

FUNDAMENTOS E IMPLICACIONES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

L. BALAIRÓN

El aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, como consecuencia del aumento creciente de emisiones desde el inicio de la revolución industrial, altera el equilibrio entre las energías entrante y saliente del sistema terrestre. El aumento de la temperatura de superficie es una respuesta inicial para restaurar el equilibrio, que se ve modificada por numerosos procesos de retroalimentación. Las simulaciones climáticas nos proporcionan escenarios de variables climáticas a distintas escalas espacio-temporales que permiten llevar a cabo estudios de impactos climáticos en diferentes ecosistemas naturales y en diferentes sectores de actividad.

INTRODUCCIÓN

La atmósfera de nuestro planeta contiene algunos gases en proporciones exiguas, muy inferiores al 1%, que se miden en partes por millón, transparentes a la radiación solar que recibimos, pero capaces de absorber parte de la radiación terrestre infrarroja que escapa hacia el espacio exterior y de alterar por ello la distribución vertical de la temperatura atmosférica. Este efecto, conocido como Efecto de Invernadero, es responsable de que la temperatura terrestre media observada junto a la superficie sea de unos 288 K (15°C) y no de 256 K (-18°C), *temperatura de equilibrio*, que se obtiene al igualar la energía solar absorbida y la energía emitida hacia el espacio por el conjunto Tierra-Atmósfera. Esta temperatura de equilibrio es la que mediríamos en superficie de no existir gases de invernadero o de no existir atmósfera.

En la actualidad emitimos a la atmósfera varios miles de millones de toneladas anuales de dióxido de carbono procedentes de la quema de combustibles fósiles (en términos de toneladas de carbono al año son 5,5 millones) y liberamos en cantidades crecientes otros gases como metano, óxido nítrico, ozono y halocarbonos, en actividades industriales y agrícolas vinculadas a nuestras formas de sociedad, que contribuyen a intensificar, inicialmente, el mecanismo del efecto de invernadero natural, de una forma sin precedentes en los últimos millones de años.

La posibilidad de un calentamiento mundial acelerado durante el próximo siglo y las implicaciones del mismo han acelerado la integración de los conocimientos de la comunidad científica internacional para responder a este problema con la mayor urgencia y con la menor incertidumbre posibles.

Sin embargo, el clima es consecuencia

de una gran cantidad de interacciones entre la atmósfera, los océanos, los hielos, la biosfera y el suelo que regulan la relación entre las emisiones de gases y las concentraciones posteriores a largo plazo y que, mediante numerosos procesos, amplifican y reducen las respuestas iniciales a cualquier perturbación, como es la intensificación del efecto de invernadero.

Nuestro conocimiento cada vez mejor de los cambios de clima del pasado, nos enseña que la naturaleza del clima es la del cambio permanente y que los cambios bruscos pueden tener lugar de forma natural. Sin embargo, también nos hace comprender que responden, por lo general, a causas definidas de carácter global y local y que los ritmos de cambio han sido muy inferiores a los que ahora tememos que se produzcan.

El temor está fundado en la capacidad de obtención de escenarios de clima futuro, que se corresponden con varias hipótesis posibles sobre población, desarrollo económico y consumos energéticos. Tenemos, eso sí, muchas respuestas y con distinto grado de certeza. Confiamos, por ejemplo, más en las previsiones de los cambios de temperatura, que en las previsiones de precipitación o del nivel mar y esto reduce la confianza en las respuestas a preguntas clave: ¿Cómo será el impacto costero de la su-

bida del nivel del mar? ¿cómo resistirán los bosques o los cultivos a los cambios?. Un retraso en el calentamiento previsto o en un error en la distribución geográfica del cambio de las precipitaciones produce resultados muy diferentes en la evaluación de impactos y en las estrategias que deberíamos adoptar.

Se presenta en este artículo, una visión de conjunto del estado de nuestros conocimientos y de la forma en que se ha abordado el problema desde la comunidad científica y desde los organismos intergubernamentales que han sido encargados de acelerar la integración de conocimientos existentes y de impulsar la investigación en torno a las incertidumbres esenciales.

Los gases de efecto invernadero

Durante miles de años antes de la revolución industrial, las concentraciones de gases de efecto invernadero permanecieron sensiblemente constantes. Desde 1790 hasta ahora, sin embargo, las concentraciones atmosféricas de gases de efecto de invernadero han aumentado de forma creciente. La alteración de la composición atmosférica ha planteado, por primera vez, la posibilidad de que el clima cambie de forma brusca por razones no naturales.

Comparación de ritmos de calentamientos durante varios períodos

Período	Magnitud del cambio (°C)	Ritmo del cambio (°C/década)
Calentamiento medieval	1	0,05
Interglacial Edad del hielo	5-10	0,05-0,10
Calentamiento observado en los 100 últimos años	0,3-0,6	0,03-0,06
Escenarios Siglo XXI	1,5-4,5	0,15-0,45

El dióxido de carbono ha aumentado un 25 % en este periodo. El ritmo actual de crecimiento es de 0,48 % cada año y la tendencia de crecimiento es exponencial.

El metano ha aumentado hasta duplicar sobradamente su concentración de referencia en la etapa preindustrial, y ha crecido linealmente durante la última década a razón de más de 10 ppbv al año (17 ppbv según evaluaciones de años anteriores). Las concentraciones de óxido nitroso aumentan más lentamente, aproximadamente un 0,3% al año.

Existen otros gases con un acusado efecto de invernadero, no por la abundancia de su presencia, si no por sus períodos largos de vida en la atmósfera o por su eficacia relativa en cuanto a la intensificación del propio efecto citado. Son gases vinculados al desarrollo industrial, surgidos entre los años 1930 y 1950. Agrupados en familias de compuestos que conocemos como clorofluorocarbonos, halocarbonos, perfluorocarbonos y otros, están asociados en su mayor parte al proceso de destrucción de la capa de

sustitutos de estos gases, han resultado ser, lamentablemente, muy activos en cuanto a su capacidad de alterar el balance global de radiación.

Durante la Tercera Conferencia de las Partes de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas, celebrado en diciembre de 1997 en Kioto -Japón-, se tomaron en consideración tres de estos gases, además de los tres gases principales que figuran en la Tabla I: Los hidrofluorocarbonos (HFCs), los perfluorocarbonos (PFCs) y el hexafluoruro de azufre (SF₆), en previsión de su posible contribución futura.

El sistema climático: Retroalimentaciones y sensibilidad

El concepto de clima ha evolucionado hasta concebirse como el resultado de las interacciones complejas entre diferentes subsistemas: La atmósfera; la hidrosfera –aguas continentales y marítimas-; la criosfera-hielos y nieves-; la biosfera y la litosfera –esencial si se consideran períodos de muchos millones de años-. (ver Fig. I)

Fuente: IPCC-95	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11
Concentraciones pre-industriales	280 ppmv	700 ppbv	275 ppbv	0
Concentración en 1994	358 ppmv	1720 ppbv	312 ppbv	268 pptv
Ritmo de cambio en la concentración	1.5 ppmv/año 0.4 % anual	10 ppbv/año 0.6 % / año	0.8 ppbv/año 0.25% / año	0 pptv/año 0% / año
Tiempo de vida en la atmósfera(años)	50 - 200 años	12	120	50

. CO₂: Dióxido de carbono . ppmv: Partes por millón en volumen
. CH₄: Metano . ppbv: Partes por miles de millones en volumen
. N₂O: Óxido nitroso

TABLA I

IPCC-95	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC
FUENTES	Combustibles fósiles Deforestación Quema de biomasa Producción de cemento	Arrozales Humedales Rumiantes Quema biomasa Comb.fósiles Termitas Vertederos	Fuentes biológicas Fertilización Quema biomasa Fuentes industriales	Refrigeración Impulsores Disolventes Retardantes del fuego Fabricación microcircuitos
SUMIDEROS	Océano y biosfera	Reacción con radicales hidroxilo en atmósfera	Destrucción fotolítica en estratosfera	Destrucción fotolítica en estratosfera

TABLA II

ozono y, por ello, controlados mediante el Protocolo de Montreal que regula sus emisiones. La aplicación de este Protocolo ha frenado sus tendencias de crecimiento que, probablemente, se invertirán a lo largo del siglo próximo. Los

Los procesos atmosféricos están condicionados por sus interacciones con el resto de los subsistemas. El comportamiento del clima real y del simulado es consecuencia del "acoplamiento" de estos subsistemas.

La biosfera y el océano regulan parte de los flujos materia y energía en juego. Los gases emitidos a la atmósfera son parcialmente absorbidos por estos subsistemas y parcialmente reemitidos de nuevo, determinando así la concentración final y sus tiempos de vida, permanencia y renovación característicos.

En escalas de tiempo situadas entre 10² y 10³ años el acoplamiento determinante es el de la atmósfera y el océano profundo. El océano, además de ser uno de los depósitos principales de carbono, reduce el ritmo de calentamiento mediante la absorción de calor y sus procesos de mezcla y es decisivo para anticipar los cambios regionales de clima, debido al transporte de calor que tiene lugar a través de sus corrientes superficiales y profundas. En las latitudes altas, la consideración adicional del papel de los hielos es esencial para simular correctamente los cambios más probables y para reducir las incertidumbres.

La respuesta inicial que tiende a calentar la atmósfera se encuentra sometida a procesos que la amplifican o la reducen, que actúan de forma simultánea y asociada: Son los procesos de *retroalimentación*.

La evaporación es un buen ejemplo de proceso de retroalimentación negativo y positivo: El aumento de temperatura produce más evaporación y facilita la formación de nubosidad que, por una parte reduce la radiación disponible y genera un enfriamiento y, por otra parte, aumenta el efecto de invernadero por ser el vapor de agua el gas natural más activo en inducir dicho efecto ; esto produce un calentamiento.

La abundancia y complejidad de estos procesos anula la eficacia de los razonamientos singulares y aislados y obliga a simular mediante modelos el comportamiento del sistema, para disponer de una herramienta de comprensión, diagnóstico y anticipación.

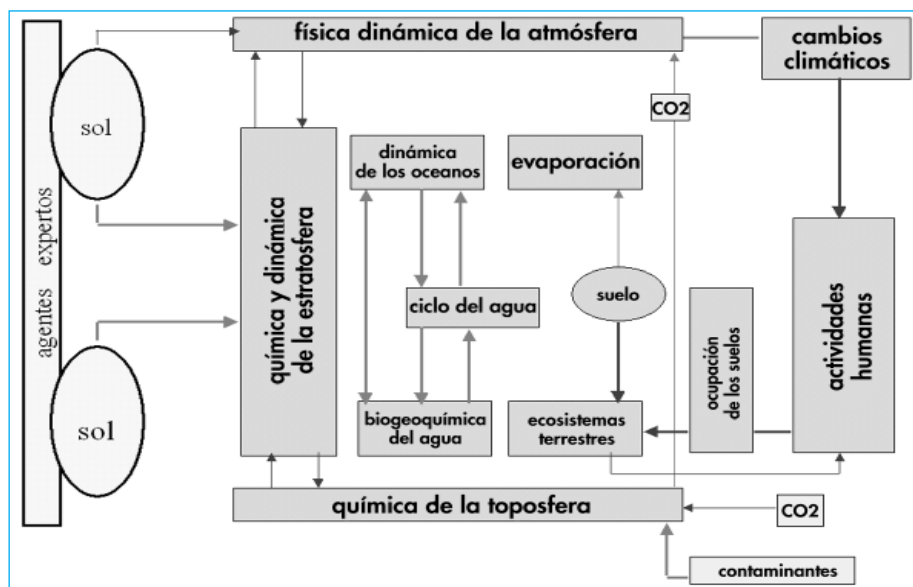
Las retroalimentaciones en las que intervienen el vapor de agua y las nubes responden instantáneamente al cambio climático y las que afectan a los hielos marinos responden a algunos años: Todas ellas son calificadas como *rápidas*.

Otras como la fusión de hielos continentales o la disolución de sedimentos de carbonato en el océano se califican como *lentas*.

Su acción conjunta y compleja es la que domina el resultado final de la perturbación introducida por el aumento de gases de invernadero.

Dos conceptos claves: Forzamiento radiativo ("forcing") y sensibilidad climática

La temperatura de equilibrio del planeta es la necesaria para que se mantengan



FI: El Cambio Climático

el equilibrio entre la energía solar recibida y la energía infrarroja emitida por el sistema Tierra-Atmósfera. Estas cantidades, promediadas en períodos largos son del orden de 240 W/m^2 .

Cualquier causa que altere el equilibrio del balance radiativo actuando sobre los procesos de emisión, absorción o transmisión de la radiación entrante o saliente, es una causa potencial de cambio climático.

Existen causas externas al sistema, como son las variaciones de la emisión solar, los meteoritos y los parámetros orbitales -excentricidad, oblicuidad y precesión-, con períodos de 110.000, 41.000 y 20.000 años, respectivamente,

Existen también causas internas al sistema, como son el vulcanismo, los cambios de las concentraciones de gases de efecto invernadero, la presencia en la atmósfera de aerosoles -partículas en suspensión de origen diverso- y los cambios

de albedo (tanto por ciento de radiación solar reflejada).

El concepto que cuantifica este desequilibrio es el de *forzamiento radiativo*. Se define como el cambio en la radiación neta descendente, en W/m^2 , que tiene lugar en la tropopausa -cima de la troposfera o capa atmosférica en que tienen lugar los fenómenos de tiempo y clima- cuando opera alguna de las causas citadas. Este concepto comporta ventajas muy notables, al facilitar la comparación entre sí, en un período determinado, de dos causas de cambio climático, o al considerar simultáneamente varias causas que actúen al tiempo.

En particular, el forzamiento debido a una duplicación hipotética de los gases de efecto de invernadero respecto al nivel preindustrial sería de unos 4 W/m^2 . Esto reduciría la radiación saliente a unos 236 W/m^2

Para comparar los forzamientos que se han introducido en el sistema climático desde el período preindustrial hasta nuestros días, en la fig.II se representan los cambios debidos a gases invernadero, a las variaciones de ozono estratosférico y troposférico, a los aerosoles troposféricos y a la radiación solar -en este caso medida desde 1850 hasta ahora-

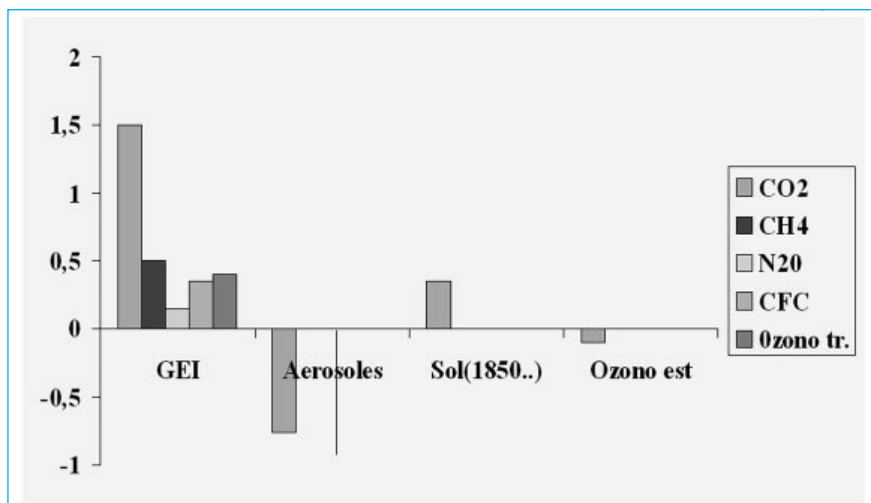
El forzamiento acumulado para cuatro de los gases de efecto de invernadero es de $2,5 \text{ W/m}^2$, muy superior al resto de los forzamientos considerados. En conjunto los forzamientos positivos suponen unos $3,5 \text{ W/m}^2$ frente a unos forzamientos negativos de 1 W/m^2 , determinados con una gran incertidumbre que podría elevar duplicar ese valor, debido al escaso conocimiento que tenemos de la acción indirecta de los aerosoles de sulfatos en el balance de radiación.

Los forzamientos radiativos para los gases de efecto invernadero se obtienen en función de las concentraciones inicial y final del período considerado y constituyen la forma más objetiva de medir el grado de perturbación que introducimos en el sistema y el punto de partida para simular los cambios en las variables climáticas.

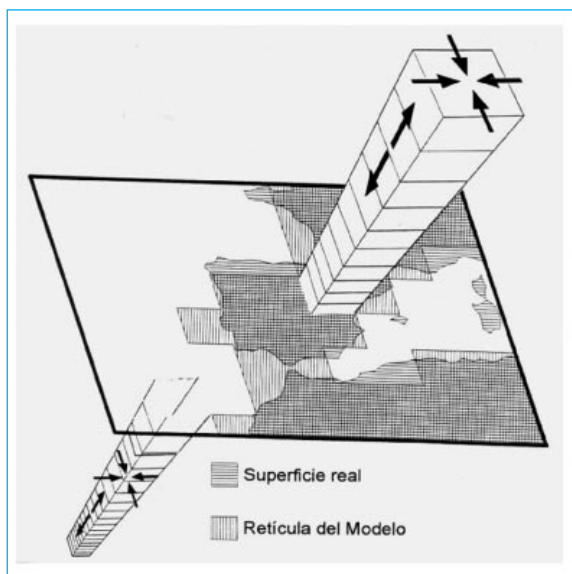
Si la temperatura fuera la única variable que cambiase ante los forzamientos, sin retroalimentaciones, como consecuencia de la aplicación de las leyes de conservación de la energía, la respuesta a la duplicación de gases de efecto invernadero sería un calentamiento de $1,2 \text{ }^\circ\text{C}$. Esta respuesta es innegable y los debates no giran sobre ella. Es la evolución posterior de las respuestas en cadena que se producen las que hacen posible la discrepancia, dentro de unos límites bien marcados.

Para expresar relaciones como la anterior, entre el aumento de la temperatura media mundial del aire en superficie y un forzamiento dado se utiliza el concepto de *sensibilidad climática*. En general, suele estar referido al caso de la duplicación y tiene en cuenta retroalimentaciones rápidas con distintos enfoques teórico-prácticos. La gama de sensibilidades obtenidas de esta forma oscila entre $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ y $4,5 \text{ }^\circ\text{C}$., superiores en todo caso al valor de calentamiento directo inicial.

Hasta ahora la sensibilidad se ha estimado mediante cuatro métodos independientes: Las simulaciones realizadas con modelos complejos; las observaciones directas en el pasado; las reconstrucciones del forzamiento en los paleoclimas y las comparaciones entre resultados de modelos climáticos del océano y registros de temperatura mundial.



FI: Forzamientos radiativos medios mundiales (W/m^2) debidos a cambios en las concentraciones de gases de invernadero y aerosoles desde la época industrial hasta 1992 y de la radiación solar emitida desde 1850 hasta 1992. (Fuente: IPCC-Segundo Informe de Evaluación, 1995)



FIII: Esquema tridimensional de un modelo de Circulación General (Adaptado del Hadley Center)

Modelos climáticos: Experimentos de equilibrio y de transición

Para simular el tiempo y el clima se recurre a la modelización, o simulación en ordenadores, del sistema que los regula y que representa de la mejor manera posible al Sistema Climático.

Según la escala de tiempo que queramos considerar, simularemos el clima mediante la modelización acoplada de los componentes elegidos y sus interacciones. El resto de los subsistemas son tratados como condiciones que no cambian durante la simulación realizada.

Además de los modelos de ciclo del carbono, de las capas de hielo, de la química atmosférica y de los aerosoles o de la subida del nivel del mar, existe una jerarquía de modelos climáticos de la atmósfera y el océano para abordar la simulación del cambio climático.

Esta jerarquía incluye modelos muy simples, que denominamos de dimensión cero, capaces solamente de establecer la respuesta mundial media al forzamiento dado; e incluye los modelos de circulación general atmósfera-océano (MCGAO), acoplados y tridimensionales, más complejos. Entre estos dos extremos se sitúan otros modelos unidimensionales radiativo-convectivos, de balance de energía, de difusión-afloramiento y otros, de naturaleza bidimensional.

Conviene señalar que cada modelo permite explorar comportamientos parciales del cambio de clima que nos interesa conocer. Los más sencillos ayudan a establecer la sensibilidad del sistema y a valorar las medidas de limitación de emisiones que se puedan acordar. Los más

complejos tienen como principal objetivo conocer las distribuciones espaciales, relativas al clima actual, que podemos esperar.

Proporcionan, por otra parte, los escenarios para valorar los impactos asociados al cambio.

En el caso de los modelos tridimensionales, los tamaños de las retículas para resolver los modelos actuales de circulación general (MCG) son de unos 250 a 400 km. Resoluciones inferiores a los 200 km, se consideran alta resolución. Por otra parte, los modelos que describen regiones geográficas subcontinentales se conocen como modelos "regionales", y simulan el clima con resoluciones inferiores a los 100 km.

La última observación es para distinguir entre los resultados de experimentos de modelización de *equilibrio* y experimentos de cambios climáticos de *transición* similares a los que podríamos encontrar en el futuro.

Las primeras generaciones de estos modelos simulaban y simulan el clima de "equilibrio" asociado a una hipotética duplicación "brusca" de las concentraciones de gases de efecto de invernadero respecto a la que existía en la época preindustrial. La simulación de la "transición" real, no brusca, hasta el nuevo estado de equilibrio se obtiene mediante métodos de interpolación y se considera que se alcanzarían valores en torno al 70% de los valores de equilibrio. Este concepto ha ocasionado no pocas confusiones y falsas contradicciones en la divulgación de resultados. Con frecuencia se presenta como una rebaja de los resultados iniciales lo que sólo es un asunto terminológico.

Los modelos acoplados océano-atmósfera más avanzados, introducen como perturbación radiativa aumentos anuales -del 1% de CO₂ a escala planetaria- e incluyen la presencia de aerosoles, cercanas a la situación real, de forma que sus resultados se pueden utilizar directamente.

Escenarios: De las emisiones a la respuesta climática

Aunque es frecuente la utilización del término predicción climática, resulta más riguroso utilizar el término escenario climático para hacer referencia a las estimaciones realizadas bajo hipótesis dadas.

No se debe olvidar que los escenarios

climáticos son el último eslabón de una cadena de escenarios previos de emisiones, concentraciones y forzamientos.

Los *escenarios de emisiones* dependen de la evolución demográfica prevista, del desarrollo económico y de los avances tecnológicos.

Los *escenarios de concentraciones* se obtienen a partir de las emisiones a través de los modelos de ciclo del carbono o de otros ciclos de gases, que simulan los mecanismos de transformación y eliminación de cada gas.

Los escenarios de concentraciones permiten calcular los *escenarios de forzamientos radiativos*, que se utilizarán como punto de partida para las estimaciones climáticas propiamente dichas. En este punto, es común realizar experimentos en los que se tienen en cuenta otros forzamientos adicionales para comparar su influencia en la simulación.

El paso de las concentraciones a los forzamientos es el que presenta menores incertidumbres. Sus valores se introducen después en los modelos como perturbación. Así se obtienen escenarios de temperatura y precipitación y de otras variables calculables.

En 1992 el IPCC revisó los escenarios de emisiones inicialmente presentados en su Primer Informe de Evaluación (1990) estableciendo con mayor coherencia las hipótesis condicionantes. La tabla III resume las condiciones de esos escenarios. En lo que sigue se hará referencia a tres de ellos: Los IS92 a, b y c, cuyas características se resumen en la Tabla III.

Los resultados globales para temperatura y elevación del nivel del mar, obtenidos con un modelo sencillo, con una sensibilidad de 2,5 °C, para cada uno de los escenarios de forzamientos correspondientes a las emisiones a, b y c anteriores, se muestran en las figuras 3 y 4. En ellas se aprecia que las reducciones de la temperatura son moderadas en relación al esfuerzo que se debe realizar para conseguirlo. Sin embargo, esos esfuerzos son necesarios para invertir la tendencia al aumento de emisiones.

Los resultados para España son muy similares, en el caso de la temperatura, a los que se obtienen para la media mundial. En cuanto a la precipitación estamos situados en una zona de incertidumbre muy alta, como lo demuestra la disparidad de resultados obtenidos en numerosos experimentos. A pesar de esto, en toda la cuenca del Mediterráneo y en la Península Ibérica en general se aprecia la presencia persistente, aunque cambiante en su ubicación, de la línea de cambio de más precipitación a menos precipitación. Es decir de la isolinia de 00 mm/día de cambio de precipitación.

ESCENARIO	POBLACIÓN	CRECIMIENTO Económico	ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA	Forzamiento CO2 (W/m²)
IS92 a	13.000 millones en el 2100: BancoMun-dial - 91	1990-2025: 2.9% 1990-2100: 2.3%	12.000 EJ petróleo convencional 13.000 EJ gas natural Descenso costes energía solar: 0,075 \$ EEUU / kWh 191 EJ biocombustibles a 70 \$ EEUU el barril (1barril= 6 GJ)	4.35
IS92 c	6.400 millones en el 2100 Caso medio-bajo Naciones Unidas	1990-2025: 2.0% 1990-2100: 1.2%	8.000 EJ de petróleo bruto 7.300 EJ gas natural Descenso costes energía nuclear: 0,4 % anual	1.82
IS92 e	11.300 millones en el 2100 Banco Mundial - 91	1990-2025: 3.5% 1990-2100: 3.0%	18.400 EJ petróleo convencional Gas natural como en IS92a Eliminación Energía nuclear: 2075	6.22

Tabla III

Implicaciones y respuestas

A partir de los escenarios climáticos es posible realizar evaluaciones de los cambios, implicaciones o impactos potenciales en diversos sectores y ecosistemas naturales. Generalmente, se consideran impactos de primer orden los que afectan a los ecosistemas naturales; de segundo orden los que afectan a sectores como la agricultura o la gestión de recursos energéticos y de tercer orden los que afectan a la salud o a la economía.

Algunos de los incluidos en El Segundo Informe de Evaluación del IPCC-Grupo de Impactos-, son los que siguen:

- **Bosques:** Los resultados obtenidos para la temperatura y la disponibilidad hídrica, indican que un tercio de los bosques estarán ubicados en las áreas de mayor cambio. No es fácil conocer qué bosques lograrán adaptarse al ritmo real de cambio y cuáles no.

- **Ecosistemas de montaña:** La distribución en altitud de la vegetación está orientada a migrar hacia elevaciones mayores. Algunas especies con hábitats limitados a las zonas altas de montaña, pueden verse privadas de esa posibilidad. Esto supone una alteración de un factor regulador de la vegetación que puede alterar los patrones hidrológicos en algunas regiones

- **Ecosistemas costeros:** Suelen ser sistemas con un alto riesgo de degradación por el precario equilibrio que los mantiene en su estado actual. Los efectos negativos sobre ellos, recaerán indirectamente en el turismo, la disponibilidad de agua, la pesca y la biodiversidad.

- **Gestión de los recursos hídricos:** Algunos cambios globales como la fusión y el retroceso de glaciares; la desaparición del permafrost, y la reducción del espesor de nieve, hace pensar en alteraciones en la generación de energía, en el suministro de agua para riego, en la

distribución de cursos fluviales en algunas regiones y, en general, en la gestión misma del recurso.

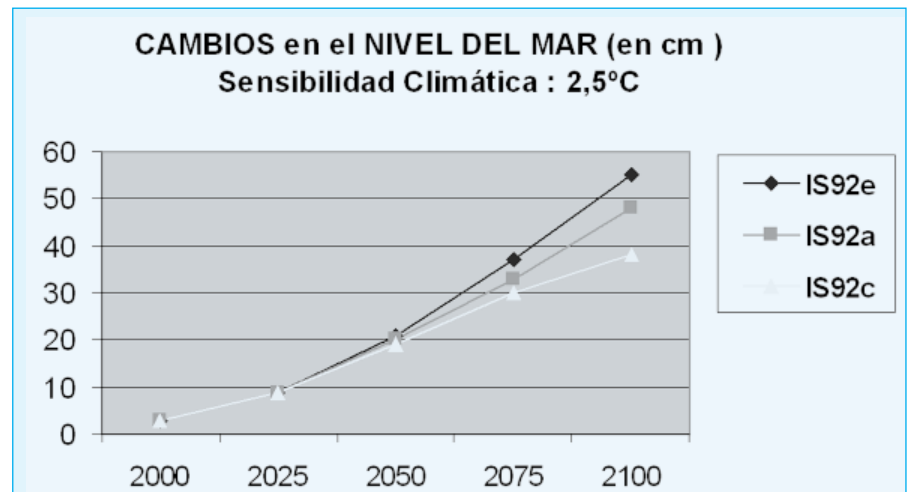
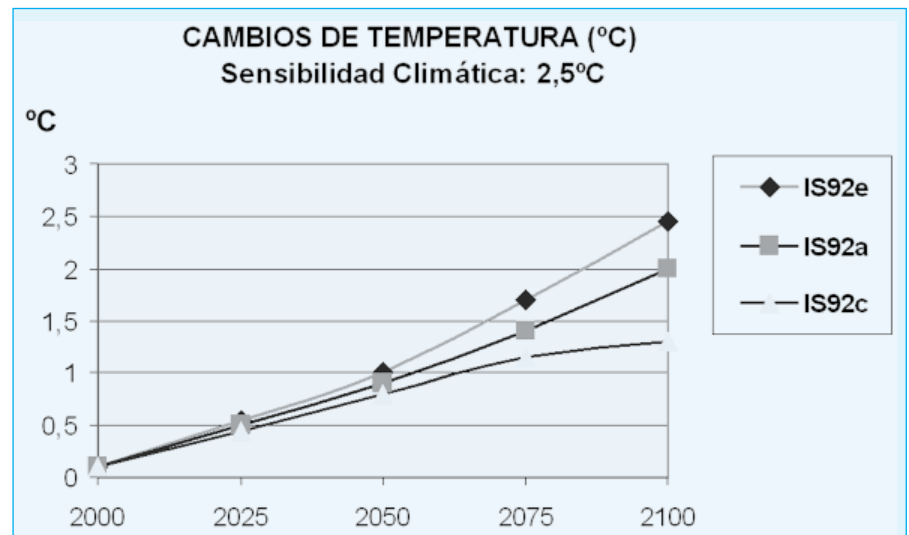
- **Producción agrícola:** Los estudios existentes muestran que, en conjunto, no peligra la productividad directamente.

Sin embargo, se temen el impacto negativo en escalas locales y los riesgos derivados de los cambios en la variabilidad climática.

- **Infraestructuras humanas:** El aumento de la vulnerabilidad de algunas zonas costeras a las inundaciones y a la erosión, se agrava potencialmente con los aumentos esperados de la densidad de población.

- **Salud humana:** El incremento potencial de las enfermedades transmitidas por "vectores" como virus y mosquitos, hace temer la expansión de enfermedades ya casi erradicadas o la aparición de otras.

- **Impacto económico:** Las primeras estimaciones asociadas a un calentamiento de unos 2.5 °C, indican que las pérdidas serían de un 1 a 1,5 % del PIB anual para los países desarrollados y del 2 a 9 % del PIB para los países en desarrollo. Los estudios de coste y beneficio, de adoptar medidas y de esperar y no adoptarlas, deberían extenderse a todos



F IV y V: Cambios en la temperatura media del aire en superficie y en el nivel del mar correspondientes a la respuesta de transición con los escenarios "a,c y e", para una sensibilidad de 2.5°C (respuesta de equilibrio a una duplicación del dióxido de carbono equivalente). (Datos: IPCC.97)

PLANIFICACIÓN DE LAS RESPUESTAS			
ADAPTACIÓN PASIVA	ADAPTACIÓN ACTIVA		REDUCCIÓN EMISIONES
- Adaptación de la sociedad - Investigación	Reducción vulnerabilidad	Modificación Efectos	- Demandas de cambio-1 - Nuevas tecnologías-1
	- Cambio cosechas - Otros usos de la tierra	- Relieve - Seguros	- Cambios fuentes de energía-2 - Eficiencia y conservación-2
	Actúan sobre Impactos de 2º orden -agricultura y energía-		1: Actúan sobre las tendencias 2: Actúan sobre los ritmos de emisiones

Tabla VI

los sectores que tengan capacidad técnica de hacerlo.

Respuesta internacional y conclusiones

Las dos acciones intergubernamentales más importantes en relación con el cambio climático, han sido sin duda la creación de un organismo catalizador y evaluador de la investigación científica necesaria para adoptar medidas sobre una base rigurosa y la aprobación y entrada en vigor de la Convención Marco sobre Cambio Climático.

La Tabla IV, resume las tres líneas de actuación que parecen necesarias.

Las negociaciones de la Convención Marco citada, se han encauzado durante las Conferencias de las Partes 3 y 4, en Kioto y Buenos Aires, por el desarrollo y la aplicación de un Protocolo que establezca medidas concretas de limitación de emisiones. Aunque resulte en apariencia insuficiente, el objetivo de reducir en un 5,2 % las emisiones globales respecto a las de 1990, supone un punto de inflexión en la tendencia, supone un intento de llevar a cabo el compromiso para comprobar las dificultades reales de su aplicación. De hecho, ha introducido una dinámica lenta pero irreversible de interacción con los actores de esa limitación -consumidores y suministradores de energía / demanda y oferta- que obliga a que el proceso ponga los pies en el suelo y se inicie una etapa nueva.

Glosario:

• **Cambio Climático:** El cambio del clima, tal como se entiende en relación con las observaciones efectuadas, se debe a cambios internos del sistema climático o de la interacción entre sus componentes, o a actividades humanas. En general, no es posible determinar claramente en qué medida influye cada una de esas causas. En las proyecciones de cambio climático del IPCC se suele tener en cuenta únicamente la influencia ejercida sobre el clima por los aumentos antropógenos de los gases de efecto invernadero y por otros factores relacionados con los seres humanos.

• **Cambio climático (según la CMCC):** Cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

• **Forzamiento radiativo:** Mide en términos simples la importancia de un posible mecanismo de cambio climático. El forzamiento radiativo es una perturbación del balance de energía del sistema Tierra-atmósfera (en Wm^{-2}) que se puede producir por causas diversas y en particular a partir de un cambio en la concentración atmosférica del dióxido de carbono o en la energía emitida por el Sol. El sistema climático responde al forzamiento radiativo de manera que se restablezca el balance de energía. Un forzamiento radiativo tiende, si es positivo, a calentar la superficie y, si es negativo, a enfriarla. El forzamiento radiativo suele expresarse en términos de valor medio mundial y anual. Una definición más precisa del forzamiento radiativo, tal como se emplea en los informes del IPCC, es la de perturbación del balance de energía del sistema superficie-troposfera, dejando un margen para que la estratosfera se reajuste a un estado de equilibrio radiativo medio mundial. Se denomina también "forzamiento del clima".

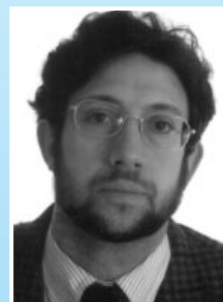
• **Periodo de vida:** En términos generales, el período de vida es el promedio de tiempo que un átomo o molécula permanece en un depósito dado (por ejemplo, la atmósfera, o los océanos). Conviene no confundir con el tiempo de respuesta de una perturbación de la concentración. El CO_2 no tiene período de vida único.

• **Sensibilidad del clima:** Generalmente, el término sensibilidad del clima suele hacer referencia al cambio a largo plazo (en condiciones de equilibrio) de la temperatura media de la superficie mundial a raíz de una duplicación de la concentración de CO_2 (o de CO_2 equivalente) en la atmósfera. En términos más generales, hace referencia al cambio, en condiciones de equilibrio, de la temperatura de la atmósfera en superfi-

cie cuando el forzamiento radiativo varía en una unidad ($^{\circ}C/W m^{-2}$).

BIBLIOGRAFÍA:

- "Energía y Cambio Climático": Monografía del Comité de Energía y Recursos Naturales del Instituto de la Ingeniería de España. Ed.MIAM-Instituto Nacional de Meteorología.1998
- IPCC,1990: "Primer Informe de Evaluación del Cambio Climático". HOUGHTON, T.y otros (Eds.) Ed.en español MOPT-INM, Madrid-1992.
- PCC-GTI,1996: Climate Change 1995. Ed.Cambridge University Press, Cambridge.
- ALMARZA,C., L.BALAIRÓN, 1991: Climatología. Atlas Geográfico Nacional. Ed.CNIG-IGN.Madrid.
- BERGER,A.,(1980): "The Milankovitch astronomical theory of palaeoclimates: a modern review". Vistas in Astronomy, 24, 102-122
- CARLSON, T.N. (1979): Mont. Weath.Review, 107,322-5
- GATES, W.L. (1992). "AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project". Bull. Amer. Meteor. Soc. 73: 1962-1970.
- HERDERSON-SELLERS, A. & K. MCGUFFIE, 1995: "Global climate models and 'dynamic' vegetation changes". Global Change Biology 1, 63-76.
- KELLOGG, W.W. (1977). "Effects of Human Activities on Global Climate". WMO, Technical Note No. 156.
- KUTZBACH, J.E. (1981): Science, 214, p.59
- NICHOLSON, S.E. & H. FLOHN, (1980). "African Environmental and Climatic Changes and The General Atmospheric Circulation in Late Pleistocen and Holocen". Climate Change 2, p. 313-348.
- PESHY,A. & A.A.VELICHKO, 1990 (Eds): Palaeo-climatic and palaeo-environment reconstruction from the late Pleistocene to Holocene. In: Palaeo-geographic Atlas for the Northern Hemisphere. Budapest
- SIRCOULON, J. (1990). "Impact possible des changements climatiques a venir sur les ressources en eau des regions arides et semi-arides". WMO/TD-N? 380.
- WIGLEY, T.M.L, 1991: A simple inverse carbon cycle model. Global Biogeochemical Cycles, 5, 373-382.
- WIGLEY, T.M.L., R.RICHMOND, A.EDMONDS, 1996: Economic and environmental choices in the stabilization of atmospheric CO_2 concentrations. Nature, 379, 242-245.



Luis BALAIRÓN es Jefe del Servicio de Variabilidad y Predicción del Clima del INM (Instituto Nacional de Meteorología), participa como representante español en las reuniones del Grupo de Trabajo I del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático de Naciones Unidas) desde 1989. Dirige en la actualidad tres líneas de investigación en el INM: a) Modelos Climáticos Regionales; b) Obtención de Escenarios Climáticos nacionales para Impactos y c) Predicción Estacional sobre la Península Ibérica.