

# **COORDENAS DEL PLAN**

## **3. EL CAMBIO CLIMÁTICO**

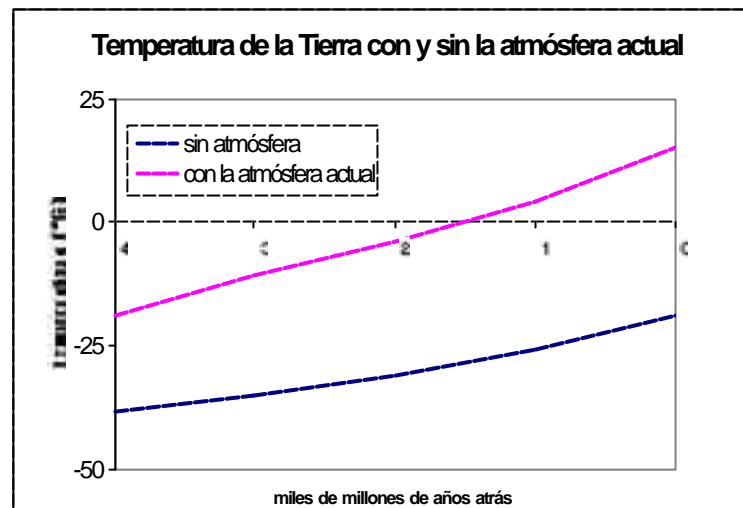
<b>3.1. El efecto invernadero .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2. El dióxido de carbono y el clima .....</b>	<b>34</b>
<b>3.3. El balance del carbono .....</b>	<b>36</b>
<b>3.4. El cambio climático .....</b>	<b>39</b>
<b>3.5. Los riesgos del cambio climático .....</b>	<b>41</b>

### 3.1. El efecto invernadero

Aunque el contenido en dióxido de carbono de la atmósfera no llega al 0,033% (v/v), sumado el vapor de agua y otros gases presentes en cantidades mucho menores en la atmósfera (metano, ...), este compuesto desempeña un papel principal en la determinación del clima de la Tierra. Ya a principios del siglo XIX, se reconoció que el dióxido de carbono de la atmósfera producía un efecto similar al de un invernadero. El vidrio de un invernadero permite el paso libre de la luz solar, pero evita que se escape el calor, al impedir, sobre todo, que el aire caliente del interior se mezcle con el exterior. De manera análoga, el dióxido de carbono y otros gases de invernadero muestran una relativa transparencia a la luz solar, pero aprisionan de manera eficaz el calor al absorber la radiación infrarroja emitida por la Tierra<sup>(1)</sup>.

Vista desde el espacio, la Tierra radia energía a longitudes de onda e intensidades características de un cuerpo a  $-18$  °C. No obstante, la temperatura media en la superficie es de unos  $33$  °C más alta, es decir de unos  $15$  °C, debido al aprisionamiento<sup>(2)</sup> provocado por los gases invernadero<sup>(2)</sup>.

Figura 3.1. Efecto invernadero.



Fuente: Investigación y Ciencia(2)

Del total de la energía solar incidente, alrededor del 30% es reflejada por las nubes, las partículas de la atmósfera y la superficie terrestre. El restante 70% es absorbida por la atmósfera (25%) y la superficie terrestre (45%). Esta energía absorbida se reemite en longitudes de onda del infrarrojo. La mayor parte de la radiación emitida por la superficie terrestre es aprisionada por las nubes y los gases invernadero, y devuelta a la tierra.

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) son:

- Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)
- Metano (CH<sub>4</sub>)
- Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)
- Hidrofluorocarbonos (HFCs)
- Perfluorocarbonos (PFCs)
- Hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)

La contribución al efecto invernadero por parte de los diferentes gases está en función de su **potencial radiante**, o lo que es lo mismo, la capacidad de absorber las radiaciones de alta y baja frecuencia y de reemitir esta radiaciones, y del **tiempo de permanencia** del gas en las capas bajas de la atmósfera, es decir de su reactividad y de la velocidad de transformación y desaparición.

Para comparar el efecto invernadero potencial entre los distintos gases se ha propuesto un índice, denominado **potencial de calentamiento global** (GWP), asociado a una emisión ponderal equivalente de sustancias a la atmósfera, con relación al dióxido de carbono, que es el gas invernadero que se encuentra en mayor concentración. La Tabla 3.1. recoge los GWP para algunos de los gases reconocidos de efecto invernadero en función del tiempo de permanencia en la atmósfera.

Tabla 3.1. Potencial de calentamiento global para algunos gases invernadero.

Gas	IPCC			USEPA
	20 años	100 años	500 años	
CO <sub>2</sub>	1	1	1	1
CH <sub>4</sub>	63	21	9	25
N <sub>2</sub> O	270	290	190	270
CFC-11	4.500	3.500	1.500	-
HFC-125		2.800		
PFC-218		7.000		
SF <sub>6</sub>		23.900		

Fuente: Elaboración propia

### **3.2. El dióxido de carbono y el clima**

Hace más de un siglo que el químico sueco Arrhenius y el geólogo americano Chamberlin propusieron independientemente la hipótesis de que las variaciones en la abundancia de dióxido de carbono en la atmósfera afectaban a la temperatura superficial de la Tierra.

En los años 40 y principio de los 50, algunos investigadores se dieron cuenta que el calentamiento global observado durante los 60 años anteriores podría haber sido producido por un aumento en la cantidad del dióxido de carbono atmosférico como consecuencia de la combustión de materias fósiles.

Esta propuesta no fue tomada inicialmente en serio por varias razones. La primera era que por estas fechas la temperatura media global dejó de subir, llegando incluso a disminuir en las décadas siguientes. Una segunda razón fue que el mundo científico admitía que casi todo el dióxido de carbono producido industrialmente sería absorbido por los océanos, y por consiguiente eliminado de la atmósfera.

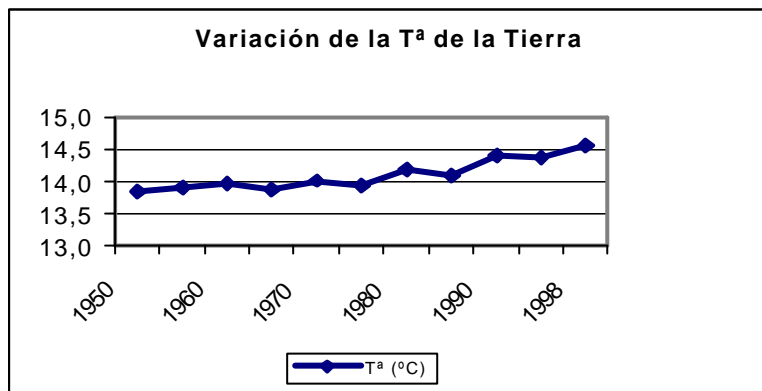
La mayor parte del dióxido de carbono en los océanos se encuentra en forma de aniones carbonato y bicarbonato, y

solamente una pequeña parte se encuentra como CO<sub>2</sub> libre disuelto. Los gases se intercambian con facilidad entre la atmósfera y el océano únicamente en una capa superficial bien mezclada de unos 80 m de profundidad promedio. Una variación dada en la cantidad de CO<sub>2</sub> en la atmósfera modifica el contenido en el agua superficial en una novena parte de aquella variación (es el llamado factor de amortiguación, 9:1). Este factor tiende a aumentar al incrementarse el dióxido de carbono atmosférico. La difusión hacia abajo, la advección y la convección entre la capa superficial y las aguas más profundas aumentarían la absorción, pero estos mecanismos son relativamente lentos. En consecuencia, una gran parte del dióxido de carbono liberado en la combustión de combustibles fósiles va a permanecer en la atmósfera durante un considerable período de tiempo, pensándose cada vez con mayor certeza que provocará grandes cambios en el clima terrestre.

Las figuras siguientes ponen de manifiesto el acoplamiento existente entre la variación de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera con el aumento de las emisiones antropogénicas de dicho gas y con el incremento de la temperatura media de la Tierra.

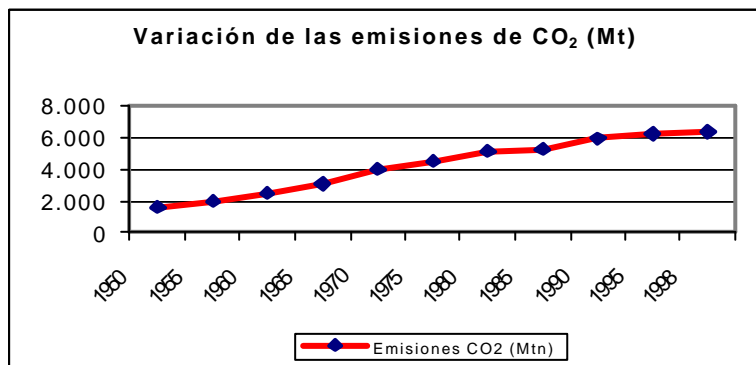


Figura 3.2. Variación de la temperatura media de la Tierra en los últimos 50 años



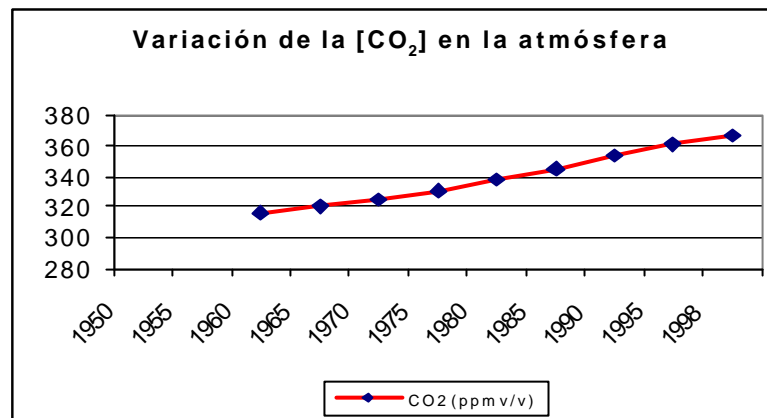
Fuente: Elaboración propia

Figura 3.3. Variación de las emisiones de dióxido de carbono en los últimos 50 años.



Fuente: Elaboración propia

Figura 3.4. Variación de las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera en los últimos 50 años



Fuente: Elaboración propia.

El aumento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero desde 1750 hasta 1992 se ha estimado en cantidades que están cerca del 30% para el CO<sub>2</sub>, 145% para el CH<sub>4</sub> y 15% para el N<sub>2</sub>O.

### 3.3. El balance del carbono

El dióxido de carbono es el más importante de los gases de efecto invernadero sobre los que influyen las actividades humanas. Su concentración en la atmósfera está determinada por las emisiones derivadas del empleo de combustibles fósiles y del uso de la tierra, así como por su absorción y liberación por parte de los océanos, la vegetación y los suelos. Generalmente, el exceso de CO<sub>2</sub> antropogénico es transportado al océano y a la biosfera por los mismos procesos que el CO<sub>2</sub> natural, mediante procesos de intercambio no lineales, lo que significa que la absorción del exceso de CO<sub>2</sub> antropogénico no es proporcional a los flujos naturales de intercambio.

Según estimaciones recientes, las emisiones de carbono procedentes del empleo de combustibles fósiles y del uso de la tierra suponen globalmente unos 7 mil millones de toneladas al año (7 Gt/año). Sus principales contribuyentes se distribuyen entre los sectores del transporte, la generación de energía eléctrica, la deforestación, la industria y el sector residencial, siendo los tres primeros las fuentes principales<sup>(3)</sup>.

El CO<sub>2</sub> proporciona la mayor parte (aproximadamente el 60%) de la contribución al efecto invernadero por aporte antropogénico. Si las emisiones antropogénicas globales netas se mantienen en el nivel actual de 7 Gt/año (incluyendo las emisiones por empleo de combustibles fósiles, la producción de cemento y los cambios en el uso de la tierra), se alcanzará un valor de 510 partes por millón en volumen (ppmv) al final del siglo XXI (casi el doble de la concentración pre-industrial de 280 ppmv), originando un aumento de la temperatura de unos 2°C, ya que aproximadamente el 50% (3,4 Gt/año) del total permanecerá en la atmósfera<sup>(4)</sup>. Esta cifra corresponde al incremento anual de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera de cerca de 1,5 partes por millón en volumen (ppmv) observada para el período 1980-1989.

Sin embargo, a pesar de los niveles cada vez mayores de CO<sub>2</sub> atmosférico, **la tasa de crecimiento atmosférico** no corresponde exactamente a las emisiones antropogénicas. Por el contrario, ésta es 2-3 veces menor que la tasa de aumento de la suma de las emisiones de CO<sub>2</sub>. En general, se puede deducir que los tiempos de mezclado, relativamente rápidos dentro de la atmósfera, excluyen un tiempo de respuesta significativamente retardado para los

niveles de concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico, así que debe haber otra explicación para las diferencias en las tasas de incremento.

En los últimos años, se ha observado que la capacidad de captura de los depósitos de carbono ha aumentado, provocando un desequilibrio en el cálculo del carbono total. El carbono restante es captado por los océanos y por la biosfera terrestre (vegetales y suelo). Se estima que los océanos captan 2,0 Gt/año. Una mayor concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera desequilibra el gradiente entre el CO<sub>2</sub> del aire y el de la superficie del agua del mar (infrasaturada), lo que da lugar a un mayor flujo de CO<sub>2</sub> hacia las aguas superficiales. Estos procesos se traducen en que éstas captan mayor cantidad de CO<sub>2</sub> que en las épocas preindustriales. Su solubilidad en agua depende de la temperatura, siendo mayor en agua fría, por lo que es posible que este proceso se vea afectado por el calentamiento global.

El proceso físico producido por la circulación en los mares, con una tasa de recambio de varios cientos o miles de años, es el que determina la tasa final de captura de los océanos. Asimismo, el proceso biológico está regulado por

la absorción de CO<sub>2</sub> por parte de los organismos a partir del carbono inorgánico disuelto o, en parte, directamente de la atmósfera. El CO<sub>2</sub> captado lo incorporan a sus tejidos orgánicos y a las conchas de carbonato. Este proceso de transformación reduce la concentración de CO<sub>2</sub> en la superficie e incrementa el flujo desde la atmósfera.

Los **bosques boreales** también absorben CO<sub>2</sub> a una velocidad de 0,5 Gt/año. El resto, alrededor de 1,3 Gt/año, se supone que es captado por otros procesos de la biosfera terrestre. Los vegetales terrestres, por ejemplo, consumen unas doce veces las emisiones mundiales de combustibles fósiles al año. Desgraciadamente, la biosfera también emite aproximadamente la misma cantidad de CO<sub>2</sub> a partir de la respiración y la descomposición de las plantas. Por todo ello, **las plantas terrestres son un componente crítico del ciclo global del carbono**. La reforestación constituye otra forma potencial de captar carbono ya que se supone que las plantas jóvenes secuestran más carbono que los bosques maduros.

La transferencia de carbono también se ve influida por otros **factores externos** como las condiciones atmosféricas, la actividad volcánica, la interacción de los



niveles de ozono con los niveles de CO<sub>2</sub>, las tasas de precipitaciones, la duración de la época de crecimiento, así como los cambios estacionales en el uso de combustibles de origen fósil.

Tabla 3.2. Valores anuales medios del carbono en el período 1980-1989.

	Valores medios Gt/año	Incertidumbre %
<b>Fuentes de CO<sub>2</sub></b>		
(1) Empleo de combustibles fósiles y producción de cemento	5,5 ±0,5	±9
(2) Cambios en el uso de la tierra en los trópicos	1,6 ±1,0	±63
<b>Total</b>	<b>7,1 ±1,1</b>	<b>±15</b>
<b>Depósitos de CO<sub>2</sub></b>		
(3) Atmósfera	3,3 ±0,2	±6
(4) Océanos	2,0 ±0,8	±40
(5) Bosques boreales	0,5 ±0,5	±100
<b>Total</b>	<b>5,7 ±1,0</b>	<b>±18</b>
(6) Otros depósitos terrestres = [(1) + (2)] - [(3) + (4) + (5)]	1,3 ±1,5	±107

Fuente: IPCC, 1996; Joos, 1995.

Las **diferencias en la sensibilidad de las especies** ante niveles alterados de CO<sub>2</sub> en la biosfera, los **factores genéticos** que determinan la sensibilidad de cada planta al estrés o su capacidad para captar carbono (plantas C3/C4) y la **actividad biogénica local** (que varía unos 3 ppmv en el ciclo anual) son factores que dificultan la estimación del balance del carbono y que también deben ser tenidos en cuenta.



### 3.4. El cambio climático

Las evidencias sugieren que hay una perceptible influencia humana en el clima global. Uno de los principales desafíos medioambientales actuales consiste en evitar un probable cambio climático de origen antropogénico, que causaría graves perjuicios a la salud y al bienestar humano, así como a los ecosistemas.

Según el **Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC)**, grupo científico creado en 1988 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Meteorológica Mundial, existe una relación entre el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera y el cambio climático.

El 9 de mayo de 1992 se aprobó el *Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. En diciembre de 1997, se celebró en Kioto la *Tercera Conferencia de las Partes del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, que alumbró el denominado **Protocolo de Kioto**. En Kioto se acordó reducir las emisiones de gases invernadero de los países

industrializados en un 5,2% para el periodo 2008-2012, respecto a 1990. La UE, por su parte, se comprometió a una reducción mayor, del 8%.

A pesar de estos compromisos, las previsiones a escala mundial establecen que para el 2010 las emisiones anuales tendrán un incremento de un 50% en relación con 1990.

La demanda de energía experimentará un enorme aumento<sup>(5)</sup> ya que se espera que la población mundial crezca de 5,3 miles de millones en 1990 a 9,5 miles de millones en el 2050 y hasta 10,5 miles de millones en el 2100. Un estudio de la *Agencia Internacional de la Energía (IEA)* sugiere que, a menos que se produzcan cambios significativos en los mercados energéticos, las fuentes principales de energía se basarán aún en los combustibles fósiles hasta bien entrado el siglo XXI. Esta perspectiva aumenta la preocupación por las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para alcanzar una situación que impida la peligrosa interferencia del hombre en la atmósfera, se ha recomendado que, antes del año 2010, se establezca la concentración de CO<sub>2</sub> a un nivel inferior a 500 ppm, y preferiblemente inferior a 450 ppm. Para llegar a la



estabilización a 450 ppm, la emisión global de CO<sub>2</sub> procedente de fuentes fósiles debería reducirse desde el nivel actual de 6 GtC (gigatoneladas de carbono) al año, a un nivel inferior a 3 GtC anuales para finales del próximo siglo. La reducción global media del 50% implicaría una reducción de al menos el 80% en el mundo industrializado.

Una opción importante para evitar la emisión de CO<sub>2</sub> consiste en una fuerte reducción de la intensidad energética de la economía, sobre todo mejorando el rendimiento energético y el consumo de materiales. En este sentido, se podría obtener una mejora del 75% hacia mediados del próximo siglo.

Una segunda opción consiste en acelerar el uso de fuentes de energía renovables. Las posibilidades de estas fuentes son enormes y su futuro parece prometedor. Estudios del Banco Mundial y del Consejo Mundial de la Energía, entre otros, estiman que las fuentes de energía renovables podrían satisfacer más de la mitad de nuestras necesidades energéticas para mediados del siglo XXI, aunque pueden pasar todavía veinte años antes de que se consiga una aplicación masiva, de forma competitiva.

El cambio de combustible por otros con menor contenido en carbono es otra opción importante en la reducción de las emisiones de dióxido de carbono.

Puede concluirse, en principio, que existen varias opciones que se podrían desarrollar y aplicar para evitar las emisiones de CO<sub>2</sub>. Pero hay que reconocer que no se sabe si dichas opciones se podrán desarrollar a tiempo, ni si se podrán aplicar al nivel necesario. Teniendo en cuenta que las nuevas tecnologías necesitan tiempo para su puesta en marcha, conviene decidir, sin dilación, el desarrollo de tecnologías económicamente beneficiosas y sin efectos nocivos para el medio ambiente, para que estén listas a tiempo de ser efectivas. El riesgo real de daños costosos causados por el cambio climático es un incentivo más para tomar medidas de precaución.

Dada la gravedad del tema, la posible incertidumbre científica no debería excluir la toma de medidas. Es decir, un desarrollo prudente de las acciones a llevar a cabo ante un problema como el cambio climático, implicaría una política de regulación gradual bien diseñada. Esta política podría ser positiva desde el punto de vista económico, beneficiosa para el medio ambiente y, a la vez, incluir



medidas de mitigación, adaptación y mejora del conocimiento.

Año tras año, las variaciones en el clima de cualquier lugar pueden ser grandes; el análisis de los datos meteorológicos y de otros datos sobre grandes áreas y sobre períodos de décadas o más, han proporcionado evidencia de algún cambio sistemático, por ejemplo: la media de la temperatura superficial del aire se ha incrementado entre 0,3 °C y 0,6 °C desde finales del siglo XIX y entre 0,2 °C y 0,3 °C en los últimos 40 años. La precipitación se ha incrementado sobre tierra en latitudes altas del Hemisferio Norte, especialmente durante la temporada fría. El nivel medio del mar a escala global ha subido entre 10 y 25 cm respecto al que tenía 100 años antes, y mucho de este incremento en el nivel puede estar ligado al incremento en la temperatura media global.

Todos los datos más recientes apuntan a que el calentamiento global de la Tierra persistirá todo este siglo, incluso aunque se reduzca de modo considerable las emisiones de CO<sub>2</sub>. Las temperaturas pueden subir una media de 4°C en los próximos 100 años y el nivel del mar, un metro.

### **3.5. Los riesgos del cambio climático**

La Tabla 3.3. recoge a modo de muestra algunos de los riesgos a los que la humanidad está expuesta como consecuencia del cambio climático.

Las previsiones más recientes<sup>(8)</sup> (IPCC 2000) indican que el cambio climático provocará un aumento de las temperaturas entre 1°C y 6°C para el año 2100. Las posibles consecuencias son la elevación del nivel del mar (hasta 90 cm), la aparición de más tormentas, inundaciones y sequías más frecuentes, así como cambios en la biota y en la productividad de alimentos.

Por su situación geográfica, España será previsiblemente uno de los países más afectados por las consecuencias del cambio climático, con incremento de las temperaturas medias y descenso de los actuales niveles de precipitaciones<sup>(9)</sup>.

Aunque la meta del Convenio sobre el Cambio Climático es evitar una peligrosa concentración de gases de efecto invernadero, el umbral no puede predecirse con certeza. En el momento en que se conozca mejor cómo funcionan las numerosas retroalimentaciones del sistema climático,

podrán mejorar las previsiones sobre la proporción y magnitud de los cambios.

Un elemento clave de las estrategias para paliar las consecuencias del cambio climático es tener proyecciones más exactas de cómo afectará a ciertas regiones, para poder poner en marcha medidas que permitan administrar esos cambios. Sin embargo, los rendimientos que pueden esperarse de esas medidas son necesariamente limitados. Por ello, lo más importante es frenar la emisión de los gases de invernadero a la atmósfera, ya que es la única acción que incide directamente en las causas que provocan el cambio climático.

### Referencias del Capítulo 3.

- (1) Un clima cambiante. Stephen H. Schneider. El Clima. Investigación y Ciencia, 2001.
- (2) Evolución del clima en los planetas terrestres. J.F. Kasting et al. El Clima. Investigación y Ciencia, 2001.
- (3) Agencia Internacional de la Energía (IEA, 1995).
- (4) IPCC, 1992.
- (5) IPCC, 1996.
- (6) IPCC, Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change.
- (7) Los riesgos del cambio climático. Molly O'Meara. World Watch, 1998.
- (8) Tercer Informe de Valoración IPCC, 2000.
- (9) Diagnóstico y Tendencias Relevantes para la Sostenibilidad. Estrategia Española de Desarrollo Sostenible. MMA, 2001.

Tabla 3.3. Los riesgos del cambio climático.

ÁREA	RIESGOS SELECCIONADOS
<b>Sistemas ecológicos</b>	
Bosques	La vegetación cambiará en un tercio de los bosques globales; desaparición de tipos de bosques enteros; los incendios forestales serán más frecuentes
Ecosistemas terrestres y acuáticos	Extinción de ciertas plantas y animales al cambiar el clima de la zona donde se asientan
Desiertos	Más calor pero no más humedad en algunas áreas. Aumentará la desertificación
Montañas	Extinción de las plantas y animales endémicos de las montañas; pérdida de un tercio a la mitad de la masa de los glaciares durante el próximo siglo
Océanos y sistemas costeros	Inundación de las zonas húmedas costeras, arrecifes de coral y deltas de los ríos
<b>Sistemas socioeconómicos</b>	
Recursos de agua	Disminución grande de la disponibilidad de agua per cápita en algunas áreas
Agricultura	Hambre en áreas dependientes de sistemas agrícolas aislados (como Africa subsahariana, partes de Asia, áreas tropicales de América latina)
Pesquerías	Pesquerías nacionales y locales vulnerables al cambio en las especies y centros de reproducción. Los mayores riesgos corresponden a los pequeños pescadores y de subsistencia.
La industria del seguro	Dificultad para ajustar las primas, debido a los cambios imprevisibles en acontecimientos del tiempo extremos. Quiebra de la industria por desastres más frecuentes o más grandes
<b>Salud humana</b>	
Hábitat	Ciudades costeras grandes particularmente en peligro. Daños por la olas de los temporales costeros, inundaciones, derrumbamientos, tormentas, deshielos rápidos, ciclones tropicales e incendios forestales
Enfermedad	Más enfermedades y muertes relacionadas con el calor. Mayor extensión de las enfermedades transmitidas por los mosquitos y por otros vectores a causa del aumento de su distribución espacial y temporal

Fuente: IPCC, *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change*