

IMPLICACIONES GEOGRÁFICAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

M^a Fernanda Pita López
Dpto. de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional
Universidad de Sevilla
mfpita@us.es

Cita publicación.

PITA , M.F. (2009): “Impactos geográficos del cambio climático”, en Feria Toribio, J.M., García García, A. y Ojeda Rivera, J.F.: *Territorios, sociedades, políticas*, Sevilla, Universidad Pablo de Olavide, pp. 157-198

Es mi intención en este texto reflexionar en torno a las implicaciones que pueden derivarse para la Geografía a partir del cambio climático. Se trata de un fenómeno de capital importancia para la humanidad, destinado a protagonizar nuestra vida colectiva en el futuro inmediato y del que, además, se derivan para la Geografía implicaciones de gran trascendencia, a pesar de lo cual todavía ha sido muy poco abordado desde nuestro ámbito disciplinar, cuando no ha sido claramente negado o minimizado. Estas constataciones me han impulsado a realizar la reflexión y a seguir en el texto el hilo conductor del cambio climático para, a partir de él, intentar cubrir dos objetivos: sintetizar los hechos más relevantes que caracterizan al fenómeno, y derivar en cada caso las implicaciones más evidentes para la Geografía.

Empezaré aclarando lo que entiendo por cambio climático, a continuación hablaré de sus agentes causales, de sus principales manifestaciones, de los impactos que puede generar y, por último, de los ajustes que se pueden emprender para hacerle frente. Lógicamente, y dado lo generoso del índice, no pretendo ser exhaustiva en los planteamientos; sólo aspiro a - en relación con el cambio climático- sintetizar los hechos esenciales que pueden permitir su comprensión y alcance, y - en relación con sus implicaciones geográficas- sugerir y abrir abanicos de posibilidades de cara a nuestro quehacer en el futuro inmediato. En cada uno de estos epígrafes iré apuntando las implicaciones que se derivan para la geografía y al final haré una recapitulación de las principales conclusiones o implicaciones.

1. La noción de cambio climático.

Por cambio climático podemos entender una variación en cualquiera de los elementos del clima o en todos a la vez, pero que, en cualquier caso, debería atenerse a determinados requisitos : en primer lugar, debería ser una variación lo suficientemente importante como para ser significativa estadísticamente, es decir, superior a la variabilidad natural que caracteriza a los elementos del clima; además, debería afectar al equilibrio del sistema planetario en su conjunto, siendo este rasgo el que la diferencia de una mera fluctuación asociada a la variabilidad natural del clima; por último, podría ser debida a causas naturales o antrópicas, si bien en los momentos actuales el cambio climático que preocupa es un cambio atribuible a la acción humana y es de ese cambio precisamente del que vamos a hablar.

Resulta de particular relevancia el punto alusivo a la amenaza del equilibrio del sistema planetario, porque es esta amenaza la que dota al fenómeno de su capital importancia y de su alcance global. Y en este sentido hay que recordar que el punto de partida del funcionamiento del clima es la existencia de un sistema abierto, alimentado con la energía solar e integrado por cinco componentes: la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la biosfera y la litosfera. La energía solar circula por los distintos componentes del sistema y finalmente es devuelta hacia el espacio exterior en la misma cantidad en la que penetró, de forma tal que el sistema está en equilibrio con el exterior (ni pierde ni gana calor), consiguiéndose así que las temperaturas del planeta permanezcan por término medio constantes.

Ahora bien, este equilibrio no es ni inmediato ni automático, sino que se realiza a partir de desequilibrios iniciales en el interior del propio sistema, los cuales son de dos tipos: desequilibrios entre las distintas envolturas o componentes del sistema, lo que obliga a la existencia de continuos flujos de calor entre ellas, y desequilibrios entre las distintas latitudes, lo que genera también continuos trasvases de calor entre las latitudes bajas (excedentarias en calor) y las altas (deficitarias), los cuales se realizan por medio de las circulaciones atmosférica y oceánica.

Así pues, el sistema es un sistema en equilibrio, lo que garantiza la estabilidad de los climas, pero en equilibrio dinámico, lo que determina sus fluctuaciones, e incluso sus anomalías, que a veces son muy espectaculares e incluso dañinas para el hombre, como es el caso de los ciclones tropicales o las gotas frías, pero que, en realidad, no son sino gigantescos trasvases de calor desde un océano recalentado hacia la atmósfera, más fresca; en el fondo son acciones tendentes a recuperar el equilibrio perdido. Por ello, en tanto esas fluctuaciones y anomalías consigan restaurar el equilibrio y sean coyunturales y limitadas en el espacio, no tienen ninguna importancia; de hecho, son la esencia y la propia naturaleza del clima y las garantes de su equilibrio. El problema surge cuando alguna de estas anomalías, a través de las interconexiones entre todo el sistema, logra expandirla más allá, y altera el equilibrio energético del sistema inicial hasta conducirlo hacia un nuevo estado.

Y esa es precisamente la naturaleza de la preocupación que existe en los momentos actuales: que por causas antrópicas se pueda estar produciendo una ruptura del equilibrio energético del sistema climático, el cual podría conducir a un nuevo equilibrio, diferente al actual y potencialmente dañino para todos.

Variaciones de este tipo, amenazas al equilibrio energético del sistema como éstas, se estudian esencialmente mediante la modelización matemática. Efectivamente, aunque el seguimiento de las tendencias del clima del planeta desde el pasado más lejano hasta la actualidad es un instrumento importante de ayuda en los estudios de cambio climático, no constituye por sí mismo el principal instrumento; el instrumento esencial es el establecimiento de modelos de simulación del sistema climático.

Un modelo climático no es sino una representación simplificada de los procesos que gobiernan el clima o, lo que es lo mismo, del funcionamiento del sistema climático mundial. En este caso, y dada la magnitud del objeto a simular, no se recurre a entes físicos para la simulación, sino a ecuaciones matemáticas; el modelo lo componen numerosísimas ecuaciones matemáticas que simulan las principales leyes y procesos que gobiernan el sistema. Y con ellos lo que se pretende es comprender los procesos

que regulan el clima, detectar su mayor o menor sensibilidad a cambios en sus componentes y poder predecir los efectos que sobre el clima pudieran derivarse de cambios en estos mismos procesos y componentes.

Cada vez se incluyen más elementos e interacciones en los modelos, de manera tal que en los años 70 el clima sólo era una cuestión atmosférica, luego se introdujo la superficie terrestre, a continuación la superficie oceánica, más tarde el océano en profundidad y más y más componentes, que, lógicamente, dan mejor cuenta del funcionamiento del sistema. En la actualidad los modelos acoplados océano-atmósfera suelen incluir todo tipo de componentes (ver tabla 1), de ahí que el clima sea ya el resultado de las interacciones entre todo el sistema planetario en su conjunto, las cuales se modelizan matemáticamente con una resolución espacio temporal cada vez más detallada.

Tabla 1. Evolución de los componentes de los modelos climáticos.

Años 70	Años 80	Inicio años 90	Mediados años 90	Finales años 90	Inicio años 2000	Actualidad
Atmósfera	Atmósfera	Atmósfera	Atmósfera	Atmósfera	Atmósfera	Atmósfera
	Superficie terrestre	Superficie terrestre	Superficie terrestre	Superficie terrestre	Superficie terrestre	Superficie terrestre
		Océano y mar de hielo	Océano y mar de hielo	Océano y mar de hielo	Océano y mar de hielo	Océano y mar de hielo
			Aerosoles de sulfato	Aerosoles de sulfato	Aerosoles de sulfato	Aerosoles de sulfato
				Otros aerosoles	Otros aerosoles	Otros aerosoles
					Ciclo del carbono	Ciclo del carbono
						Dinámica de la vegetación
						Química atmosférica

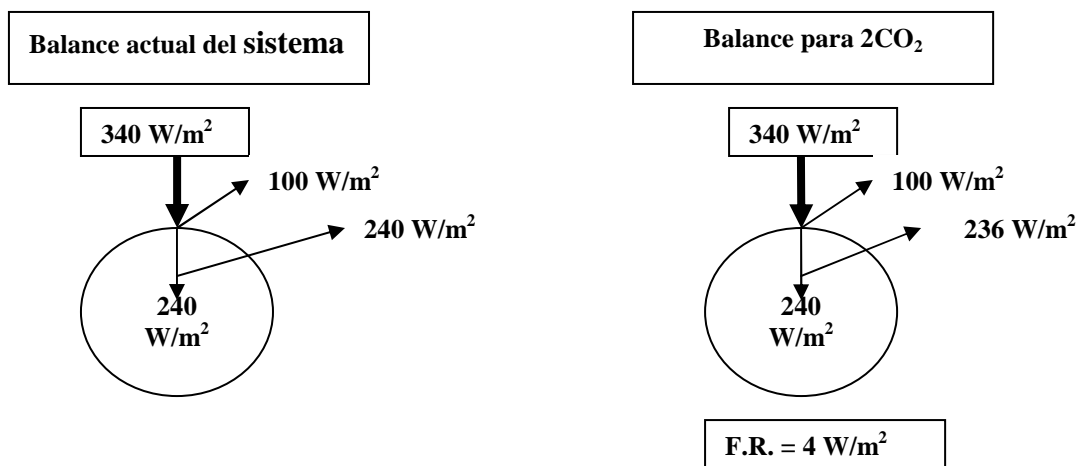
Fuente: Elaboración propia a partir de: <http://www.ipcc.ch/graphics/gr-climate-changes-2001-wg1.htm>

De esta sencilla y elemental noción de cambio climático ya me parece que puede derivarse una importante implicación para la Geografía: el redescubrimiento y el reforzamiento de su tradición ecológica, que se evidencia en el hecho de que el clima ya no es sólo la atmósfera, sino todo el sistema planetario en su conjunto, y en el hecho de que son las interrelaciones entre todos los componentes la pieza clave para la comprensión de ese conjunto. Es cierto que, para cumplir con eficacia y rigor este objetivo de comprensión del funcionamiento del sistema, es necesario hoy en día proceder a una renovación metodológica en esta tradición geográfica, y esta renovación pasa por el recurso a la modelización.

2. Los agentes del cambio climático.

Gracias a la modelización se ha podido averiguar que los agentes de cambio climático serán todos aquellos elementos o variables susceptibles de alterar el equilibrio energético del sistema. Porque el balance de radiación de la tierra expresa el estado de equilibrio entre la energía recibida por dicho sistema y la que parte de él, equilibrio del que depende la estabilidad de los climas. En consecuencia, cualquier alteración significativa del equilibrio es una causa potencial de cambio climático. Tales perturbaciones en el balance de energía del sistema tierra – atmósfera se conocen como forzamientos radiativos y se miden como cambios en el flujo radiativo neto en la tropopausa, expresándose en W/m^2 . Un forzamiento radiativo positivo tendería a calentar la superficie terrestre en tanto que uno negativo tendería a enfriarla. La figura 1 ilustra el forzamiento radiativo que se generaría en el actual sistema equilibrado como consecuencia de una duplicación del contenido de CO_2 de la atmósfera. En la actualidad el sistema tierra-atmósfera recibe por término medio al año $340 W/m^2$ de energía, de los cuales 100 son reflejados hacia el espacio exterior y el resto son reemitidos por la atmósfera, de forma tal que el sistema ni pierde ni absorbe energía y se mantiene en equilibrio. Una duplicación del CO_2 atmosférico generaría un forzamiento radiativo positivo de $4 W/m^2$, lo cual implicaría que la radiación emitida se reduciría a $236 W/m^2$, produciendo esto un desequilibrio que obligaría al sistema a reajustarse hasta emitir de nuevo $240 W/m^2$; para ello la atmósfera se calentaría en superficie.

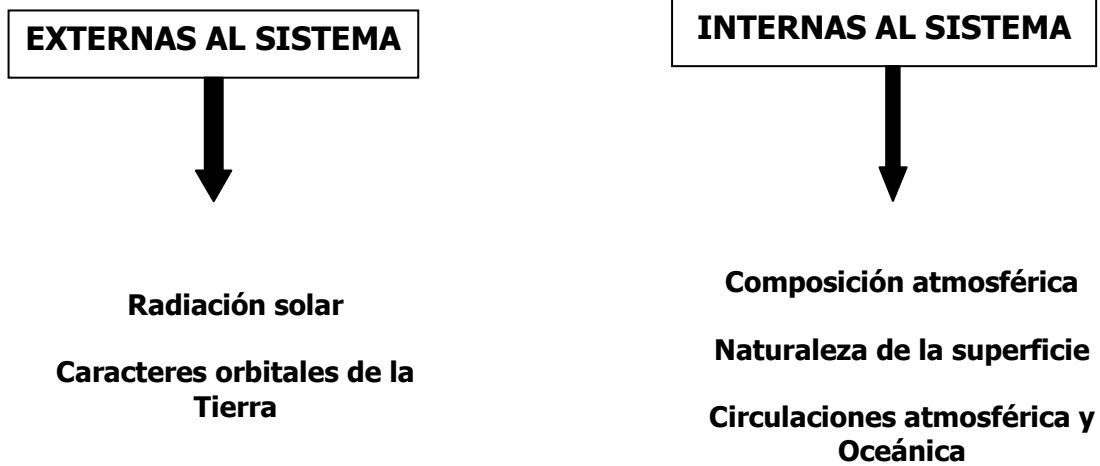
Figura 1. Balance radiativo actual del sistema tierra-atmósfera y balance generado a partir de una duplicación del CO_2 atmosférico.



Fuente: Elaboración propia.

Como consecuencia de lo anterior, serán potencialmente generadoras de cambio climático todas aquellas variables con capacidad para alterar el balance energético del sistema o, lo que es lo mismo, para provocar en él algún tipo de forzamiento radiativo. Tales variables aparecen representadas en la figura 2.

Figura 2. Variables potencialmente generadoras de cambios climáticos.



Fuente: Elaboración propia

Partiendo del sol como fuente de energía externa al sistema, y aproximándonos progresivamente hacia la superficie terrestre, podemos encontrar diferentes agentes potenciales causantes de forzamientos radiativos: en primer lugar, la radiación solar, de cuyos cambios podrían derivarse importantes variaciones en la cantidad de calor que penetra en el sistema; a continuación, la composición atmosférica, que es el primer filtro que se opone entre el sol y la superficie terrestre, determinando en gran medida el balance energético del planeta; más adelante, las características orbitales de la tierra en relación con el sol, dado que de ellas depende la recepción de la radiación solar por parte de las distintas zonas del planeta; también interviene la naturaleza de la superficie terrestre, que, con su peculiar utilización de la radiación solar en cada caso, determina la cantidad de calor que se almacena en cada área; y, por último, las circulaciones atmosférica y oceánica, que trasvasan el calor de los enclaves excedentarios a los deficitarios, garantizando el equilibrio térmico del sistema, y pudiendo derivarse grandes desequilibrios latitudinales de una alteración significativa en las mismas.

Dos de estas variables son externas al sistema: la tasa de emisión de la radiación solar y los caracteres orbitales de la tierra en relación con el sol y, en tanto que tales, son estrictamente naturales y no experimentan la influencia humana. Las restantes son variables internas al propio sistema y en ellas el hombre sí puede intervenir y, de hecho, lo hace con creciente intensidad. En relación con el cambio climático destaca por su especial relevancia la composición atmosférica, profundamente modificada por el hombre desde la Revolución Industrial mediante la emisión continua de gases que ejercen un efecto invernadero (GEI) y cuya responsabilidad en la génesis del cambio climático parece ya hoy indiscutible.

Se entiende por efecto invernadero la acumulación de calor en las capas bajas de la atmósfera como consecuencia de la intervención de ciertos gases que son transparentes o casi transparentes para la radiación de onda corta emitida por el sol, pero opacos para la radiación infrarroja de onda larga emitida por la tierra. La radiación solar consigue atravesar esta capa gaseosa y penetrar en la superficie terrestre, pero la irradiación

terrestre no consigue escapar hacia el espacio exterior, quedando retenida en las capas bajas de la atmósfera. Resulta de ello una acumulación de calor en estas capas que se traduce de inmediato en un aumento de la temperatura. La naturaleza dispone en abundancia de este tipo de gases (el vapor de agua y el dióxido de carbono son los más representativos) y ello es lo que posibilita la existencia en la atmósfera terrestre de unas temperaturas tan favorables para la vida humana como las que ahora tenemos. El problema se produce cuando estos gases aumentan sus concentraciones de forma significativa, fenómeno que está sucediendo en los momentos actuales.

En la tabla 2 se consignan los principales gases invernadero existentes en la atmósfera, con sus concentraciones actuales y pasadas, su contribución a las emisiones para el año 2000 y su tiempo medio de vida en la atmósfera. Algunos de estos gases, como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) o el óxido nitroso (N₂O) son componentes habituales de la atmósfera terrestre y ya estaban presentes en ella con anterioridad a la Revolución Industrial; algunos otros, como los clorofluorocarbonos y los hidrofluorocarbonos resultan directamente de la intervención humana, habiendo hecho su aparición en la atmósfera con posterioridad a dicha revolución. En cualquier caso, unos y otros presentan unas tasas de acumulación anual en la atmósfera lo suficientemente elevadas como para suscitar una alarma generalizada en torno a sus posibles repercusiones climáticas.

Tabla 2. Principales GEI influidos por el hombre.

PARÁMETROS	CO ₂ Dióxido de carbono	CH ₄ Metano	N ₂ O Óxido nitroso	CFC-11 Cloro Fluoro carbono-11	HFC Hidro Fluoro carbono-23	CF ₄ Perfluoro metano
Concentración preindustrial	~280 ppmv	~700 ppbv	~270 ppbv	0	0	40 pptv
Concentración en 1998	365 ppmv	1745 ppbv	314 ppbv	268 pptv	14 pptv	80 pptv
Contribución a las emisiones de GEI (2000)	77,2%	13,9%	7,9%	0,2%	0,6%	0,1%
Tiempo de vida en la atmósfera	50-200 años	12 años (2)	114 años	45 años	275 años	50.000 años

Fuente: Modificado de Escudero Gutiérrez, J. (1998)

El dióxido de carbono es un componente natural de la atmósfera terrestre, siendo sus fuentes fundamentales las erupciones volcánicas, la respiración de los seres vivos y las combustiones de todo tipo. A su vez, estas fuentes se compensan por la existencia de sumideros, entre los que destacan por su importancia la cubierta vegetal y las aguas oceánicas. Ambos almacenan grandes cantidades de CO₂ procedente de la atmósfera y contribuyen a que los niveles atmosféricos de esta sustancia permanezcan más o menos constantes. Hasta el siglo XIX, en efecto, el balance entre fuentes y sumideros permanecía equilibrado y ello determinaba la existencia de una concentración más o menos constante de CO₂ en la atmósfera, evaluada en 280 ppmv (ver tabla 2). A partir de esta fecha, y en virtud del desarrollo de la Revolución Industrial, empiezan a

aumentar progresivamente las concentraciones de CO₂ atmosférico. La tasa anual de incremento se evalúa en 1,5 ppmv, equivalente a un aumento de un 0,4% anual, lo cual ha dado lugar a que en 1998 la concentración atmosférica de CO₂ ascendiera a 365 ppmv (en la actualidad se superan las 380 ppmv). Tal concentración no ha sido jamás superada en los últimos 420.000 años y, posiblemente, en los últimos 15 millones de años. Es sin ninguna duda el GEI más abundante e importante y contribuye con cerca del 80% de las emisiones totales actuales.

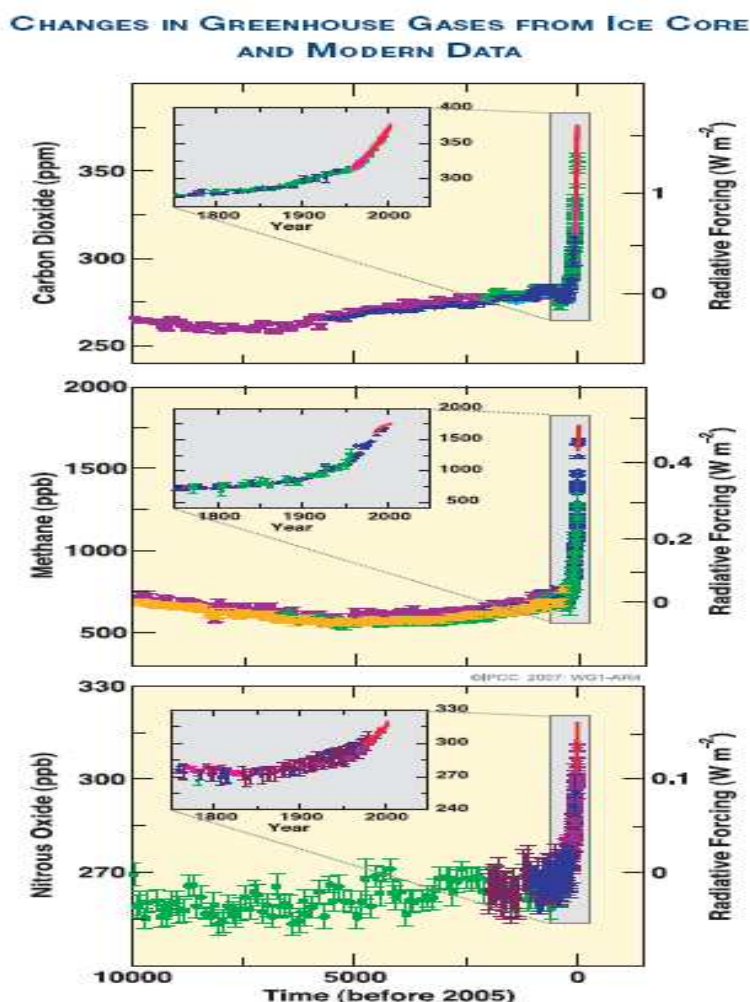
El metano (CH₄) es también un componente natural de la atmósfera, a la cual accede a través de multitud de procesos anaeróbicos y de numerosas actividades humanas tales como el cultivo del arroz, la cría de rumiantes, la minería de carbón etc. Entre sus sumideros merecen destacarse los propios suelos y, sobre todo, los radicales hidroxilos (OH) de la troposfera, que reaccionan con el CH₄ haciéndolo desaparecer. Con anterioridad a la Revolución Industrial ambos mecanismos determinaban la existencia en la atmósfera de unas concentraciones de CH₄ equivalentes a 700 ppbv. Desde entonces las actividades humanas no han cesado de incrementar sus emisiones y el resultado ha sido un aumento anual de su concentración del 0,9%, que ha conducido a una concentración actual de 1745 ppbv, más del doble de su valor preindustrial (ver tabla 2). En este caso, sin embargo, la abundancia de radicales OH y su rápida reacción con el CH₄ determinan que éste goce de una corta vida atmosférica, lo cual maximiza la eficacia de las medidas encaminadas a su reducción. De todos modos, parece conveniente reducir las emisiones en un 15-20% para estabilizar sus concentraciones en los niveles actuales.

El óxido nitroso (N₂O) accede a la atmósfera esencialmente a través de los océanos, los suelos, las combustiones, las quemaduras de biomasa y los fertilizantes, y es eliminado de ella mediante procesos de fotólisis que se desarrollan en la estratosfera. Como consecuencia de las actividades humanas, su concentración atmosférica, que se situaba en 270 ppbv antes de la Revolución Industrial, ha pasado a alcanzar en 1998 el valor de 314 ppbv, lo que implica una tasa de crecimiento anual no demasiado elevada y situada en el 0,25% (ver tabla 2). Sus escasos sumideros le otorgan, sin embargo, un elevado tiempo de vida en la atmósfera (del orden de 114 años), lo que incrementa su peligrosidad, de ahí que se recomiende una reducción inmediata del 70-80% del flujo adicional que ha tenido lugar tras la Revolución Industrial para estabilizar sus concentraciones en los niveles actuales.

Los clorofluorocarbonos son de origen estrictamente industrial, utilizándose básicamente como aerosoles, propelentes y refrigerantes. Ello determina que con anterioridad a la Revolución Industrial fueran inexistentes en la atmósfera, presentando, sin embargo, a partir de entonces unas tasas de aumento alarmantemente altas, del orden del 4% (ver tabla 2). Actualmente han comenzado a decrecer o a moderar drásticamente su aumento como consecuencia de la puesta en marcha del Protocolo de Montreal, firmado en 1987 con el objeto de contener las emisiones de estos gases a fin de evitar el deterioro a que someten a la capa de ozono estratosférica. Estos descensos coinciden con el aumento paralelo que se registra en sus productos de sustitución, tales como los hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) y los hidrofluorocarbonos (HFCs). Es destacable el efecto invernadero ejercido por éstos últimos y sus altas tasas de aumento. También son destacables los perfluorocarbonos y especialmente el perfluorometano (CF₄), sobre todo por su elevado tiempo de vida en la atmósfera (50.000 años), que le dota de una gran capacidad de intervención en el futuro climático de nuestro planeta.

Lógicamente, lo que preocupa en relación con estos gases son sus tasas de evolución, que aparecen consignadas en la figura 3 para los más abundantes y con mayor responsabilidad en la génesis del efecto invernadero. El crecimiento exponencial de todos ellos es evidente, especialmente a partir de 1750, origen de la Revolución Industrial. Además, merece destacarse el hecho de que la tasa de CO_2 y de CH_4 es la más alta desde hace 650.000 años; por otro lado, la tasa de crecimiento de los últimos 10 años en el CO_2 ha sido la más alta desde que se hacen mediciones regulares (ver IPCC 2007a). Aunque no generaran cambio climático, estas curvas nos deberían hacer pensar en la necesidad de modificar estas tendencias, pero es que, además, generan un importante forzamiento radiativo positivo, que aparece en el eje vertical derecho de la figura 3 y, con más detalle, en la figura 4.

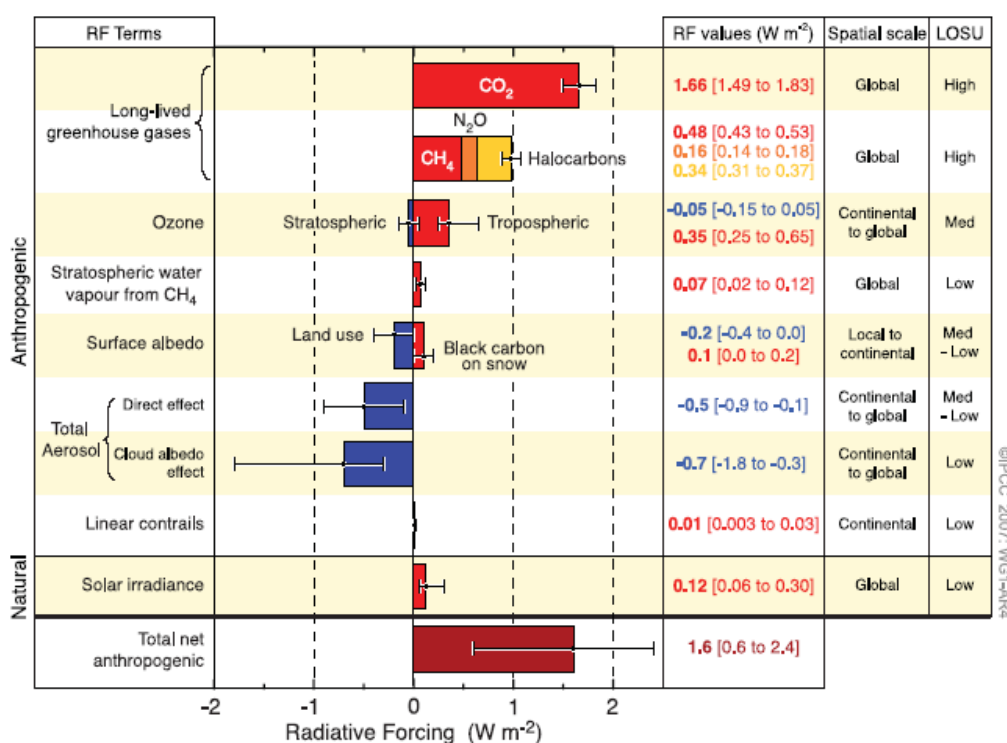
Figura 3. Evolución de los principales GEI desde hace 10.000 años hasta la actualidad.



Fuente: IPCC, 2007a

Figura 4. Forzamiento radiativo de los GEI desde la etapa preindustrial hasta la actualidad.

RADIATIVE FORCING COMPONENTS



Fuente: IPCC, 2007a

La figura 4 hace aparecer el forzamiento radiativo de diferentes componentes antropogénicos junto al ejercido por un componente natural, como es la tasa de radiación solar. Además, en su base se destaca el forzamiento total neto antropogénico. La importancia de los GEI queda clara, especialmente la del CO₂, que es sin duda el protagonista. Su forzamiento radiativo positivo sólo se contrarresta en parte por la intervención de los aerosoles (pequeñas partículas en suspensión en la atmósfera, producto también de la contaminación, pero que filtran parte de la radiación solar y ejercen, en consecuencia, un forzamiento negativo), y ello determina que el forzamiento radiativo neto antropogénico desde 1750 alcance el valor de 1,6 W/m². Ni que decir tiene que es muy superior al ejercido por las variaciones en la radiación solar, que tiene un efecto mínimo.

Parece pues incuestionable la responsabilidad del hombre en la génesis del cambio climático e incluso se podría afirmar que se ha invertido la relación de dependencia entre el hombre y el clima. El desarrollo, la tecnología, la revolución industrial han invertido esta relación y ya es mucho menos importante la influencia del clima sobre el hombre que la influencia del hombre sobre el clima. El hombre se convierte en el gran factor del clima, y éste, a su vez, adquiere el carácter de producto social, lo cual conlleva implicaciones importantes también para la geografía.

El problema surge a la hora de intentar frenar estas tendencias, dado que los GEI son derivados directos de nuestro funcionamiento económico heredado de la Revolución Industrial. Casi el 60% de las emisiones corresponden a la producción y consumo de energía (con especial importancia de la producción de electricidad, la calefacción y el transporte), es decir, la base misma sobre la que descansa el sistema (ver figura 5).

Además es destacable la importancia de los cambios de uso del suelo, que suponen más del 18% de las emisiones, atribuibles esencialmente a la deforestación, los incendios forestales y el empleo de políticas y técnicas agrícolas inadecuadas. Si quitáramos este sector, la energía pasaría a ser la responsable de casi el 80% de las emisiones. Si además de estas exclusiones nos limitáramos a inventariar el CO₂, la energía pasaría a alcanzar el 96,5% de las emisiones. Es indudable que estamos hablando del corazón del sistema económico mundial.

Figura 5. Emisiones mundiales de GEI por sectores (2000). A. Con cambios en el uso del suelo. B. Sin cambios en el uso del suelo.

A.

Sector	MtCO ₂	%
Energy	24,722.3	59.4
Electricity & Heat	10,276.9	24.7
Manufacturing & Construction	4,317.7	10.4
Transportation	4,841.9	11.6
Other Fuel Combustion	3,656.5	8.8
Fugitive Emissions	1,629.3	3.9
Industrial Processes	1,406.3	3.4
Agriculture	5,603.2	13.5
Land-Use Change & Forestry	7,618.6	18.3
Waste	1,465.7	3.5
International Bunkers	824.3	2.0
Total	41,640.5	



B.

Sector	MtCO ₂	%
Energy	24,722.3	74.5
Electricity & Heat	10,276.9	31.0
Manufacturing & Construction	4,317.7	13.0
Transportation	4,841.9	14.6
Other Fuel Combustion	3,656.5	11.0
Fugitive Emissions	1,629.3	4.9
Industrial Processes	1,406.3	4.2
Agriculture	5,603.2	16.9
Waste	1,465.7	4.4
Total	33,197.6	



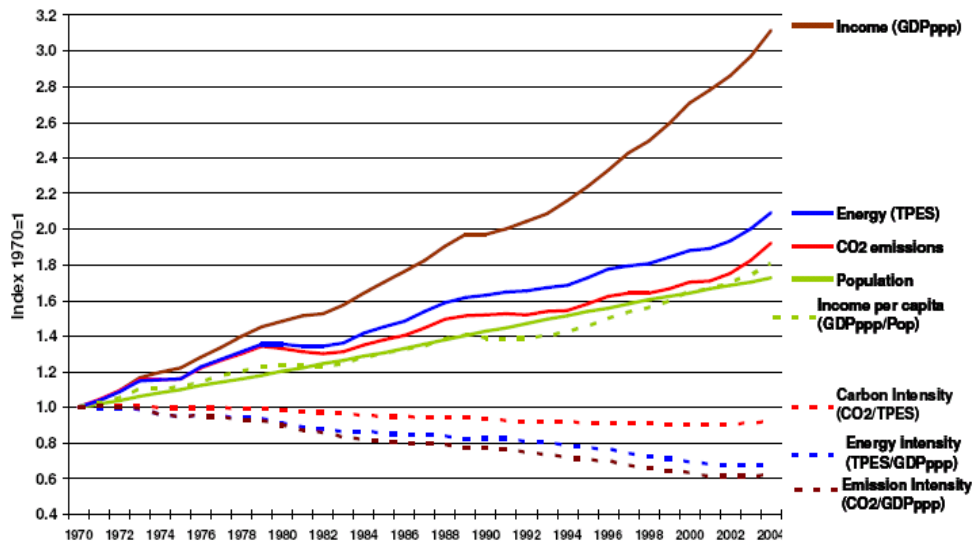
Fuente: Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) Version 4.0. (Washington, DC: World Resources Institute, 2007). (<http://cait.wri.org/>)

En realidad, las emisiones responden a la actuación de cuatro factores centrales: la población, la producción económica, evaluada a partir de la Renta o el Producto Interior Bruto (PIB), el uso de la energía y la intensidad emisora y energética, que se puede expresar a partir de tres parámetros: la intensidad energética (energía o toneladas equivalentes de petróleo requeridas para producir un dólar de PIB), la intensidad emisora de la propia energía (unidades de CO₂ emitidas por cada unidad de energía utilizada) y finalmente, la intensidad emisora de la economía (unidades de CO₂ necesarias para producir un dólar de PIB)¹. Todos son elementos centrales de la economía y todos presentan una estrecha relación positiva con las emisiones de GEI. Su evolución reciente aparece consignada en la figura 6, y en ella puede observarse que sólo muestran un ligerísimo descenso las intensidades emisora y energética, en virtud del aumento de la eficiencia que se registra, sobre todo, en los países desarrollados. Pero este descenso en ningún caso consigue contrarrestar el crecimiento de los demás

¹ Conviene destacar que la intensidad es el inverso de la eficiencia, de forma tal que a mayor intensidad emisora, menor eficiencia, porque implica una mayor cantidad de CO₂ emitida por cada dólar producido.

componentes, de manera que el aumento de las emisiones sigue imparabile. Es especialmente destacable el brutal crecimiento de la renta, que es el principal factor que empuja a las emisiones en su ascenso.

Figura 6. El comportamiento de los factores de emisión en los últimos años

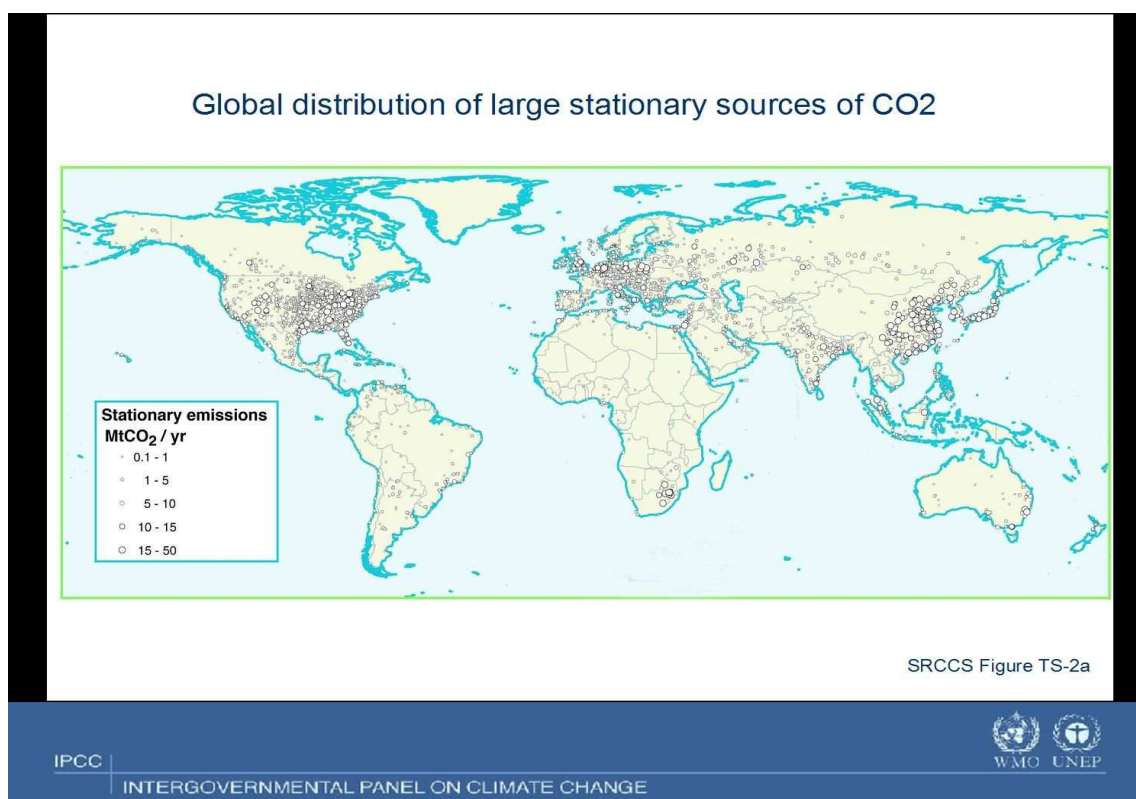


Fuente: <http://www.ipcc.ch/graphics/gr-ar4-wg3.htm>

Las emisiones reflejan en sus plasmaciones territoriales esos grandes factores y hacen surgir matices que merecería la pena analizar desde la geografía en su dimensión territorial.

Sin duda es el desarrollo económico el factor más evidente y así lo refleja la distribución espacial de las fuentes estacionarias de emisiones de CO₂, esencialmente instalaciones industriales y productoras de energía (ver figura 7). En ellas destacan con total nitidez los Estados Unidos, especialmente en su costa este, la Europa Central y Japón y el Sudeste Asiático. Algunos países con grandes contingentes poblacionales, como China e India, también aparecen, y el resto, que corresponde básicamente al mundo subdesarrollado, es prácticamente invisible.

Figura 7. Distribución espacial de las fuentes estacionarias de emisiones de CO₂

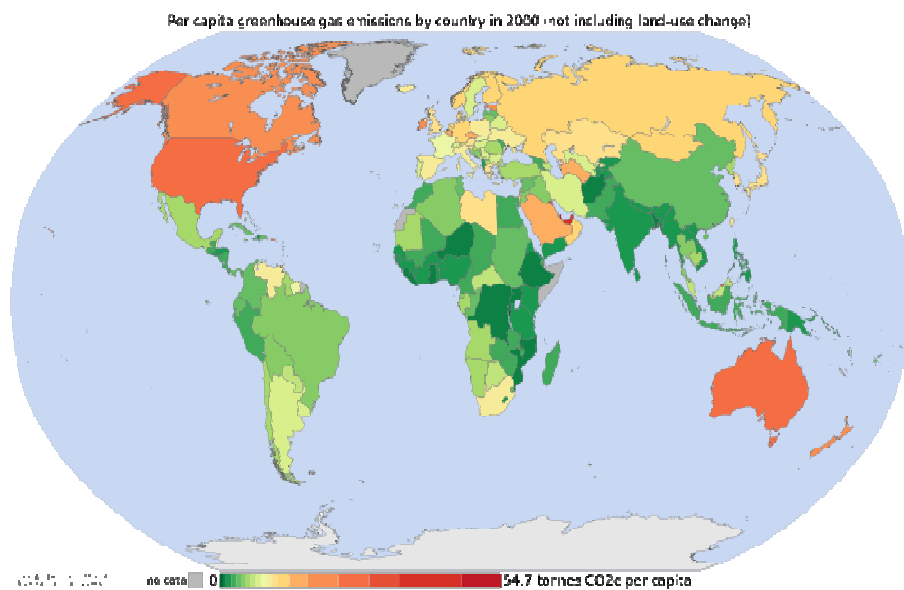


Fuente: UNEP/GRID-Arendal *Maps and Graphics Library*. Disponible en: <http://maps.grida.no/go/>

La sustitución de las emisiones globales por las emisiones *per cápita* permite eliminar el efecto poblacional y apreciar nuevos matices en la distribución espacial de las emisiones (ver figura 8). El nivel de desarrollo se impone como el gran factor que condiciona la configuración de conjunto del mapa, determinando el predominio de los tonos ocres en el norte, en el mundo desarrollado, y los tonos verdes en el sur, en el subdesarrollo. Pero un análisis algo más detallado permite matizar esta primera impresión y hace aparecer a la intensidad energética como un factor también importante. Su presencia se hace patente en las fuertes emisiones que caracterizan a todas las Economías en Transición², a pesar de su escaso nivel de desarrollo, y en las enormes diferencias que registran las emisiones de la mayoría de los países de la Unión Europea respecto a las de los países anglosajones (Estados Unidos, Canadá, Australia). Aunque en ambos casos los niveles de desarrollo son muy similares, las emisiones son mucho más elevadas en los países anglosajones, en virtud de sus altas intensidades energéticas y emisoras. La producción y el uso de la energía también quedan patentes en el mapa a partir de los tonos ocres que adoptan la mayoría de los países productores y exportadores de petróleo (ver figura 8).

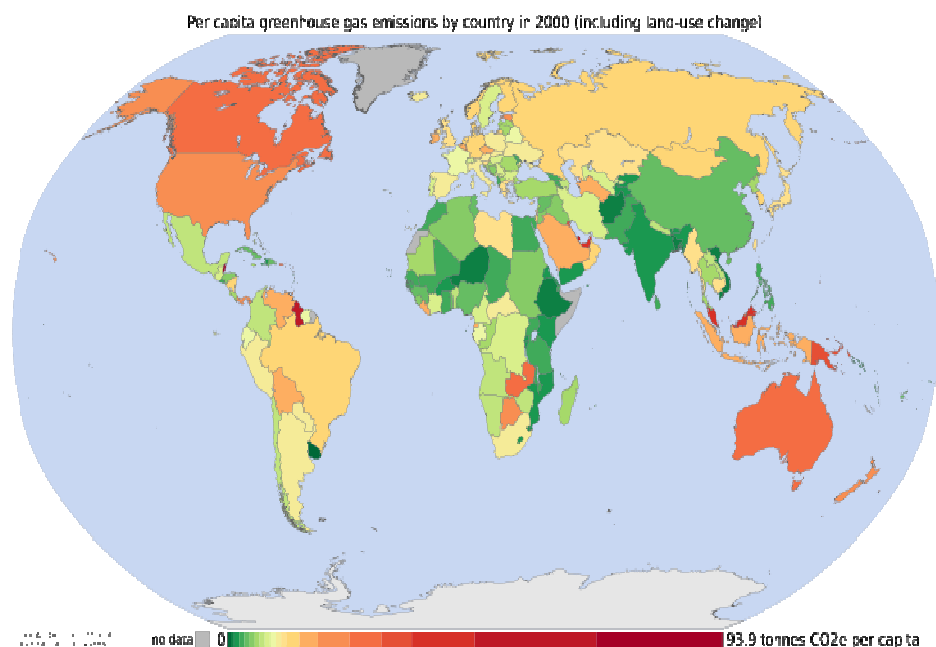
² Los países de la antigua Unión Soviética, actualmente en proceso de adaptación a la economía de mercado.

Figura 8. Emisiones *per cápita* de GEI en el año 2000 (sin incluir cambios en el uso del suelo).



Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:GHG_per_capita_2000.svg , con datos del World Resources Institute.

Figura 9. Emisiones *per cápita* de GEI en el año 2000 (incluyendo cambios en el uso del suelo).

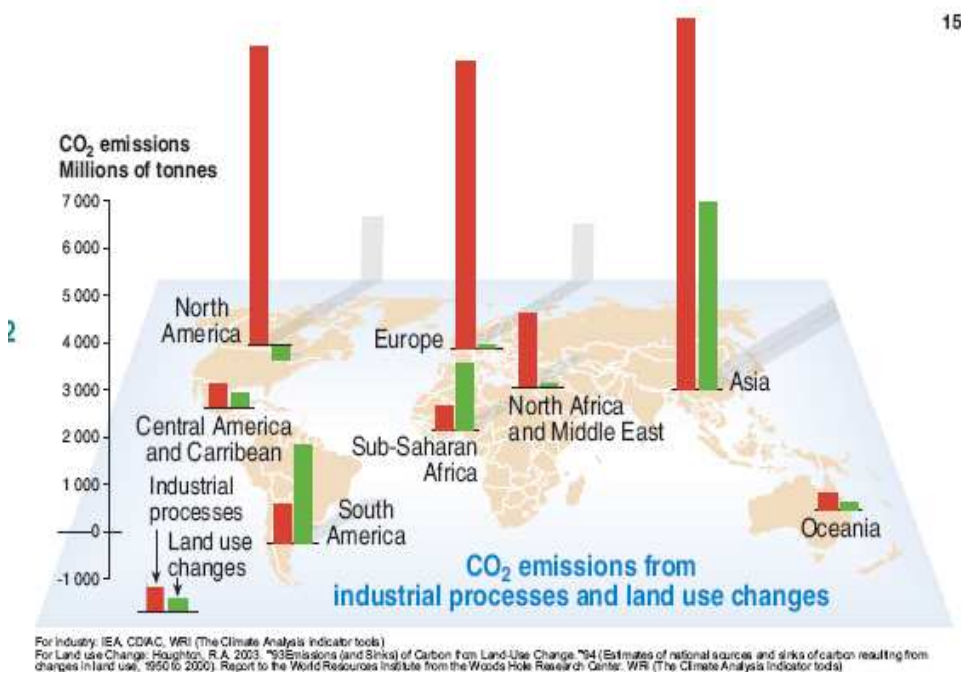


Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Image:GHG_per_capita_2000.svg , con datos del World Resources Institute.

Cuando introducimos en las cartografías los cambios en el uso del suelo, aparecen nuevas dimensiones del fenómeno, y ahora numerosos países del mundo subdesarrollado se alzan a la categoría de mayores emisores, siendo especialmente destacables los altos valores de emisión que registran la mayoría de los países latinoamericanos, así como algunos del sur de África, el Índico y el Pacífico ecuatorial (ver figura 9).

Y es que los perfiles emisores también son muy diferentes para el desarrollo y el subdesarrollo. El mundo desarrollado no emite ya por cambios en el uso del suelo; incluso se permite reforestar y ser un sumidero neto por este concepto, como sucede en América del Norte, mientras que los países subdesarrollados generan muy pocas emisiones industriales, pero destruyen sus sumideros naturales de CO₂ mediante inadecuadas políticas agrícolas y forestales (ver figura 10).

Figura 10. Emisiones mundiales de CO₂ por procesos industriales y por cambios en el uso del suelo.



Fuente: UNEP/GRID-Arendal *Maps and Graphics Library*. Disponible en: <http://maps.grida.no/go/>

Todo ello configura un mundo de nuevas realidades territoriales asociadas a las emisiones, las cuales se convierten desde ahora en importantes variables caracterizadoras de los territorios y que aún están por analizar en profundidad desde el ámbito de la geografía. Por otro lado, merece destacarse la importancia de la superficie terrestre –un aspecto eminentemente geográfico– en el tema de las emisiones.

Ya desde los años 80 se es plenamente consciente del papel que juegan en los balances de energía y agua los intercambios que se realizan entre la atmósfera y la superficie terrestre, intercambios que dependen esencialmente de variables superficiales tales como el albedo, la emisividad, la temperatura, el contenido de humedad o la rugosidad. Ahora hemos de hacerla participar en un balance nuevo, el balance de carbono, un balance que depende sobre todo del estado de la cobertura vegetal, que a su vez es reflejo de la política forestal y la política agrícola que se implanten en un determinado territorio. En estas políticas ya no sólo habrá que atender a balances económicos, ni siquiera a los balances ecológicos a la antigua usanza (balances energéticos y balances hídricos), sino que también habrá que considerar la aptitud de las distintas especies y cultivos como fuentes o sumideros de carbono.

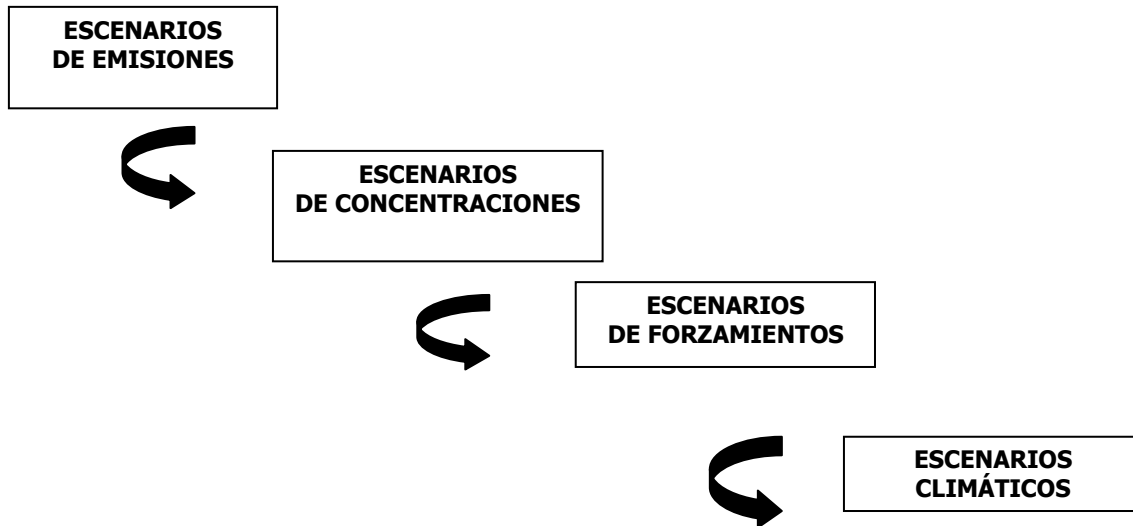
3. Las manifestaciones del cambio climático.

Existen aún numerosas incertidumbres en torno a los modos en que el cambio climático se va a manifestar en los diferentes lugares del planeta. Tales incertidumbres son similares a las que caracterizan a todos los restantes riesgos ambientales, en la medida en que todos ellos son riesgos nuevos, producto de la intervención antrópica y que involucran complejos mecanismos de retroacción y realimentación en los ecosistemas terrestres aún no completamente identificados (Del Moral Ituarte y Pita López, 2002). Ello promueve el incremento constante de las investigaciones sobre ellos y determina un conocimiento cada vez más preciso sobre sus procesos de funcionamiento. Pero, además, en el cambio climático surge un tipo de incertidumbre asociada estrechamente al propio procedimiento de trabajo que caracteriza a los estudios destinados a él. Un procedimiento en el que lo esencial no es prever cómo va a ser el clima del futuro, sino dibujar diferentes escenarios posibles para él.

Los escenarios de cambio climático no son previsiones; nadie pretende prever cómo será el clima del futuro, entre otras cosas, porque el clima del futuro dependerá de cómo sea nuestro comportamiento emisor, y eso es prácticamente imposible de prever; los científicos se limitan a imaginar posibles mundos futuros, con diferentes comportamientos de emisión, y a partir de ellos deducen cómo sería el clima en esos escenarios. Estas deducciones son las que se ponen a disposición de los poderes públicos para que éstos conozcan el intervalo de posibilidades en que puede desenvolverse el futuro y adopten las políticas que estimen más oportunas.

El procedimiento de trabajo esencial para el diseño de los escenarios de clima de futuro se basa en la modelización, la cual, además, se realiza en una escalada que incluye cuatro eslabones diferentes (ver figura 11). En el primer eslabón se elaboran los futuros escenarios de emisiones de GEI, utilizando para ello modelos de naturaleza socioeconómica que intentan aventurar posibles futuros de la humanidad: crecimiento demográfico, desarrollo económico, evolución tecnológica, cambios en el modelo de consumo energéticos etc. Serán estas variables socioeconómicas las que serán traducidas a valores concretos de emisiones de GEI. Lógicamente, aquí las posibilidades son muy numerosas, casi infinitas, y el esfuerzo consiste en identificar el amplio marco de posibilidades que puede producirse.

Figura 11: El proceso de elaboración de escenarios de clima del futuro.



Fuente: Modificado de Balairón, L (1998)

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático elaboró en 1992 unos escenarios de emisiones, denominados “escenarios IS92”, que constituyeron los primeros escenarios mundiales con estimaciones de los niveles futuros de GEI. Cada uno de los escenarios partió de hipótesis diferentes en lo concerniente a la evolución del crecimiento de la población mundial, al crecimiento económico, a las pautas de abastecimiento energético y a otros aspectos concernientes a la importancia concedida por las sociedades a la sostenibilidad y, más concretamente, a la implantación de medidas de control de la calidad ambiental. Como resultado de esas hipótesis y de la modelización aplicada sobre ellas se obtuvieron seis escenarios de emisiones (IS92a, IS92b, IS92c, IS92d, IS92e e IS92f), que fueron los que sirvieron de base para la elaboración del II Informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). Posteriormente fueron sometidos a un proceso de evaluación, y en 1996 se recomendó la elaboración de unos nuevos escenarios que sirvieran de base para la elaboración del III Informe - de aparición en el año 2001- y que recogieran los avances que se habían producido en relación con el tema desde 1992. El informe especial sobre escenarios de emisiones (SRES en terminología anglosajona, correspondiente a las siglas de *Special Report on Emission Scenarios*), no fue aprobado hasta el 15 de marzo de 2000, un poco tarde para que fuera utilizado por los modelizadores en la preparación del III Informe del IPCC sobre el cambio climático; no obstante, se seleccionaron cuatro escenarios tipo para su uso con este fin y se publicó el informe completo para uso de otros investigadores y gestores del clima. Han sido ya, además, los escenarios manejados en el IV Informe del IPCC.

Los escenarios se agrupan en cuatro familias diferentes: A1, A2, B1 y B2. De la familia A1 parten tres grupos de escenarios (A1FI, A1T y A1B), en tanto que cada una de las restantes familias conduce a un solo grupo de escenarios. A su vez, dentro de cada grupo hay un conjunto variable de escenarios con valores cuantificados y precisos sobre todos los parámetros de interés, tanto en lo relativo a las fuerzas determinantes de las emisiones, como en las emisiones mismas. En total se han elaborado 40 escenarios distintos, que constituyen la base esencial sobre la cual se diseñan los posibles climas futuros (Nakicenovic, N y Swart, R, 2000).

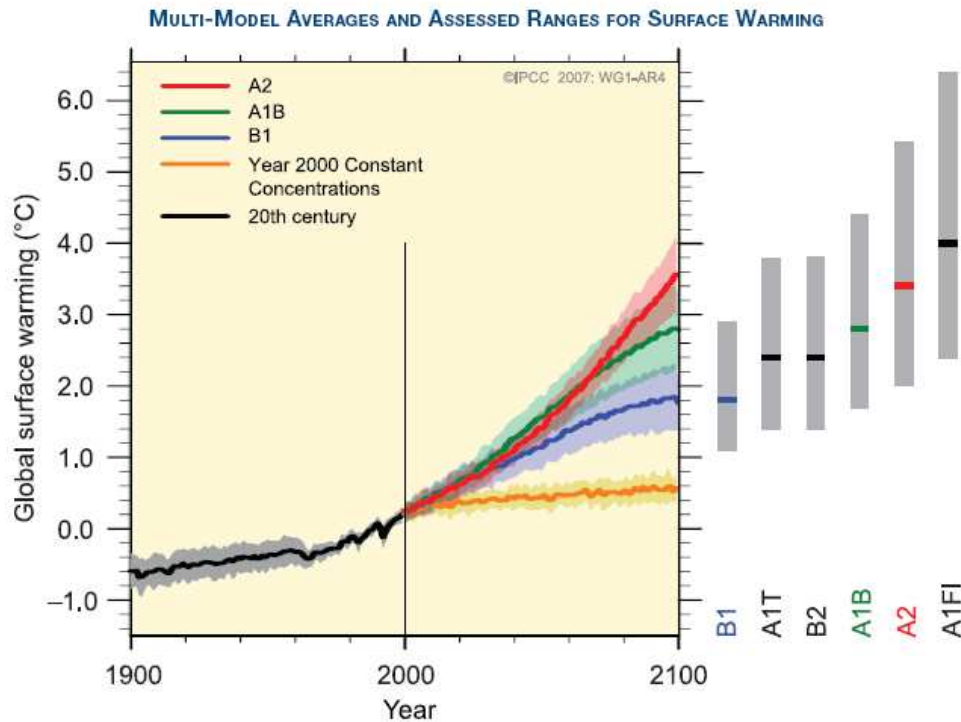
El paso de los escenarios de emisiones a los de concentraciones se realiza a partir de los modelos de los ciclos biogeoquímicos que se dan en el sistema y especialmente el ciclo del carbono. Son modelos que se van perfeccionando cada vez más, pero que aún presentan fuentes de incertidumbre, con lo cual muestran también variaciones importantes dependiendo de los autores que los elaboran, lo cual multiplica los escenarios posibles. El paso siguiente consiste en la elaboración de los escenarios de forzamiento radiativo, utilizando modelos del balance de energía del sistema, y también aquí las posibilidades son múltiples. Por último, el paso de los escenarios de forzamiento a los escenarios de clima se realiza a partir de modelos climáticos, cuya complejidad y diversidad son extraordinarias, como corresponde a la propia complejidad del fenómeno a modelizar y de las diversas instituciones que se ocupan de dicha tarea.

Cada una de esas modelizaciones puede tener numerosas salidas, que se van multiplicando a medida que descendemos en la escala. En consecuencia, las salidas finales de los modelos son múltiples y los escenarios de clima del futuro numerosísimos, de manera que no se puede pretender una respuesta categórica y cerrada sobre el clima del futuro, sino múltiples escenarios diferentes y, lo que es más importante, equiprobables, con los cuales contar para planificar las políticas públicas. Esto sin duda alimenta la idea de la existencia de incertidumbres en el tema, que en muchos casos es utilizada para negar el problema y demorar las soluciones. En lugar de ello debe utilizarse para reforzar el principio de precaución y para adelantarse a los acontecimientos, propiciando una adaptación al tema desde ahora, porque hay elementos comunes en todas las salidas de los modelos que apuntan en una determinada dirección y esa es la línea clave que deberíamos seguir.

Obviando la presentación de los escenarios de emisión, concentración y forzamiento radiativo, que en todos los casos conducen a valores crecientes, y centrándonos en los escenarios de temperatura, se puede concluir que el futuro del clima en el planeta será más cálido que el actual (ver figura 12). Este calentamiento se produciría incluso en el hipotético caso de que las concentraciones de CO₂ permanecieran constantes, cosa que de ningún modo va a suceder, y sería mucho más evidente, aunque variable, en cualquiera de los demás casos. Un valor intermedio sería el valor medio del escenario A1B, con un incremento próximo a los 3°. Hay que recordar que estos valores, como media planetaria, son valores muy elevados³, por otro lado, estos valores medios planetarios implican que en territorios concretos los valores de ascenso pueden llegar a ser muy superiores

Figura 12. Escenarios futuros de temperatura en el planeta.

³ La diferencia en la temperatura media entre un periodo glacial y otro interglacial se ha situado en torno a 5°-10°



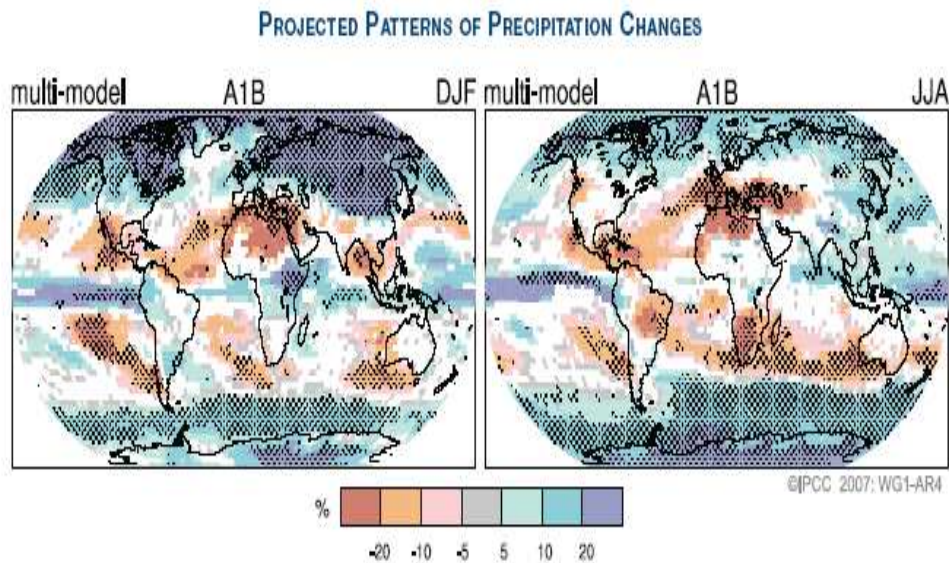
Fuente: IPCC, 2007,d

Pie de la figura: Las curvas corresponden a los valores medios de temperatura alcanzados en diversos escenarios y modelos, en tanto que las barras laterales recogen los resultados que los distintos modelos ofrecen para cada escenario

Por razones de espacio no podemos abordar en detalle las distintas manifestaciones que los elementos del clima van a adoptar en el mundo, pero sí queremos destacar –y en algún caso ejemplificar- el hecho de que estas manifestaciones se traducirán en potencialidades climáticas territoriales y regionales muy diferentes a las actuales, conducentes en algunos casos a un mundo más homogéneo y en otros a uno más heterogéneo.

A escala planetaria, las temperaturas se adscribirían al primero de los casos, dado que en todos los escenarios se dibuja un incremento térmico muy superior en las latitudes altas que en las bajas (ver IPCC, 2007a). En el caso de las precipitaciones, la situación es justamente la contraria, con aumentos importantes en lugares que ya son muy lluviosos (latitudes medias y ecuatoriales), pero disminuciones en los más secos, como las latitudes subtropicales y especialmente la cuenca mediterránea en verano (ver figura 13). Este mundo más heterogéneo y contrastado probablemente repercutirá en las relaciones internacionales y de aquí cabe intuir el aumento de las tensiones mundiales por los recursos hídricos. Unas tensiones en las que se debería estar en condiciones de decir algo desde la geografía.

Figura 13. Cambios proyectados para la precipitación invernal y veraniega en el periodo 2090-2099 con arreglo al escenario A1B.



Fuente: IPCC, 2007a.

Pie de la figura: DJF = Invierno; JJA = Verano

En blanco los espacios en los que no hay suficiente concordancia entre los resultados de los diferentes modelos (menos del 66% de los modelos coinciden en el signo del cambio). En punteado las áreas en las que más del 90% de los modelos coinciden en el signo del cambio.

El análisis de estos fenómenos para ámbitos más reducidos requiere la aplicación, a las salidas de los modelos generales, de técnicas de reducción de escala o *down scaling*, las cuales son imprescindibles para poder matizar algo los resultados en los diferentes territorios. Y es que las proyecciones de clima obtenidas con diversos modelos globales son aptas para las escalas planetarias, pero insuficientes para dar cuenta de los fenómenos climáticos a escala regional. Esta mengua en la fiabilidad de los resultados se atribuye a la insuficiente resolución espacial de los modelos y al uso de parametrizaciones físicas no adaptadas a procesos de mesoescala. Una baja resolución espacial da lugar a que se distorsionen las líneas de costa o se suavicen las alturas de los accidentes orográficos, además de impedir la reproducción de procesos atmosféricos con un tamaño inferior al de las celdillas en que se discretiza el dominio donde se aplica. Para evitar estos problemas se recurre a diversas técnicas de reducción de escala o *down scaling*, que permiten extraer salidas regionales a partir de modelos globales.

Entre las técnicas más utilizadas para esta tarea destacan las estadísticas, que, a partir de las correlaciones existentes entre las salidas de los modelos globales, las series de observaciones climáticas de superficie y las propias características de esta superficie (altura, orientación, cobertura vegetal etc.), consiguen, mediante regresión, inferir los valores de los parámetros climáticos a escalas regionales a partir de la información suministrada por los modelos globales.

Técnicas de este tipo y otras muy diversas son las que han permitido al Instituto Nacional de Meteorología obtener recientemente escenarios climáticos regionalizados

para España. Estos escenarios también apuntan hacia cambios destacables en las potencialidades climáticas y dibujan una realidad con mayores desequilibrios que en la actualidad en todos sus aspectos⁴. Centrándonos ahora sólo en las temperaturas, para cambiar respecto a la escala planetaria, en la cual insistimos en las precipitaciones, la figura 14 muestra seis salidas posibles para temperaturas máximas y mínimas, correspondientes a diferentes modelos y técnicas de *down scaling*, todos para el escenario de emisiones A2 (medio alto) y para finales del siglo XXI.

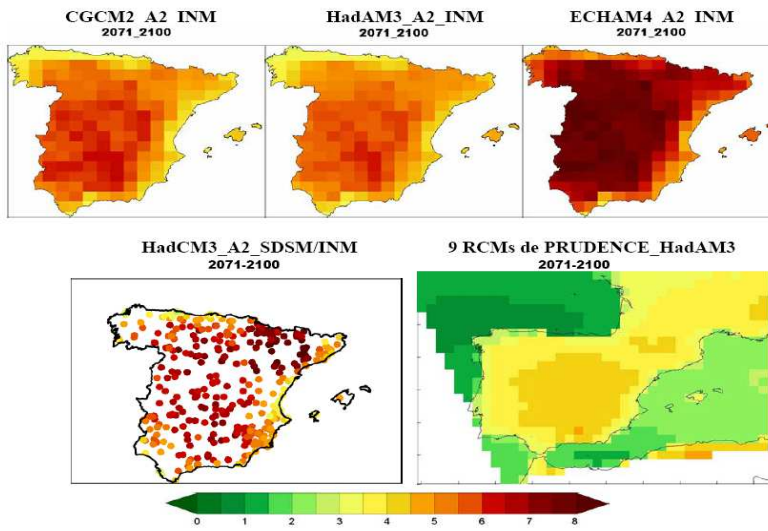
Prescindiendo de las diferencias cuantitativas existentes entre unos calentamientos y otros, que son inherentes al propio procedimiento de trabajo, como antes vimos, lo que me interesa destacar es este futuro más contrastado que se nos abre en todos los casos. Como puede verse, las temperaturas máximas (las diurnas) aumentarán más que las mínimas (las nocturnas), lo cual implica una mayor amplitud térmica y un mayor desequilibrio. Además, en ambos casos, especialmente en las máximas, hay un claro gradiente costa-interior, con mayor incremento térmico en este último. Esto refuerza los contrastes térmicos del interior, ya de por sí muy contratado, y acentúa la suavidad térmica de las áreas costeras, lo cual, por otro lado, podría convertirse en una nueva fuente de impulso y de atracción de la población hacia estas áreas, que ya vienen acusando en los últimos años una presión urbanística y constructora cercana a lo insoportable. Los escenarios mensuales también apuntan en la misma dirección y es el verano el que muestra los mayores cambios, con incrementos en las temperaturas máximas del orden de 7° u 8° en el interior del país, frente a aumentos de sólo 2° a 4° en los meses de enero y marzo (ver figura 15). Se diría que el cambio climático se empeña en reforzar nuestros contrastes y desequilibrios, tanto en el espacio como en el tiempo, y ello supondrá reajustes en las actividades económicas, en los asentamientos, en la gestión de los recursos y, en suma, en la ordenación del territorio.

Los geógrafos deberíamos estar en disposición de aportar algo en el logro de estas precisiones territoriales. También deberíamos estar presentes en la definición de sus impactos y en el debate territorial consecuente. En relación con las precisiones territoriales, nuestra posición es muy favorable: las técnicas estadísticas nos son familiares y conocemos a fondo las variables territoriales, todo lo cual nos convierte en potenciales protagonistas de estas tareas de aproximación de las abstracciones planetarias a las escalas regionales y locales. También nos es familiar el ámbito de la valoración y gestión de los recursos, que ahora será muy necesario de cara a los cambios que se prevén en las potencialidades climáticas.

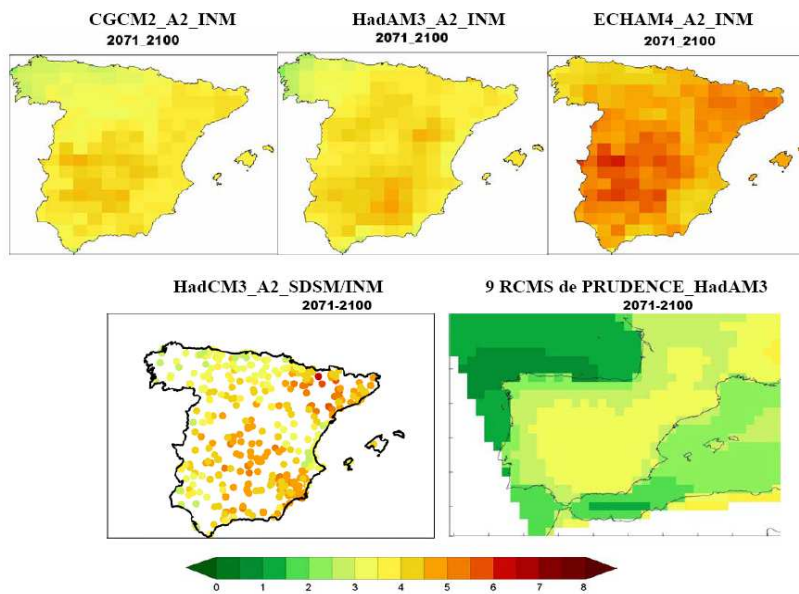
Figura 14. Temperaturas máximas (A) y mínimas (B) esperables en España para diferentes modelos y técnicas de reducción de escala aplicados sobre el escenario A2 para el horizonte 2071-2100.

⁴ ver www.inm.es. Los escenarios están disponibles en:
http://www.inm.es/web/izq/noticias/meteonoti/pdf/Escenarios_20070402.pdf

A



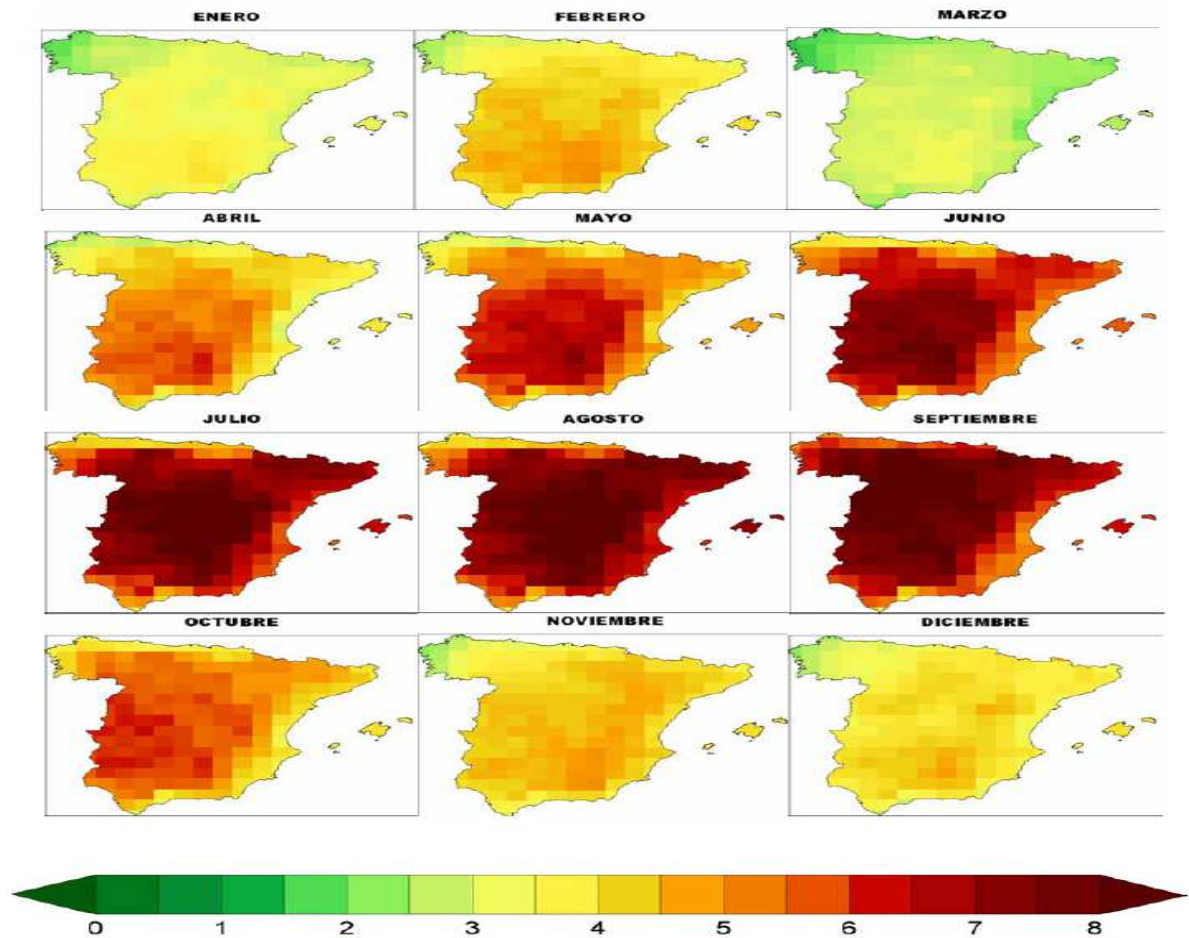
B



Fuente: http://www.inm.es/web/izq/noticias/meteonoti/pdf/Escenarios_20070402.pdf

Figura 15. Escenarios de temperaturas máximas mensuales para España a finales del siglo XXI.

T max. (°C) (2071-2100) SRES A2, HadAM3, INM



Fuente: http://www.inm.es/web/izq/noticias/meteonoti/pdf/Escenarios_20070402.pdf

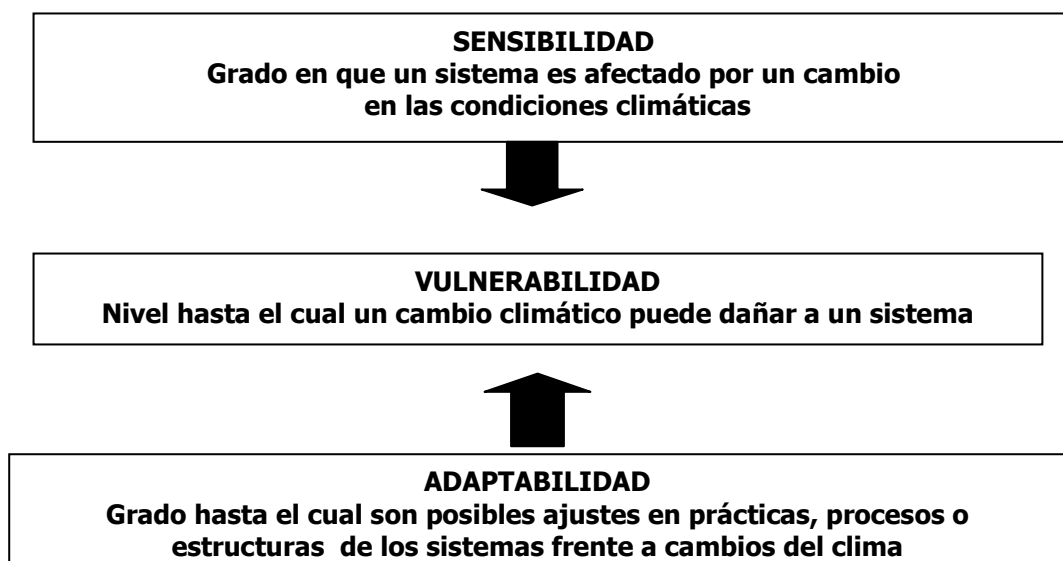
4. Los impactos del cambio climático.

La gran variedad de impactos que pueden experimentarse como consecuencia del cambio climático y su diversidad espacial nos impiden entrar a considerar este fenómeno en detalle (ver IPCC, 1997). No obstante, de cara a las implicaciones geográficas, creo que merecen destacarse algunos aspectos esenciales. En primer lugar, el hecho de que los agentes del cambio climático son globales, pero los impactos serán locales y es en esas escalas de detalle en las que habrá que estudiar estos impactos para resultar operativos y útiles a la sociedad. Ya están surgiendo abundantes cartografías de impactos, resultado de la aplicación de modelos que relacionan las salidas de los modelos climáticos con las distintas facetas y actividades que muestran alguna dependencia respecto al clima. Pero hasta ahora esas cartografías se desarrollan a escalas planetarias (correspondientes a las propias salidas de los modelos climáticos globales) o, en el mejor de los casos, regionales, afectando a grandes ámbitos, como la

Unión Europea, por ejemplo.⁵ Tales cartografías tienen una importante virtualidad, como es la de obtener una primera aproximación acerca de la nueva situación mundial que se nos avecina (en el caso de las cartografías planetarias), o servir de ayuda en el diseño de grandes líneas políticas para amplios conjuntos regionales (para este fin se están utilizando las abundantes y variadas cartografías de impactos que se están produciendo en la Unión Europea). Pero se hace intensa y urgente la demanda de resultados de modelos de impactos a escala de suficiente detalle como para ser eficaces y operativos en ámbitos regionales y locales.

También es destacable el hecho de que en los impactos cada vez se asigna mayor importancia a aspectos sociales y culturales que también conciernen al saber geográfico. En concreto, está hoy unánimemente asumido que la vulnerabilidad de las sociedades ante los cambios climáticos depende de la sensibilidad que éstas tengan ante dichos cambios, pero depende también y sobre todo de su capacidad de adaptación a ellos (ver figura 16). Se da por hecho que una sociedad con una buena capacidad de adaptación, incluso si es muy sensible a los cambios climáticos, será capaz de sortear el problema e incluso de sacarle partido a las oportunidades que ofrezca. Por eso se trabaja también en desarrollar esas capacidades de adaptación, las cuales dependen de variables socio-económicas y culturales, variables que pasan a ser otras tantas variables climáticas.

Figura 16. Los factores de la vulnerabilidad frente a los cambios climáticos.



Fuente: Elaboración propia a partir de:
http://maps.grida.no/go/graphic/sensitivity_adaptability_and_vulnerability

La tabla 3 recoge la estructura de los indicadores desarrollados por el Postdam Institute for Climate Research en su proyecto “Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling (ATEAM)”, para generar un índice de capacidad de adaptación, el cual es a

⁵ Para impactos del cambio climático sobre la Unión europea, ver: European Environmental Agency (EEA) (2004): Impacts of Europe Changing Climate, EEA Report nº 2

su vez un agregado de un índice de conciencia -resultado de la igualdad más el conocimiento-, un índice de habilidad -derivado de la tecnología y la infraestructura del territorio- y un índice de acción -que se deriva de la flexibilidad de la sociedad más su poder económico-. Son sólo 12 indicadores, fácilmente accesibles mediante estadísticas oficiales, los que, adecuadamente combinados, permiten la elaboración del índice, que además se puede cartografiar a muy diversas escalas y seguir en su evolución temporal. Constituye una nueva oportunidad profesional para los geógrafos, que no se debería dejar pasar, junto a las que ya hemos venido señalando en los epígrafes anteriores.

Tabla 3. El índice de capacidad de adaptación al cambio climático del Postdam Institute for Climate Research.

Indicadores	Determinantes	Componentes	ÍNDICE
Tasa de actividad femenina	IGUALDAD	CONCIENCIA	CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN
Desigualdad en la renta			
Tasa alfabetización	CONOCIMIENTO		
% pobl. Educación superior			
Gasto en I+D	TECNOLOGÍA	HABILIDAD	
Nº patentes			
Nº líneas telefónicas	INFRAESTRUCTURA		
Nº médicos			
Renta <i>per cápita</i>	FLEXIBILIDAD	CAPACIDAD DE ACCIÓN	
% edad dependiente			
Participación en el comercio mundial	PODER ECONÓMICO		
Superavit en el presupuesto			

Fuente: Postdam Institute for Climate Research (2004)

5. Los ajustes ante el cambio climático.

Ante el cambio climático sólo caben dos tipos de ajustes: las medidas de mitigación, es decir, aquellas tendentes a reducir las concentraciones atmosféricas de GEI con el objeto de frenar la intensidad del cambio, y las medidas de adaptación, que intentan reducir los impactos negativos que éste pudiera ejercer. Ambos ajustes requerirán

esfuerzos e inversiones cuantiosos, pero siempre rentables, dado que todo lo que no se invierta en ellos habrá que invertirlo en impactos, lo cual es siempre más negativo, impredecible e incontrolable.

Las medidas de mitigación requieren una escala internacional, dado que un problema global como el cambio climático no puede solucionarse a partir de iniciativas individuales; las medidas de adaptación, sin embargo, pueden tener una dimensión regional o local, siendo cada territorio o cada sociedad los que tendrán que asumir la respuesta que eligen para afrontar el problema. Esto ha determinado que los debates y acuerdos internacionales se hayan centrado esencialmente en la mitigación, dejando la adaptación bajo la responsabilidad de cada país concreto. Ello, unido al hecho de que antes ya hemos mencionado algunos aspectos relacionados con la adaptación, nos ha impulsado a centrar ahora nuestro discurso en el tema de la mitigación, que será fundamental en la organización económica internacional en los próximos años.

5.1. Las medidas de mitigación.

Sólo caben tres posibilidades en el intento de mitigar el problema del cambio climático: reducir las emisiones de GEI, aumentar sus sumideros, o tratar de capturar y almacenar los gases emitidos de forma que se eviten sus perjuicios.

La reducción de las emisiones debe constituir el pilar esencial del conjunto y, dentro de él, se atribuye un interés prioritario al sector energético por ser el más emisor. Los modos fundamentales de reducción en este sector son tres: en primer lugar, la eficiencia energética, que, en base a avances tecnológicos, podría permitir mayores niveles de consumo energético y de crecimiento económico sin incrementar las emisiones de GEI. Es una medida importante, pero nunca podrá por sí sola contrarrestar el crecimiento que se registra en las restantes variables potenciadoras de las emisiones, tales como la población, la renta o el consumo de energía (recordar en este sentido las evoluciones mostradas en la figura 6).

En segundo lugar se apela al incremento de la utilización de energías renovables (energía solar, energía eólica, biocombustibles...), lo cual abre nuevos ámbitos de recursos y potencialidades a desarrollar (en este sentido nuestro país estaría muy bien posicionado, por cierto), aunque también introduce nuevos problemas a resolver, tales como la viabilidad y conveniencia de asignar mayores superficies agrarias a la producción de biocombustibles, por ejemplo.

Por último, el tercer pilar en la reducción de emisiones es el ahorro de energía, que resulta inexcusable si se pretende hacer frente de verdad al cambio climático. Dentro de esta opción será fundamental establecer adecuadas políticas de ordenación del territorio que tengan entre sus objetivos precisamente ese ahorro: modelos de ciudades que minimicen la obligatoriedad de transportes prolongados, medidas urbanísticas que propicien el ahorro energético en edificaciones, difusión de las prácticas de arquitectura bioclimática, ajuste de las calefacciones/refrigeraciones a las necesidades reales de cada ámbito, mayor adecuación de las actividades a los propios recursos del territorio, y otras tantas medidas que, en el fondo, lo que propician es una ordenación del territorio menos despilfarradora en recursos y, especialmente, en recursos energéticos. Ya se oye hablar a muchos profesionales

ajenos a la geografía del problema del cambio climático como un problema de ordenación territorial; es conveniente que ese mensaje se interiorice también en el seno de la geografía.

El aumento de los sumideros, sin ser tan importante como la reducción de emisiones, puede también contribuir a mitigar el problema. Como es bien sabido, son el océano y la cubierta vegetal los grandes sumideros de carbono en el planeta y los que pueden contrarrestar las continuas emisiones, tanto naturales como antrópicas, que se producen hacia la atmósfera. Se intenta potenciar este carácter de sumidero a partir de soluciones tecnológicas, tales como la fertilización de las aguas oceánicas con ciertos componentes que propician el aumento de su carácter de sumidero. Pero todavía la pieza clave sigue siendo el establecimiento de políticas forestales y agrícolas que contemplen ese objetivo: prácticas agrícolas que fomenten el carácter de sumidero de la cubierta agrícola, reforestaciones, control de los incendios forestales, plantación de especies forestales con fuerte capacidad de sumidero etc... En el fondo hablamos de nuevo de ordenación territorial, de política de usos del suelo, de geografía, en suma.

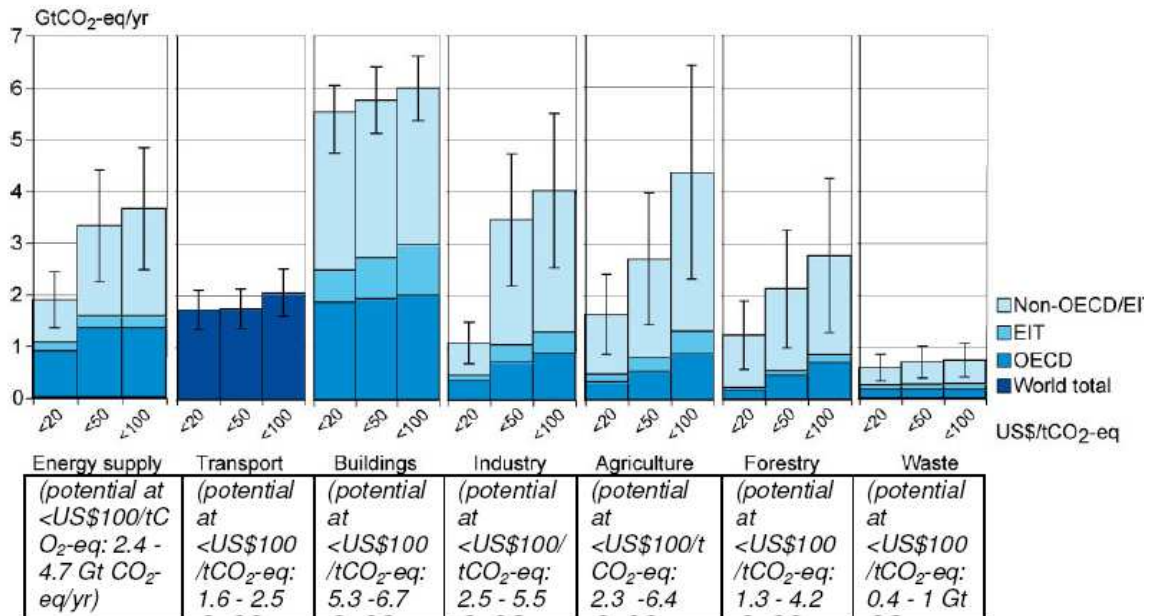
Se investigan también las posibilidades de mitigación asociadas a la captura del CO₂ emitido y su almacenamiento en lugares en los que pueda permanecer inerte y sin interferir con otros procesos naturales (ver IPCC, 2005). En este sentido se realizan ya localizaciones para este fin en los fondos oceánicos, o en el interior de la superficie terrestre, en antiguos depósitos de combustibles fósiles ya exhaustos y, de hecho, existen ya almacenes en funcionamiento. Sin embargo, es difícil imaginar que esta vía sea algo más que una anécdota, dada la ingente cantidad de emisiones que se realizan diariamente en el planeta.

Además de la viabilidad técnica necesaria para que estas medidas puedan emprenderse, se estudia ya también su viabilidad económica a partir del análisis del potencial económico de mitigación de los diferentes sectores y del coste económico esperable tras la implantación de las medidas.

El potencial de mitigación alude a las reducciones de emisiones que se podrían obtener para un determinado coste de inversión por unidad de CO₂ equivalente eliminado o reducido. Lógicamente, mientras más dinero se invierta, más se reducirán las emisiones en general, pero la comparación entre las reducciones conseguidas en los diferentes sectores, o a partir de diferentes inversiones, permite establecer la relación coste-beneficio de cada inversión y constituye una buena ayuda en la toma de decisiones. La figura 17 muestra el potencial económico de mitigación de diferentes sectores para el horizonte del año 2030. Es destacable el papel de la edificación, en la cual las medidas implican reducciones importantísimas de emisiones, más que en cualquier otro sector. Por otro lado, aquí las reducciones apenas varían con el aumento de los gastos destinados a la implantación de las medidas, con lo cual se podrían conseguir grandes beneficios incluso con los costes más reducidos. Además, existen muchos cobeneficios de la inversión en edificios, con lo cual es un sector en el que se ponen muchas esperanzas. Son también importantes las reducciones en el suministro de energía, aunque aquí sí compensan las grandes inversiones, al igual que sucede en la industria y la agricultura, especialmente en esta última. Las políticas forestales y el tratamiento de residuos

son los sectores en los que la rentabilidad de las inversiones será menor porque incluso los gastos más elevados consiguen reducciones de emisiones muy modestas.

Figura 17. Potencial económico de mitigación para diferentes sectores en 2030.



Fuente: <http://www.ipcc.ch/graphics/gr-ar4-wg3.htm>

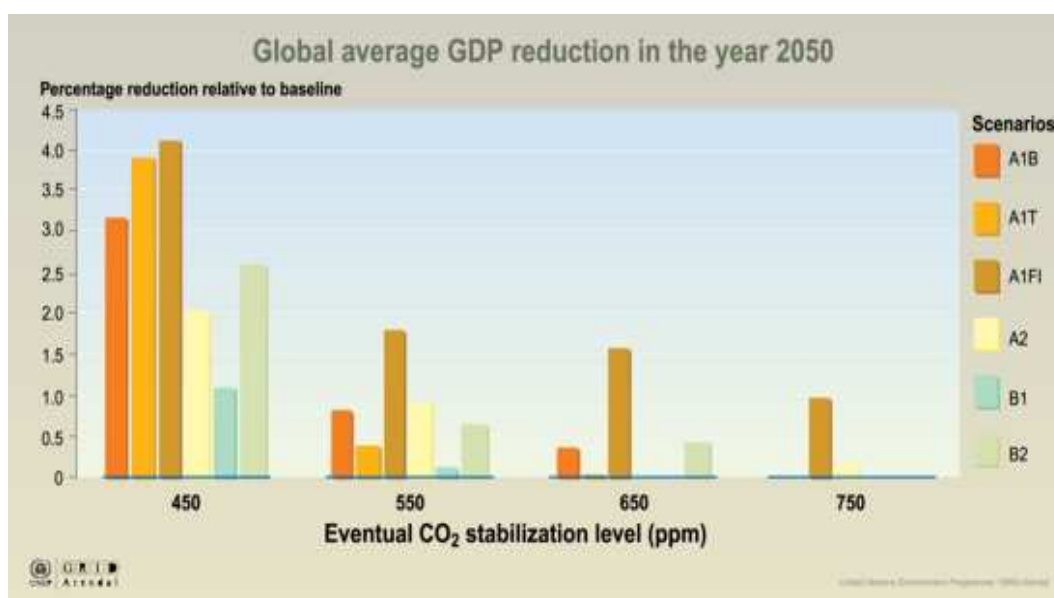
Pie de figura: El potencial económico se expresa a partir de las gigatoneladas de CO₂ equivalente que eliminaría cada sector al año en 2030 para una inversión de menos de 20 \$, de 20\$ a 50 \$ o de 50\$ a 100 \$. Se distinguen además los potenciales atribuibles a los países de la OCDE, a las Economías en Transición (EIT) y al resto del mundo. En el transporte no se realiza un desglose por países dadas las dificultades de asignación de las emisiones derivadas de la aviación internacional. Un sector, por cierto, con fortísimo crecimiento en los últimos años y en el futuro inmediato.

Pero, lógicamente, también habrá costes, los cuales serán tanto mayores cuanto más bajo sea el nivel de CO₂ en el que pretendamos estabilizar las concentraciones. Igualmente, cuanto más bajo sea este nivel, antes tendremos que terminar nuestro proceso de ascenso de emisiones previo al descenso obligado. Eso implica que, si queremos reducirlos a unos niveles aceptablemente bajos, tendremos que empezar a intensificar ya nuestras políticas de mitigación.

Desde luego, dejarlos llegar hasta 750 ppmv no nos costaría casi nada; podríamos esperar a decrecer hasta el 2050, y aumentar nuestras emisiones hasta el 25 al 85%, pero la temperatura aumentaría en 4 a 5° y todo lo pagaríamos en impactos y adaptaciones. Dejarlos en 450 ppmv costaría demasiado caro bajo cualquiera de los escenarios; lo más verosímil parece que sería quedarse en unas 550 ppmv, que arrojaría un aumento de temperatura en el planeta de unos 3° y que supondría un esfuerzo en reducción de emisiones importante, pero asumible (ver figura 18 y tabla 4); de hecho, la Unión Europea siempre ha apostado por este orden de magnitud en los foros internacionales.

Estos son sólo algunos ejemplos de la intensa dedicación mostrada ya por los economistas hacia el tema del cambio climático (Stern, 2006 y Martín Vide, 2007). Pero otras muchas disciplinas están haciendo un esfuerzo similar. El Derecho y la Ciencia Política encabezan probablemente este fenómeno en su intento de elaborar las regulaciones y prácticas que darán origen a la nueva gobernanza requerida por un mundo globalizado, ambientalmente frágil y asediado por riesgos y problemas de naturaleza diferente a los dominantes hasta ahora. La Sociología y la Psicología se ocupan de las actitudes suscitadas por estas medidas entre los distintos colectivos de la sociedad. La Física está invirtiendo sus mayores esfuerzos en la modelización de los procesos físicos del sistema climático para la elaboración de simulaciones del clima del futuro, en tanto que la Química se ocupa del estudio de los ciclos biogeoquímicos y, en particular, de perfeccionar el conocimiento del ciclo del carbono. La Ingeniería, por su parte, ha encontrado un amplio campo de trabajo en las innovaciones tecnológicas conducentes a una reducción de las emisiones de GEI en los procesos industriales sin merma de la competitividad de las empresas, así como en la elaboración de los inventarios de emisiones. Y probablemente el mayor revulsivo se ha producido en el mundo empresarial, que es muy consciente de que de ahora en adelante las emisiones de GEI serán una variable clave a contemplar en las políticas de sus empresas, que habrán de llevar a cabo cambios en los procesos productivos para lograr una mayor eficiencia energética. La Geografía deberá también acometer pronto un esfuerzo similar.

Figura 18. Reducción media global del PIB en el año 2050 para diversos escenarios y niveles de estabilización de las concentraciones de CO₂



Fuente: UNEP/GRID-Arendal *Maps and Graphics Library*. Disponible en: http://maps.grida.no/go/graphic/mitigating_climate_change_cost_in_2050_out_of_gdp.

Tabla 4. Requerimientos necesarios para lograr la estabilización de las concentraciones de CO₂ en diferentes niveles.

Nivel de	450 ppmv	550 ppmv	750 ppmv
----------	----------	----------	----------

estabilización del CO₂			
Año de inicio del descenso	2000-2005	2010-2030	2050-2080
Reducción de emisiones (%)	(-85) – (-50)	(-85) – (+5)	(+25) – (+85)
Incremento térmico	2° - 2,5°	2,8° - 3,2°	4° - 5°

Fuente: Modificado a partir de <http://www.ipcc.ch/pdf/presentations/briefing-bonn-2007-05/overview-wg3-report.pdf>

5.2. Los acuerdos internacionales: Kyoto.

La gravedad del problema que estamos abordando y su carácter global determinaron que, tan pronto como éste fue detectado por los científicos, se iniciaran reuniones internacionales destinadas a idear estrategias para hacerle frente. Los años 90 son el detonante de este proceso y en especial el año 1992, momento en que, durante la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, se firma la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. En ella se fijan las primeras intenciones de abordar internacionalmente la solución del problema y se establecen los grandes principios que van a presidir estas actuaciones. Tras ella comienzan a convocarse anualmente reuniones de los países implicados en la solución del problema (Conferencias de las Partes), que van progresivamente realizando concreciones. Un hito destacado del proceso es el año 1997, en el cual se firma el Protocolo de Kyoto, que pone cifras y fechas a estas buenas intenciones y las convierte en compromisos concretos. El segundo gran hito es su entrada en vigor, que no se produce hasta el año 2005, dado que las reticencias de muchos países determinan que hasta entonces no se consiga su ratificación por parte del 55% de los países, contabilizadores, además, del 55% de las emisiones mundiales.

El Convenio Marco de las Naciones Unidas se fijó como objetivo la estabilización de las concentraciones de GEI a un nivel que evitara interferencias peligrosas con el medio ambiente, nivel que quedó rodeado de una gran ambigüedad al no ser cuantificado. No obstante, desde Europa se apuntó ya la posibilidad de fijarlo en 550 ppmv, asumiendo que ello implicaría un incremento térmico no superior a 2° o 3°C. Además se establecieron los grandes principios que habrían de presidir la gestión de este tema (ver tabla 5).

Tabla 5. Principios inspiradores de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

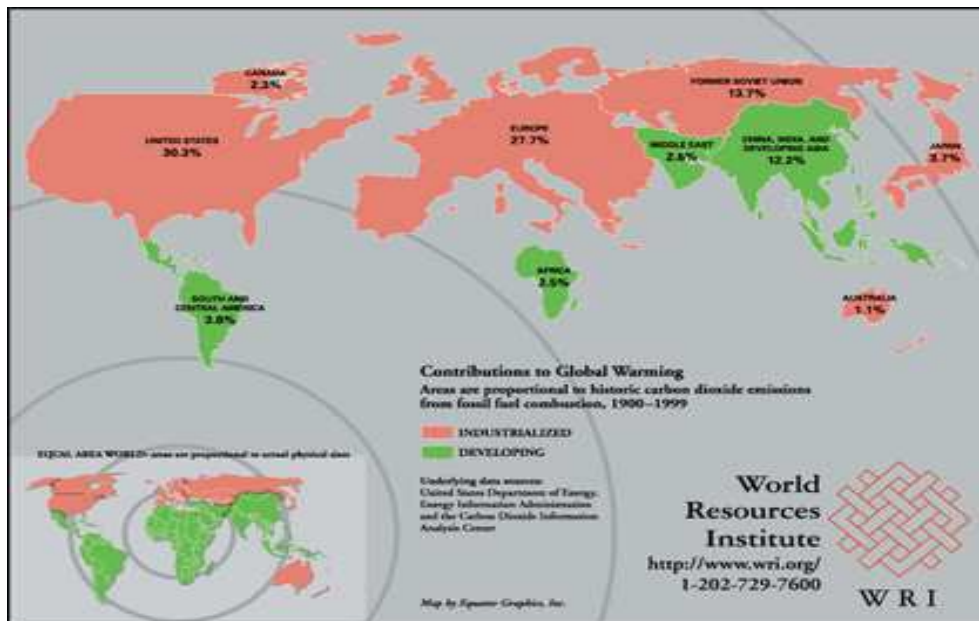
PRINCIPIOS
<ul style="list-style-type: none"> • Precaución • Sistema económico internacional abierto y propicio al crecimiento • Derecho al desarrollo sostenible

- **Equidad y responsabilidad común y diferenciada**
- **Reconocimiento de circunstancias especiales para países en desarrollo**

Fuente: Elaboración propia.

El principio de precaución era inevitable dado el carácter ambiental del problema y las lógicas incertidumbres inherentes al mismo; por otro lado, daba respuesta al escepticismo que rodeaba al tema en los momentos iniciales. Los dos principios siguientes suponían el reconocimiento del derecho al desarrollo, aunque sostenible, lo que implicaba la exigencia de intentar resolver el problema sin limitar las posibilidades de crecimiento y desarrollo de los diferentes países. Por su parte, los dos últimos principios imponían que los esfuerzos en la resolución del problema se realizaran por parte de los países desarrollados.

Figura 19. Contribuciones por regiones al calentamiento global (Áreas proporcionales a las emisiones históricas de CO₂ procedentes de combustibles fósiles en el periodo 1900-1999).



Fuente: World Resources Institute, <http://www.wri.org>

Efectivamente, en Kyoto sólo asumirán compromisos de reducción de emisiones los países desarrollados (países integrantes del Anexo 1), que son los principales responsables de las emisiones acumuladas en el planeta desde los orígenes de la Revolución Industrial y, consecuentemente, del problema del cambio climático en su conjunto (ver figura 19). La diferencia en las dimensiones ocupadas por estos países en la realidad (mapa inferior de la figura) y en su calidad de artífices del calentamiento (imagen superior) es suficientemente ilustrativa de su grado de responsabilidad en el tema. Además estos países se comprometerán a no interferir en las lógicas aspiraciones al desarrollo de los países subdesarrollados.

El compromiso global se estableció en una reducción de las emisiones para el cuatrienio 2008-12 de un 5,2% respecto a las existentes en 1990. Los compromisos concretos fueron muy diferentes de unos países a otros y aparecen plasmados en la tabla 6.

Tabla 6. Compromisos de control de emisiones por parte de los países del Anexo 1 del Protocolo de Kyoto.

COMPROMISOS DE CONTROL	PAÍSES	Compromisos dentro de la UE de los 15	
		Países	Control de emisiones
- 8%	Unión Europea	Portugal	+ 24%
		Grecia	+ 23%
		España	+ 15%
		Irlanda	+ 11%
		Suecia	+ 5%
		Finlandia	0
		Francia	0
		Italia	- 7%
		Bélgica	- 7,5%
		Holanda	- 8%
		Reino Unido	- 12%
		Austria	- 20,5%
		Dinamarca	- 22,5%
		Alemania	- 22,5%
		Luxemburgo	- 30%
	Suiza		
	Liechtenstein		
	Mónaco		
	Rep. Checa		
	Rumanía		
	Bulgaria		
	Eslovaquia		
	Eslovenia		
	Estonia		
	Letonia		
	Lituania		
- 7%	Estados Unidos		
- 6%	Japón		
	Canadá		
	Hungría		
	Polonia		
- 5%	Croacia		
0%	Rusia		
	Ucrania		
	Nueva Zelanda		
+ 1%	Noruega		
+ 8%	Australia		

+ 10%	Islandia
-------	----------

Fuente: Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, <http://unfccc.int/>

Dos hechos me parecen especialmente destacables: en primer lugar, la escasez de países que asumen compromisos dentro del contexto mundial. Es un fenómeno justo y responde a las responsabilidades de emisión acumulada de los distintos países, pero ello no impide que su número sea muy escaso de cara a la operatividad de las medidas de reducción, máxime teniendo en cuenta que existen en la actualidad gigantescos países en vías de desarrollo, como India o China, que se están incorporando a ritmos muy acelerados al mundo de las emisiones y que tarde o temprano tendrán que incorporarse también al mundo de los compromisos de reducción. En segundo lugar, es destacable lo modestísimo del esfuerzo inicial, que se limita a una reducción del 5,2% sólo para los países desarrollados. Para valorar lo limitado del esfuerzo baste recordar que, para mantener los niveles de CO₂ en 550 ppmv, hacía falta una reducción mundial de las emisiones evaluada entre -85% y +5%, dependiendo de los escenarios.

El problema se agrava, además, porque muchos de los países no están cumpliendo hasta ahora ni siquiera estos compromisos (ver figura 20). Quedan fuera de esta norma las Economías en Transición, en las cuales el mero desmantelamiento de las obsoletas instalaciones industriales procedentes de la etapa anterior, consigue que se cumplan con creces los compromisos. Algo similar sucede en el caso de Alemania, como consecuencia de la incorporación de la Alemania del Este, en esta misma situación.

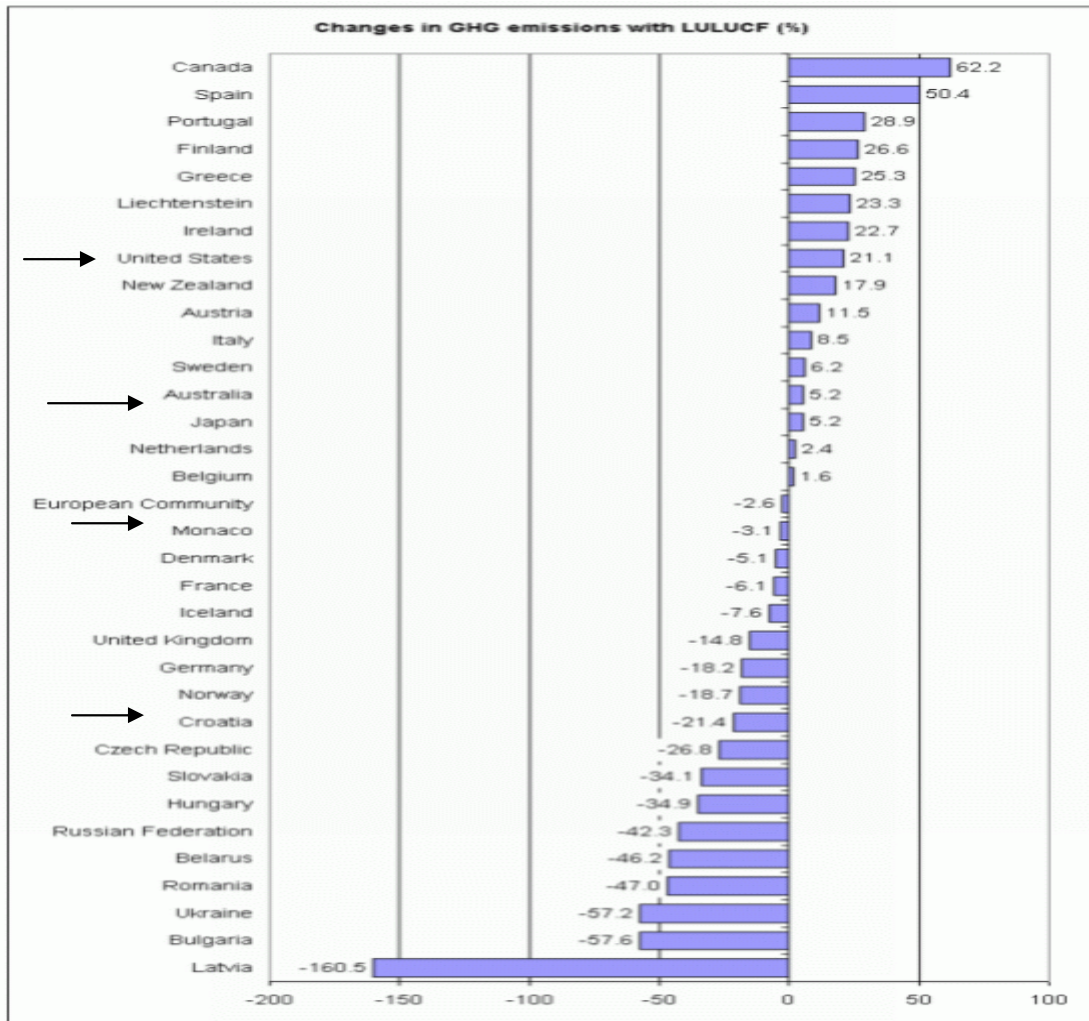
Realmente, la consecución de reducción de emisiones no es fácil, dado que implica cambios profundos en las bases que sustentan la economía de cada país. Conscientes de estas dificultades, los países elaboradores del Protocolo establecieron cuatro mecanismos de flexibilidad para facilitar su cumplimiento:

- El mecanismo de Aplicación Conjunta (AC), que permite que un país desarrollado (países del Anexo 1 del Protocolo) o país inversor pueda implementar proyectos que reduzcan las emisiones de GEI (o mejorar la absorción a través de los sumideros) en otro país del Anexo 1 (país receptor). El país inversor podría usar los resultados de la reducción de emisiones para alcanzar sus objetivos.
- La posibilidad de computación del efecto de sumidero de GEI derivado de las políticas de uso del suelo y, esencialmente, de la política forestal. Es cierto que se establecen algunos límites para la contabilidad de este efecto de sumidero.
- El mecanismo para un desarrollo limpio (MDL), que permite obtener certificados de reducción de emisiones a los países desarrollados que inviertan en proyectos de desarrollo sostenible en países en vías de desarrollo. En este caso también se persigue el objetivo de fomentar el desarrollo (un desarrollo sostenible, desde luego) en los países subdesarrollados. Hay que advertir, no obstante, que las inversiones realizadas hasta ahora sólo en muy escasa medida están beneficiando a los países con menores niveles de desarrollo (África registra menos del 2% de los proyectos aprobados hasta ahora) y se dirigen, por el contrario, hacia los países emergentes y ya con niveles de desarrollo más elevados (China recoge el 41% de los proyectos, India el 14%, Brasil el 14%, Corea el 11% etc.) (ver <http://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>).
- La posibilidad de transferencia de derechos de emisión y de comercio internacional de emisiones. Ello implica que un país del Anexo 1 que tuviera mayor capacidad de

emisión de la emisión real que produce, podría vender sus excedentes de emisión a otros países, también del Anexo 1, con dificultades para cumplir sus compromisos de reducción.

Figura 20. Cambios en las emisiones de GEI de los países del anexo 1 entre 1990 y 2004. (Incluyendo cambios en el uso del suelo).

(Con flechas los países que no han ratificado el Protocolo de Kyoto)



Fuente: www.unfccc.int

Esta última medida, aunque ha sido muy criticada como derivada de una actitud cínica y como mecanismo de escape para los emisores, en realidad es vista por los economistas como un incentivo fundamental para que se pueda cumplir el Protocolo. La fijación de un precio para el carbono parece un requisito indispensable para que haya estímulos suficientes como para invertir en reducción de emisiones.⁶ Ha implicado además dos

⁶ Este tipo de mecanismo ya existe para otros contaminantes y, en cuanto al carbono, ya existe toda una infraestructura de funcionamiento del mercado: bolsa de valores del precio de CO₂, empresas que se dedican a negociar con este producto etc.

exigencias de grandes repercusiones territoriales y geográficas: la asignación de derechos de emisión a los distintos territorios y sectores de actividad y, consecuentemente, la exigencia de elaboración de inventarios de emisiones.

Y es que, efectivamente, la implantación del comercio de emisiones implica la asignación previa de derechos de emisión a los distintos países o comunidades autónomas, muy diferentes en sus comportamientos en este sentido, y que abordan duras negociaciones para obtener una buena posición. También implica la asignación de derechos a los distintos sectores de actividad con responsabilidad en las emisiones⁷. La importancia de conseguir abundantes derechos de emisión para estos sectores es extraordinaria, y las negociaciones en este caso están siendo igual o más duras que en el caso anterior. No hay que olvidar que el cumplimiento de los compromisos de reducción de emisiones sólo se podrá lograr mediante adaptaciones tecnológicas, mediante la compra de derechos de emisión, o mediante el pago de las correspondientes multas, lo cual supone en todos los casos unos costes económicos importantes a los que habrá que hacer frente.

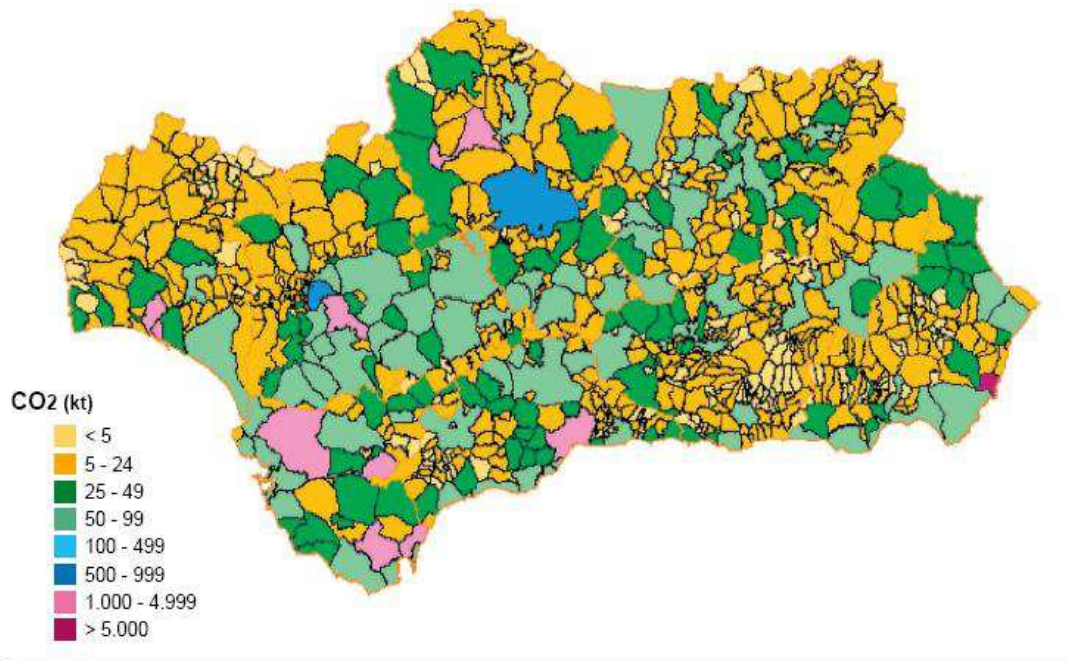
Asociados al comercio de emisiones se han iniciado ya de manera sistemática y con periodicidad anual los inventarios de emisiones en todos los países del mundo (ver http://unfccc.int/ghg_emissions_data/items/3800.php). Ya se hacen para España cada año y se llega incluso hasta la escala municipal, como muestra el mapa de Andalucía que aparece en la figura 21. Y aquí me parece encontrar algunas implicaciones importantísimas para la geografía:

- a) La aparición de nuevas realidades territoriales definidas por esta nueva variable con la que cada vez más nos tendremos que familiarizar. Se dibujan nuevas configuraciones en los mapas, que tendremos que aprender a interpretar y nuevos ámbitos, que hasta ahora habían pasado desapercibidos, se convierten en protagonistas del territorio (véase el caso de Carboneras en Almería, que se individualiza claramente como consecuencia de sus fortísimas emisiones de CO₂ hacia la atmósfera, las más altas de toda Andalucía). Así mismo, importantes consecuencias económicas pueden derivarse de estas configuraciones, como relocalizaciones de actividades para evitar rebasar las asignaciones realizadas y tantas otras.
- b) La importancia de la superficie terrestre como variable en el sistema, porque tanto las emisiones como los sumideros no son sino el reflejo de las actividades de la sociedad y, en el fondo, de sus usos del suelo, de su organización del territorio. Los inventarios de emisiones de GEI hacia la atmósfera, sólo en muy escasa medida se realizan a partir de la medición directa de las emisiones realizadas por las empresas. El sistema habitual de cómputo es la inferencia de las emisiones a partir de las actividades y los usos del suelo existentes en el territorio y de la utilización de factores multiplicadores o coeficientes de emisión aplicables a esas actividades y usos del suelo. En el fondo, su realización lo que exige es un conocimiento lo más detallado posible del territorio y de las estadísticas territoriales, así como un manejo razonable de los algoritmos de emisión y de los sistemas de información geográfica, capaces de tratar y cartografiar esas emisiones; lo que exige en el fondo es Geografía.

⁷ Aunque por razones de orden práctico, de momento sólo se contemplan los seis sectores de actividad que contabilizan la mayor parte de las emisiones y lo hacen a partir de instalaciones fácilmente identificables y localizables en el territorio.

Nuestra obligación como geógrafos y como supuestos conocedores de la información territorial sería la de contribuir a generar esta nueva información que los nuevos problemas requieren a partir de nuestro propio bagaje profesional.

Figura 21. Emisiones de GEI en Andalucía en al año 2003 a escala municipal (Kt de CO₂ equivalente).



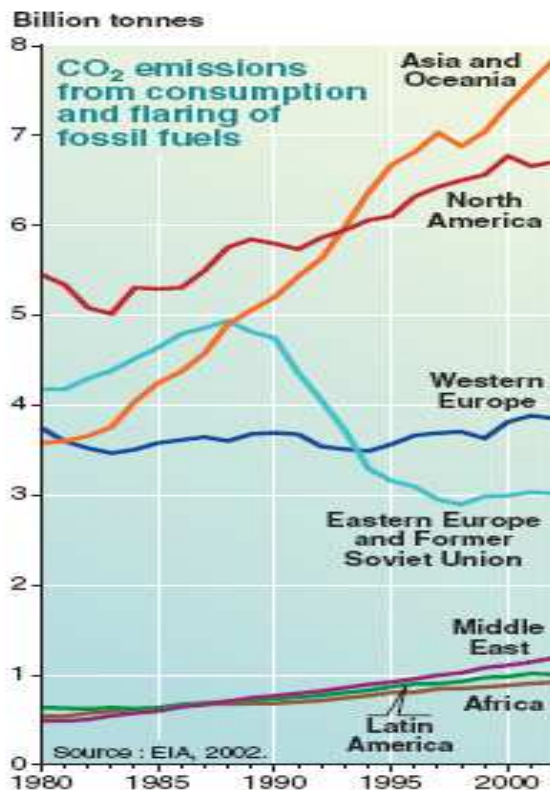
Fuente: Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/>

5.3. El Post-Kyoto.

Pero el Protocolo de Kyoto, con toda la importancia que ha tenido como primer intento de resolución del problema, no ha sido más que un modestísimo aperitivo. Ya en el epígrafe anterior mostrábamos lo insuficiente del esfuerzo realizado frente al necesario para conseguir algún objetivo razonable. El tiempo no hace más que reforzar esta idea, porque en los últimos años se dibujan tendencias emisoras altamente preocupantes (ver figura 22). Es destacable la evolución experimentada por Asia y Oceanía, que se sitúa ya a la cabeza de las emisiones mundiales y que no cesará de crecer, en virtud de su propio crecimiento poblacional y del alto nivel de desarrollo alcanzado por algunos de los países que integran el conjunto, particularmente, China e India. A ello habrá que añadir el crecimiento emisor esperable en los países de la antigua Unión Soviética, cuyo descenso actual es sólo atribuible al desmantelamiento de las industrias obsoletas del régimen anterior, pero que empiezan ya a incorporarse a la economía de libre mercado, con lo que ello implica de aspiraciones al crecimiento económico.

Ante este panorama nadie duda que hay que poner ya en marcha el plan Post-Kyoto, y existen numerosas iniciativas al respecto. Una de las más destacadas es la planteada por el Global Commons Institute (GCI), un instituto dedicado al análisis de aquellos productos, mercancías o bienes de carácter global y público -como es el caso del clima- y que, por estas mismas características, requieren tratamientos especiales (Kaul, Grunberg y Stern, 1999).

Figura 22. La evolución de las emisiones de CO2 por grandes ámbitos (sin cambios en el uso del suelo) (1980-2002).



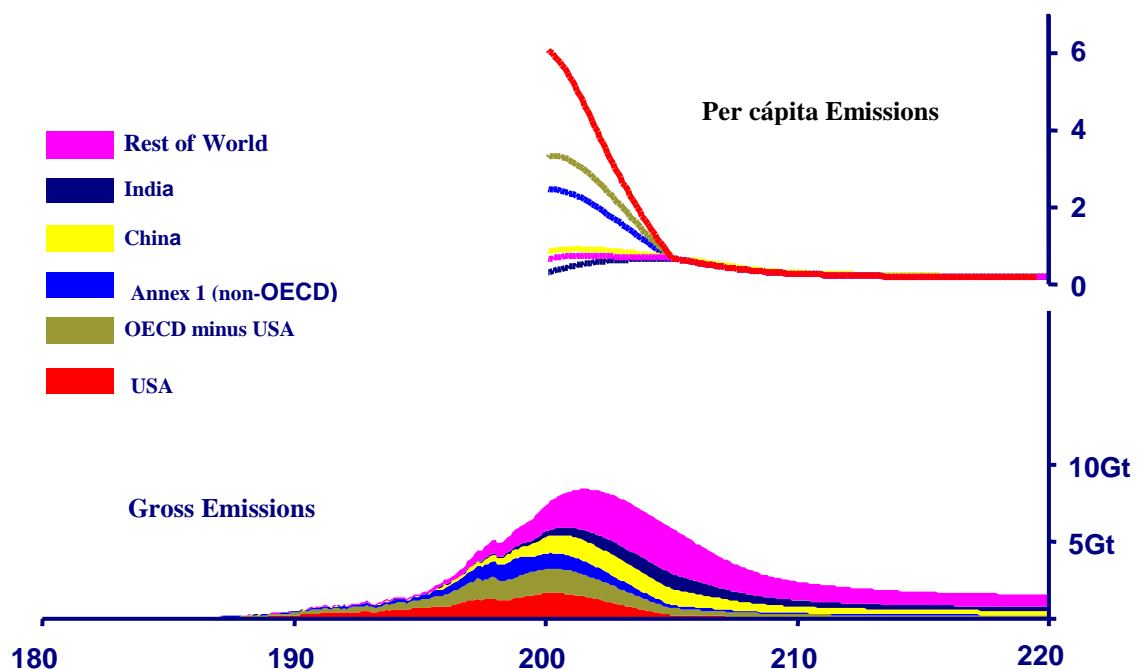
Fuente: http://www.vitalgraphics.net/_documents/clmate_change_update.v15.pdf

Desde este instituto se preconiza que el estado actual de las emisiones de GEI responde a un largo periodo de expansión en las mismas (concretamente, desde la Revolución Industrial), acompañado además de divergencia entre países ricos y pobres, de forma tal que los únicos países emisores serían un conjunto muy reducido de países muy ricos. La solución al problema exigiría una importante contracción, la cual además se tendría que acompañar obligatoriamente de una convergencia entre países en cuanto a las emisiones *per cápita*. Sin esta convergencia, sería imposible lograr el objetivo de la contracción en las emisiones globales. Ello implica que ya la equidad no puede limitarse a ser un regalo de la generosidad de los ricos hacia los pobres, sino que sería una obligación derivada de la propia supervivencia del sistema.

Esta idea central apenas se discute ya, limitándose los debates al nivel en el cual hay que fijar la contracción, al año límite para alcanzar la convergencia o a los procedimientos que habrá que utilizar para alcanzar esos objetivos. El GCI ha desarrollado un modelo que permite verificar las distintas opciones, y en la figura 23

presentamos la consistente en una contracción en 450 ppmv a alcanzar en 2100 y con convergencia de las emisiones *per cápita* en 2050. Lógicamente la convergencia de las emisiones se logra a costa de que los países ricos reduzcan mucho sus valores (hasta los que actualmente tienen países como China o India). Si eso se lleva a cabo, las emisiones globales se estancarían en torno a 2100 y tendrían la composición regional que se observa en la figura 23, acorde con la distribución poblacional y, consecuentemente, más justa que la actual.

Figura 23. Propuesta de Contracción y Convergencia en las emisiones para el año 2050 del Global Commons Institute.



Fuente: <http://www.gci.org.uk/>

En este sentido habría que destacar el hecho de que el cambio climático, no sólo es un tema central de nuestro modelo de desarrollo, sino que, además, está obligando a la sociedad a cuestionarse ese mismo modelo. Probablemente ningún otro fenómeno (ni siquiera la escasez o la limitación de los combustibles fósiles) está teniendo una capacidad similar.

6. CONCLUSIONES.

La conclusión más evidente de estas páginas –y espero haberlo transmitido con claridad- es la importancia que tiene para la sociedad el cambio climático, y no sólo en sus aspectos ambientales o por la amenaza que pueda suponer para la humanidad, sino, además, porque el cambio climático va a ser uno de los ejes fundamentales en torno a los cuales se va a organizar nuestra vida futura. Está en el centro del modelo de desarrollo e incluso consigue ponerlo en cuestión como ningún otro tema lo haya hecho hasta ahora.

Como consecuencia de ello, ningún colectivo profesional podrá permanecer al margen del problema, pero en el caso de la geografía esto sería especialmente grave, porque el cambio climático remite continuamente a saberes, procedimientos y tradiciones de orden estrictamente geográfico.

En primer lugar, dibuja nuevas realidades territoriales, que exigen nuestros análisis. Estas realidades se derivan esencialmente de las variables ligadas a las emisiones de GEI, pero también de las nuevas potencialidades climáticas que se avecinan y del nuevo panorama de recursos y riesgos que cada territorio tendrá que gestionar. Además, el cambio climático remite a las interconexiones clima-sociedad y, más genéricamente, a las interconexiones entre todos los componentes del sistema planetario, lo que refuerza la tradición ecológica de la geografía. Convierte también a la superficie terrestre (a la “geo-grafía”) en una variable de especial relevancia para la sociedad, y ello por un doble motivo: por su condición de artífice del balance de carbono, y por la importancia de las escalas locales y de las variables geográficas para su obtención. Por último, remite a la ordenación del territorio como pieza clave para resolver el problema. Remite, en suma, a todo lo que forma parte de nuestro acervo profesional, del que ahora deberíamos saber sacar partido para aprovechar las múltiples oportunidades profesionales que se nos brindan

En un intento de concreción de las oportunidades profesionales más destacadas, yo apuntaría las siguientes:

- a) En primer lugar, la generación de la nueva información, necesaria para el análisis y la resolución de los nuevos problemas que se nos plantean. Es bien sabido que “a nuevos problemas, nuevas necesidades de información”. En este caso las nuevas informaciones necesarias se derivan esencialmente de los usos del suelo, que son los que permiten establecer las fuentes y sumideros de carbono y, más genéricamente, elaborar los inventarios de emisiones de GEI para los distintos territorios. Además, y dado que la energía es el tema capital de los nuevos tiempos (ahora no sólo por su posible escasez o agotamiento sino por su traducción inmediata a carbono), resulta también fundamental la conversión de actividades y usos del suelo a necesidades energéticas (la cartografía de las necesidades de calefacción o refrigeración de los distintos territorios sería un ejemplo ilustrativo de este tema).
- b) Acercar la información climática existente a las escalas espaciales locales y regionales, que son las requeridas para los adecuados análisis de impactos del clima. El *downscaling* sobre las salidas de los modelos globales de simulación del clima es el arquetipo de este tipo de tareas, pero también lo sería cualquier intento de aproximación de la realidad climática a las escalas locales. En ambos casos lo que se manejan son modelos estadísticos (o de otro tipo) para derivar información climática local a partir de variables climáticas de escalas globales y de variables fisiográficas del territorio. No hay nada que se pueda calificar como más geográfico, siempre que se domine de nuevo la información territorial así como las técnicas estadísticas (esencialmente la estadística espacial), los Sistemas de Información Geográfica y el lenguaje de los modelos capaces de articular toda esta información.
- c) Análisis de los impactos del clima en el nuevo contexto del cambio climático. Forma parte de la más arraigada tradición geográfica – la tradición ecológica - la conexión de las variables naturales y humanas. En este caso es ya urgente el

establecimiento de los impactos que el clima va a generar sobre la sociedad al objeto de diseñar los adecuados planes de adaptación. Cualquier intento en este sentido encontrará ahora financiación siempre que sea operativo, lo que implica que los impactos se fijen con la suficiente precisión y a las escalas espaciales de mayor detalle. El recurso a la modelización será de nuevo imprescindible.

- d) Análisis e interpretación de las nuevas realidades desde una visión territorial. Ello implica analizar las nuevas realidades desde el territorio y, por otro lado, definir las nuevas realidades territoriales, los nuevos territorios que se van a configurar como consecuencia de estas nuevas variables. Tenemos que incorporar el mundo de las emisiones (y las variables relacionadas con ellas, tales como las energéticas, por ejemplo) entre las variables que definirán los territorios en el futuro.
- e) Colaborar activamente en el diseño para los distintos territorios de las medidas de mitigación más adecuadas, que en el fondo, y prescindiendo de las de carácter tecnológico, serán medidas de ordenación del territorio.

Son todas oportunidades que ya están siendo aprovechadas por otros especialistas (físicos, biólogos, ingenieros etc.), los cuales están descubriendo la importancia de la geografía y del territorio. Nosotros lo que tendríamos que hacer es recorrer el camino contrario: desde el territorio, acercarnos a los diferentes temas que hoy preocupan. Para ello, sin embargo, creo que deberíamos reforzar nuestro conocimiento y nuestro manejo de la información territorial en todas sus vertientes (gestión de bases de datos geográficas, análisis espacial y cartográfico, análisis estadísticos etc.) y del lenguaje de la modelización, que es el instrumento fundamental a partir del cual podremos relacionar toda esta información para ponerla eficazmente al servicio de nuestros objetivos.

Sería deseable que los futuros planes de estudio tuvieran en cuenta esta realidad y la incluyeran entre los contenidos de los nuevos perfiles profesionales del geógrafo, incrementando así, además, en el nuevo grado de Geografía ese plus de aplicabilidad que el Espacio Europeo de Educación Superior requiere y que exige también nuestra propia supervivencia como profesionales universitarios.

REFERENCIAS

- Balairón, L (1998): “Escenarios climáticos”, en: Instituto Nacional de Meteorología: *Energía y Cambio Climático*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, pp. 39-57
- Climate Analysis Indicators Tool (CAIT) Version 4.0. (Washington, DC: World Resources Institute, 2007) (<http://cait.wri.org/>)
- International Energy Agency (IEA) (2003): *CO₂ emissions from fuel combustion*, Paris, OCDE
- Escudero Gutiérrez, J(1998): “Cambio climático: El estado de la cuestión”, en: Instituto Nacional de Meteorología: *Energía y Cambio Climático*, Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, pp. 57-79
- European Environmental Agency (EEA) (2004): *Impacts of Europe Changing Climate*, EEA Report nº 2
- IPCC (1997): *The Regional Impacts of Climate Change: Assessment of Vulnerability*, R.T.Watson, M.C.Zinyowera, R.H.Moss (Eds), Cambridge University Press

- IPCC (2005): *Special Report on Carbon Dioxide, Capture and Storage*, Bert Metz, Ogunlade Davidson, Heleen de Coninck, Manuela Loos and Leo Meyer (Eds.) Cambridge University Press
- IPCC (2007)a: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press
- IPCC (2007)b: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press
- IPCC (2007)c: *Climate Change 2007: Mitigation*. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press
- IPCC (2007)d: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press
- Kaul, J., Grunberg, I. y Stern, M. (1999): *Global Public Goods: international cooperation in the 21st century*, Oxford University Press.
- Martín Vide, J.(Coord.) (2007): *Aspectos económicos del cambio climático en España*, Barcelona, Caixa Cataluña
- Del Moral Ituarte, L y Pita López , M.F.(2002): "El papel de los riesgos en las sociedades contemporáneas", en Ayala Carcedo y Olcina Cantos: *Riesgos naturales*, Barcelona, Ariel, pp. 75-88.
- Nakicenovic, N y Swart, R, (2000): *Special Report on Emissions Scenarios*, IPCC 2000, Cambridge University Press.
- Postdam Institute for Climate Research (2004): *Advanced Terrestrial Ecosystem Analysis and Modelling (ATEAM) Project (2001-2004). Final Report*. Disponible en: http://www.pik-potsdam.de/ateam/ateam_final_report_sections_5_to_6.pdf
- Stern, N. (2006): *The Stern Review on the Economics of Climate Change*, Disponible en: http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm
- UNEP/GRID-Arendal *Maps and Graphics Library*. Disponible en: http://maps.grida.no/go/graphic/mitigating_climate_change_cost_in_2050_out_of_gdp.

DIRECCIONES DE INTERNET

- <http://unfccc.int/2860.php> (Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático)
- <http://cait.wri.org/> (Climate Analysis Indicator Tool del World Resources Institute).

- <http://www.ipcc.ch/graphics/gr-climate-changes-2001-wg1.htm> (Sección de gráficos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático).
- <http://www.ipcc.ch/graphics/gr-ar4-wg3.htm> (Sección de gráficos del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático)
- <http://www.ipcc.ch/pdf/presentations/briefing-bonn-2007-05/overview-wg3-report.pdf> (Sección de presentaciones del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático)
- http://www.inm.es/web/izq/noticias/meteoroti/pdf/Escenarios_20070402.pdf (Sección de Escenarios Climáticos para España del Instituto Nacional de Meteorología).
- http://maps.grida.no/go/graphic/sensitivity_adaptability_and_vulnerability (Sección de mapas y gráficos del United Nations Environmental Program (UNEP))
- <http://cdm.unfccc.int/Statistics/index.html>) (Sección de datos del Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático)
- http://unfccc.int/ghg_emissions_data/items/3800.php (Sección de datos del Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático)
- <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/web/> (Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía).
- <http://www.gci.org.uk/> (Global Commons Institute).
- http://en.wikipedia.org/wiki/Image:GHG_per_capita_2000.svg , (Mapa de emisiones de Wikipedia con datos del World Resources Institute).
- http://www.vitalgraphics.net/documents/clmate_change_update.v15.pdf (Sección de gráficos del United Nations Environmental Program (UNEP))
- http://www.pik-potsdam.de/ateam/ateam_final_report_sections_5_to_6.pdf (Postdam Institute for Climate Research).
- http://maps.grida.no/go/graphic/mitigating_climate_change_cost_in_2050_out_of_gdp. (Sección de mapas y gráficos del United Nations Environmental Program (UNEP))
- <http://www.wri.org> (World Resources institute).
- http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm (Informe Stern sobre Impactos Económicos del Cambio Climático).