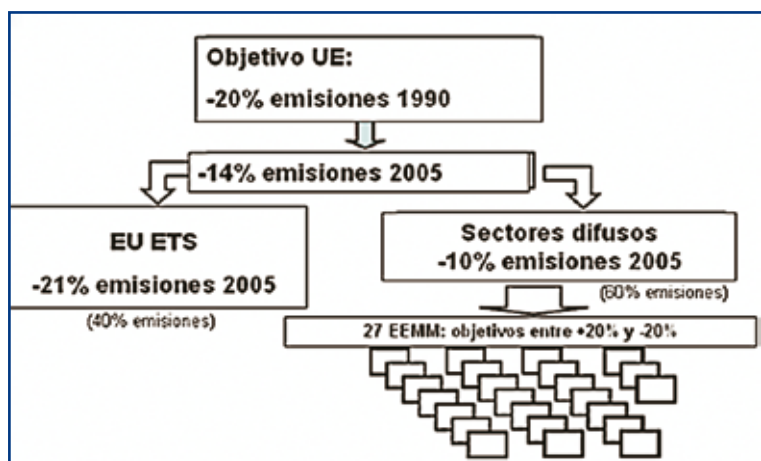
### Balance en España

En España el comercio de emisiones está regulado por la Ley 1/2005, y se ha comportado de una forma parecida al conjunto de Europa, ya que el sector con más déficit ha resultado ser el eléctrico, y el resto de los sectores han tenido suficientes derechos para cumplir sus obligaciones, e incluso algunos han tenido excedentes (Figura 21).

La tabla de la Figura 22, elaborada por la Oficina Española de Cambio Climático, recoge estos resultados:

El impacto económico entre los diferentes participantes en el comercio de emisiones ha sido muy desigual. Ha habido claros ganadores y perdedores tanto a nivel de país, de sector y de empresa. (Figura 23).

El resultado de la aplicación del PNA 2005-2007 en el sector eléctrico español no ha logrado su objetivo de reducción de emisiones en los dos años de funcionamiento, ya que aunque han entrado a funcionar nuevos ciclos combinados, el



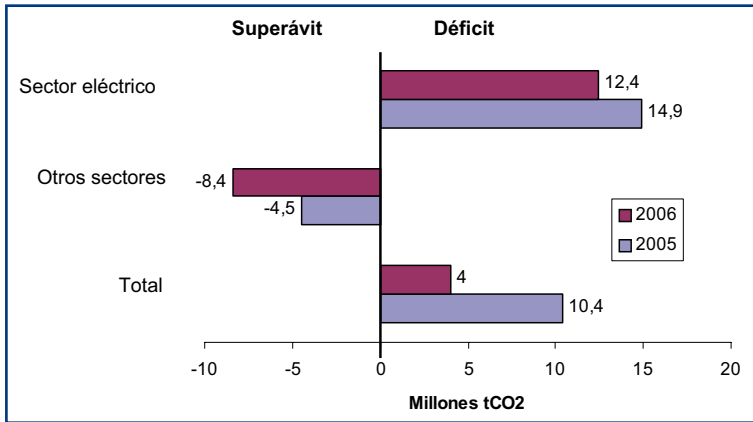


Figura 21. Diferencia entre emisiones reales y derechos asignados en los sectores afectados por el comercio europeo de emisiones de gases de efecto invernadero en España.

La asignación de derechos gratuitos en el Plan Nacional de Asignación español del período 2008-2012, es especialmente reducida para el sector eléctrico, que pasa de 88,65 M ton CO<sub>2</sub> en 2005-2007 a 54,05 en 2008-2012.

### ESTIMACIÓN DE PRECIOS DE LOS DERECHOS DE EMISIÓN

El precio del CO<sub>2</sub> está influenciado por una serie de factores externos, que hacen que su predicción sea muy difícil. De hecho, las estimaciones hechas para el primer periodo de la Directiva de Comercio de emisiones europeo, fallaron estrepitosamente, tal y como se verá más adelante (Figura 25).

Entre los factores más importantes que actúan sobre el precio del CO<sub>2</sub> se encuentran los precios del gas y el carbón, el crecimiento del PIB, la climatología, el marco regulatorio del Protocolo de Kyoto (por ejemplo la ratificación o no de Estados Unidos, la interacción entre mercados de CO<sub>2</sub> y las condiciones de asignación de derechos del mercado europeo de emisiones).

El precio del CO<sub>2</sub> tendrá una influencia decisiva en las estrategias de las empresas, ya que un precio alto impulsará inversiones en tecnologías menos emisoras, mientras que precios bajos, inclinarán a las empresas a adquirir reducciones de

Sector	Asignación 2006 (millones derechos)	Emisiones 2006 (Mt)	Emisiones 2005 (Mt)	(E2006-E2005)/E2005	Número de instalaciones
Combustión (1.b - 1.c)	21,5782	17,0543	14,1665	20,4%	371
Generación: carbón	54,2017	63,2102	73,4362	-13,9%	26
Generación: ciclo combinado	18,7741	18,9104	13,2853	42,3%	25
Generación: extrapeninsular	10,6311	11,4355	11,4403	0,0%	16
Generación: fuel	0,5849	3,0617	5,8757	-47,9%	10
Industria: azulejos y baldosas	1,5947	1,3815	0,8011	72,5%	36
Industria: cal	2,4563	2,2051	2,0632	6,9%	24
Industria: cemento	28,3960	27,3660	27,3846	-0,1%	36
Industria: fritas	0,6935	0,5515	0,5792	-4,8%	22
Industria: pasta y papel	5,6249	4,6134	4,7519	-2,9%	117
Industria: refino de petróleo	15,2511	15,4948	15,4642	0,2%	13
Industria: siderurgia	8,7135	8,2541	8,2516	0,0%	29
Industria: tejas y ladrillos	4,9159	4,1461	4,0939	1,3%	282
Industria: vidrio	2,2524	1,9969	1,9932	0,2%	38
Subtotal: Generación	84,1918	96,6178	104,0375	-7,1%	77
Subtotal: Combustión (1.b - 1.c)	21,5782	17,0543	14,1665	20,4%	371
Subtotal: Industria	69,8983	66,0095	65,3828	1,0%	597
<b>TOTAL</b>	<b>175,6682</b>	<b>179,6816</b>	<b>183,5868</b>	<b>-2,1%</b>	<b>1045</b>

Figura 22. Diferencia entre Emisiones verificadas y asignación para los sectores cubiertos por el sistema europeo de comercio de emisiones en los años 2005 y 2006.

elevado precio del gas, ha provocado un mayor funcionamiento de las centrales térmicas de carbón, sin dar lugar a la esperable sustitución de estas por centrales de gas, menos emisoras de CO<sub>2</sub>.

Para el segundo período, no se van a introducir grandes cambios en la Directiva Europea, por lo que probablemente los segundos Planes Nacionales de Asignación para el período 2008-2012 darán lugar a desequilibrios similares a los del primero y va a suponer un recorte importante de derechos de emisión.

emisiones en el mercado.

Por esta razón, es muy grande el interés en conocer el futuro precio del CO<sub>2</sub>.

A continuación se muestran algunas estimaciones procedentes de distintos agentes:

- Diversos brokers se inclinan por situar el precio medio para el derecho de emisión europeo en 2008-2012, en un nivel de entre 15 y 20€/ ton CO<sub>2</sub>.

COMPAÑÍA	EUA (M)	GASTO (M €)
ENDESA	8,50	185,00
ENEL	8,00	182,00
RWE	8,00	<b>139,12</b>
Drax	6,30	<b>109,56</b>
EON	4,70	<b>81,73</b>
British Energy	2,92	50,75
Iberdrola	<b>1,96</b>	34,10
EDP	<b>1,61</b>	28,00
Verbund	<b>0,86</b>	15,00
PPC	0,50	12,60
EDF	<b>0,52</b>	9,00
CEZ	0,00	0,00
Vattenfall	0,00	0,00
Fortum	0,00	0,00
Elsam	0,00	0,00
<b>Spot 2005</b>	<b>Promedio</b>	
<b>17,39 €</b>	<b>56,46 €</b>	

Figura 23. Gasto de las principales eléctricas en derechos de emisión en 2005.

Fuente: Point Carbon.

Sector	PNA 2008-2012 (M ton CO <sub>2</sub> /año)
Sector eléctrico	54,05
Cogeneración Refinería	17,16
Refinerías	16,13
Coquerías	12,19
Cemento y Cal	31,29
Vidrio y Fritas	2,83
Cerámicas	5,72
Papel y Cartón	5,47
Total	144,85

Figura 24. Asignaciones en el PNA español para el período 2008-2012.

- Análisis más profundos, en su mayoría basados en las curvas de eliminación de CO<sub>2</sub> procedentes de bancos y consultoras predicen un precio de 25€/ton CO<sub>2</sub>.
- El resultado del modelo de IFC International arroja un rango de entre 8 y 20 €/ton CO<sub>2</sub> en 2008-2012

- JP Morgan ha elaborado un informe en el estima el precio de los derechos de emisión en el rango de 20 a 25 €/ ton CO<sub>2</sub> para 2008-2012. y para el período después de Kioto en 30 €/ ton CO<sub>2</sub>.
- Un reciente estudio de Point Carbon, estima que los precios del CO<sub>2</sub> en 2030 estarán en un rango entre 5 y 100€, en función del distinto grado de compromiso que se asuman en las políticas internacionales.
- Thomas Philippe, Director de la División de Mercados de energía de Dalkia, muy activa en el mercado de carbono, estima que el precio del CO<sub>2</sub> en 2030 estará en el rango de 30 a 60€/ton.

Aunque no hay unanimidad, hoy en día casi todas las estimaciones se mueven en el entorno de los 20- 30€/ ton para el periodo 2008-2012, con Hay mucha más dispersión en las estimaciones de después de 2012.

### El caso europeo

En la siguiente gráfica (Figura 25) se aprecian las grandes variaciones del precio del CO<sub>2</sub> en el Mercado Europeo de emisiones. La súbita caída de mayo de 2006 (de 30 a 10€) se debió a la publicación de las emisiones verificadas del año 2005, que puso en evidencia una sobre asignación de derechos en el sistema europeo, lo que hizo que la oferta fuera mayor que la demanda, y los precios llegasen casi a cero durante el año 2007.

La Comisión europea ha exigido a los Estados Miembros que reduzcan sus asignaciones en los Planes Nacionales de Asignación del segundo período de aplicación de la Directiva Europea de Comercio de Emisiones para evitar que se repita la experiencia de la primera etapa, y que el precio del CO<sub>2</sub> alcance valores que impulsen el cambio a tecnologías con bajas emisiones de CO<sub>2</sub>.

## EL PAPEL DE LA ENERGÍA EN LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO.

La producción de energía es uno de los sectores con mayores emisiones de CO<sub>2</sub>, y a la vez uno de los que tienen mayor potencial de reducción.

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) ha elaborado el llamado escenario de referencia, en el que aparecen las previsiones de consumo primario de energía entre 2003 y 2030. En este escenario el consumo aumentará un 60%, ya que se basa en la hipótesis de que el aumento del PIB equivale a un mayor uso de la energía.





Figura 25. Precios de los Derechos de emisión europeos desde el comienzo de aplicación de la Directiva en el año 2005 hasta mayo de 2007.

Fuente: EEX.

La inercia económica llevaría a la distribución por fuentes que se muestra en la figura 26.

En ausencia de políticas de lucha contra el cambio climático, el carbón y el petróleo serían los combustibles preponderantes, mientras que las energías nuclear e

hidroeléctrica serían menos importantes. El aumento de la energía solar y de la eólica no lograría sustituir a los combustibles fósiles.

La IEA también ha desarrollado otros escenarios en los que, gracias a nuevas políticas, se consigue una reducción de las emisiones en el año 2030. (Figura 27).

Vattenfall, en su informe “Curbing climate change” afirma que existe un potencial de reducción de cerca de 27 Gt CO<sub>2</sub>e por año en 2030 con un coste máximo de 40€ por tonelada de CO<sub>2</sub>. Esta reducción es la necesaria para alcanzar los objetivos de Naciones Unidas en 2030. El resultado se basa en la curva de coste de reducción de CO<sub>2</sub> que representa el conjunto de los costes de un número de proyectos o actividades de disminución de CO<sub>2</sub>. (Figura 28).

El sector eléctrico emitió 9.4 Gt CO<sub>2</sub> anuales en 2002, y según el escenario de referencia de la IEA, alcanzará los 16,8 Gt anuales en 2030.

La contribución del sector eléctrico a la reducción global, se estima en 6 Gt CO<sub>2</sub>e al año, a través del uso de energías renovables, nuclear, captura y almacenamiento

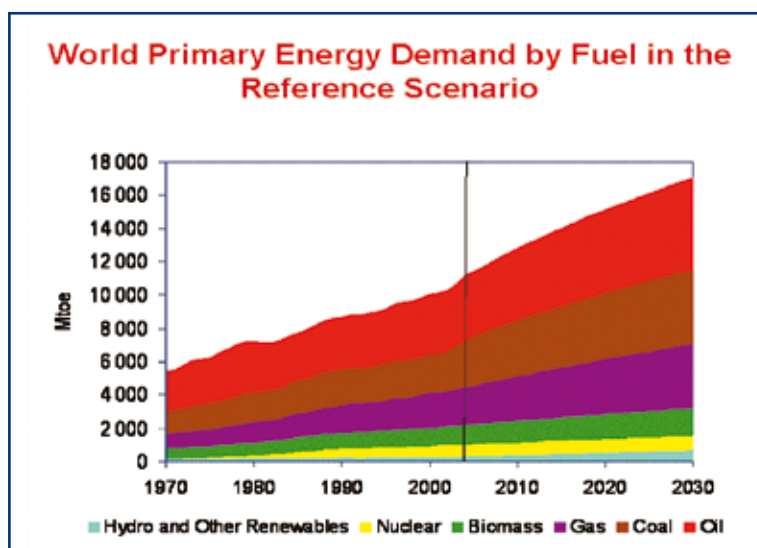


Figura 26. Escenario de referencia de la IEA sobre la demanda de energía primaria 2003-2030.

Fuente: IEA.

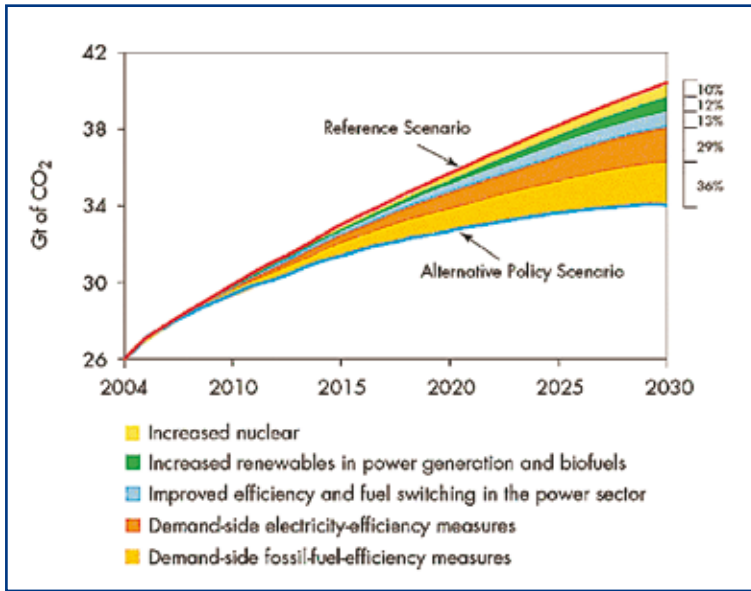


Figura 27. Escenario de reducción en 2030. Reducciones globales respecto al escenario de referencia. Fuente: IEA.

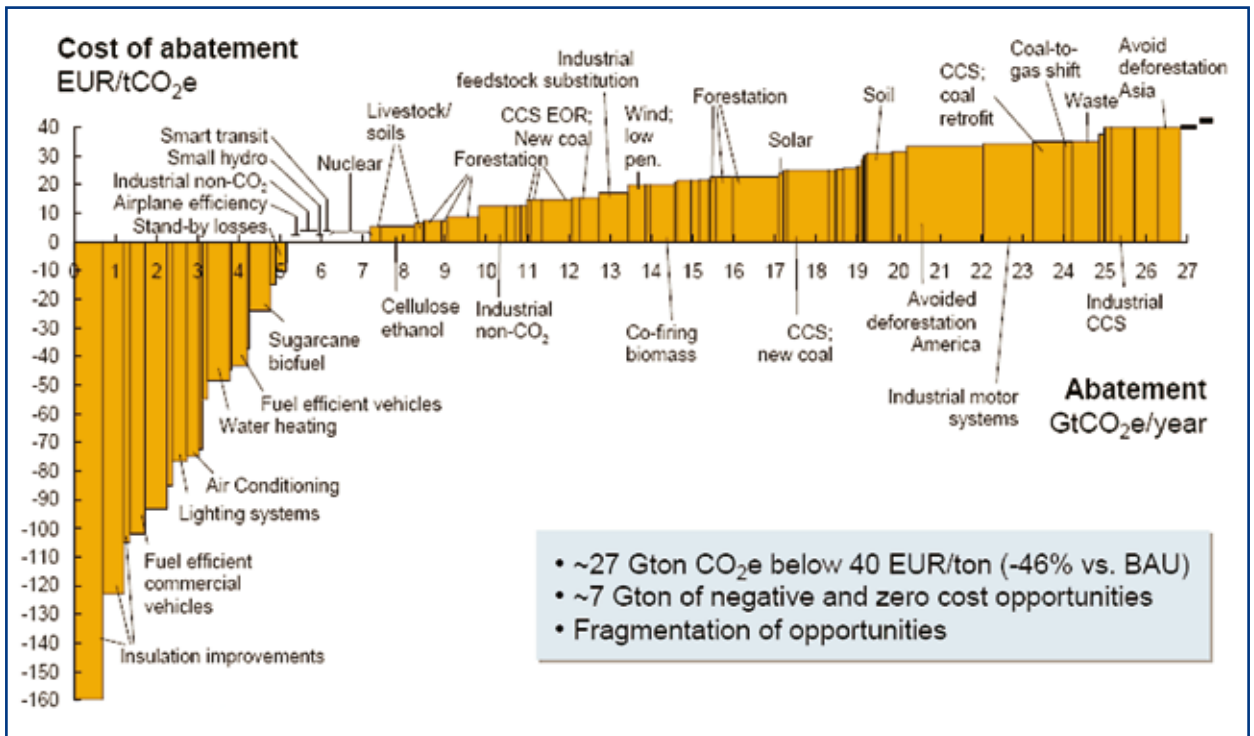
ración a través de ciclos combinados, pero el carbón es más barato que el gas, por lo tanto, en teoría, el CO<sub>2</sub> debería alcanzar un precio tal, que sumado a los costes de generación con carbón, el carbón fuera menos competitivo que el gas, y pudiese dar lugar a la sustitución. El precio dependerá de los costes de ambos combustibles y del precio del CO<sub>2</sub>. Algunas estimaciones estiman, que para que se de la sustitución de carbón por gas, el precio del CO<sub>2</sub> tendría que situarse en un rango de 25 a 35€/ton CO<sub>2</sub>.

Según los datos de la Comisión Europea, el sector eléctrico es clave para alcanzar los objetivos que propone la UE. El potencial de reducción del sector para el año 2030 es de un 66% de las reducciones globales. Incluso teniendo la previsión de un aumento del 74% del consumo de electricidad entre 2005 y 20050, la UE considera que el sector eléctrico podría reducir sus emisiones cerca de un 80% en ese periodo.

de CO<sub>2</sub>, sustitución de carbón por gas, y reducción de la demanda (Figura 29).

La generación de electricidad con carbón, sin captura de CO<sub>2</sub>, emite dos o tres veces más CO<sub>2</sub> que la gene-

La UE identifica como posibles soluciones la mejora de la eficiencia energética, el cambio de combustibles, la energía nuclear, las renovables, la cogeneración y la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.



- ~27 Gton CO<sub>2</sub>e below 40 EUR/ton (-46% vs. BAU)
- ~7 Gton of negative and zero cost opportunities
- Fragmentation of opportunities

Figura 28. Curva de costes de reducción de emisiones. Fuente: McKynsey.

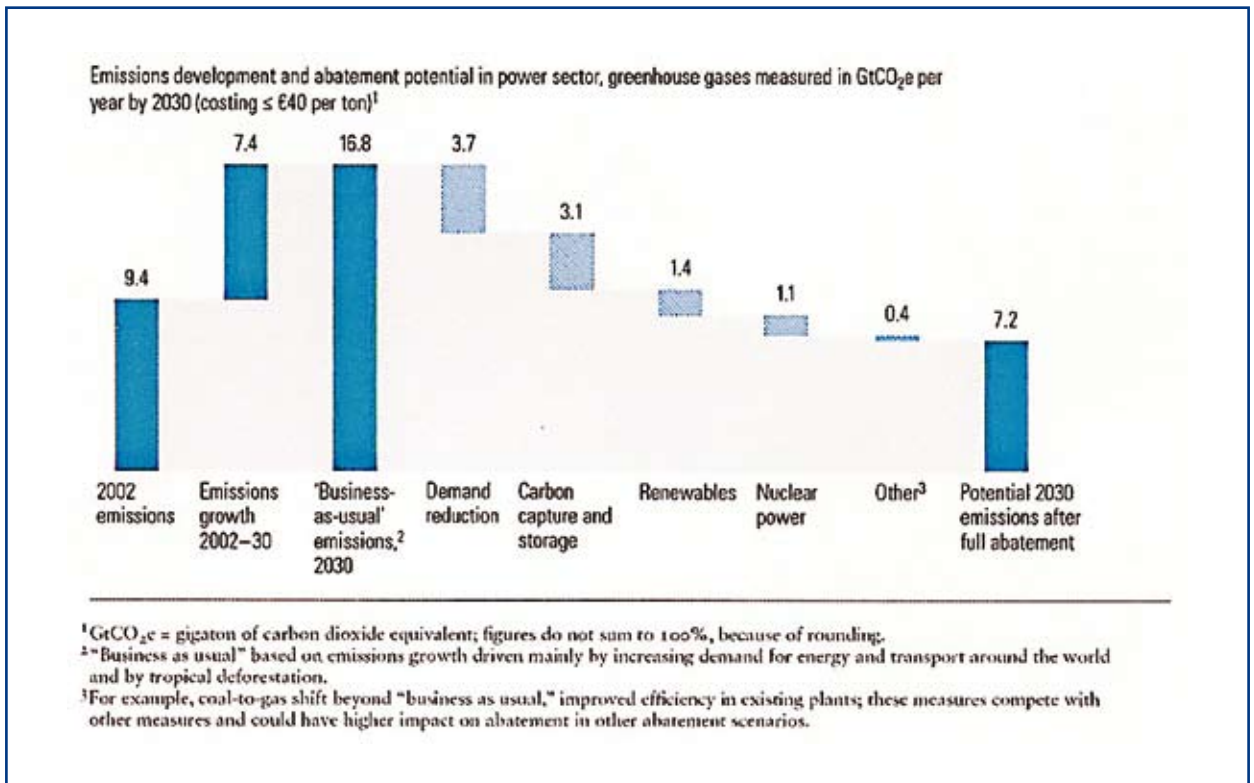


Figura 29. Potencial de reducción del sector eléctrico.  
Fuente: Vattenfall.

El paquete energético de la Comisión incluye la generación eléctrica sostenible a partir de combustibles fósiles, con el objetivo de conseguir emisiones del CO<sub>2</sub> prácticamente nulas, a partir del año 2020.

Según la IEA la demanda de electricidad en Europa se duplicará. Gran parte de la demanda se cubrirá con carbón, por lo que las tecnologías limpias de carbón suponen una gran contribución a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

