

EL CAMBIO CLIMÁTICO

POR AMADEO URIEL



El cambio climático es un fenómeno del que se habla con frecuencia y en torno al cual, a veces, se suscitan controversias, que casi siempre obedecen a intereses o modelos sociales enfrentados. A lo largo de este breve artículo me gustaría aclarar algunas de las dudas más frecuentes y dejar claros tres aspectos muy importantes:

- El cambio climático es un hecho real, del cual tenemos evidencias.
- Existen grandes incertidumbres cuando se hacen proyecciones de futuro.
- No todos los fenómenos meteorológicos o climáticos, que se dan con frecuencia y que se salen de lo "normal", son achacables al cambio climático.

TIEMPO, CLIMA, VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Por "tiempo" entendemos las condiciones atmosféricas que se están produciendo en un momento y lugar dados (esta tarde en Zaragoza el tiempo era lluvioso, soleado,...). El término "clima" se refiere a las condiciones medias de los distintos parámetros meteorológicos, en un punto o zona terrestre, a lo largo de un período de tiempo más o menos largo (las series climáticas suelen normalizarse tomando períodos de 30 años) y como consecuencia podremos afirmar que, en una determinada ciudad (o región), el clima es marítimo templado, mientras que en otra puede ser continental extremo.

El clima de una zona no es algo que permanece inalterado a lo largo del tiempo, sino que presenta una gran variabilidad natural (fenómenos puntuales en el tiempo) y, también, unas tendencias (que para ser observadas requiere hacer un seguimiento de las series climáticas y, cuanto más largo, mejor). Por tanto, el que un

año sea anormalmente cálido, o una primavera muy seca, no puede ser atribuido de inmediato al fenómeno del cambio climático, ya que estas anomalías pueden ser debidas a la citada variabilidad natural y no se deben confundir con las tendencias.

Por ejemplo, en la figura está representada la evolución de las temperaturas medias anuales en la ciudad de Zaragoza (desde 1869 hasta el 2010). Podemos observar la variabilidad del clima con años muy fríos, como 1909, o muy cálidos, como el 2006 y el 2009, y, calculando la media móvil a cinco años (línea roja gruesa), podemos apreciar una clara tendencia al calentamiento desde mitad de la década de los años setenta del siglo pasado hasta la actualidad.

En cambio, si consideramos las precipitaciones anuales de la ciudad de Zaragoza desde 1858 hasta la actualidad (ver figura), podemos encontrarnos con años muy secos y otros muy lluviosos, moviéndonos entre los mínimos de 1894 y 1912 y el máximo de 1959. En este caso, podemos apreciar la gran variabilidad natural, intuir la presencia de ciclos de 8 a 12 años y de otras duraciones incluso, pero lo que no vemos es una tendencia clara que podamos relacionar con el cambio climático.

Tal como veremos más adelante, existen causas naturales que explican estos cambios y tendencias, pero el término "cambio climático" se reserva para aquellas variaciones que solo son explicables como consecuencia de las actividades humanas (origen antropogénico).

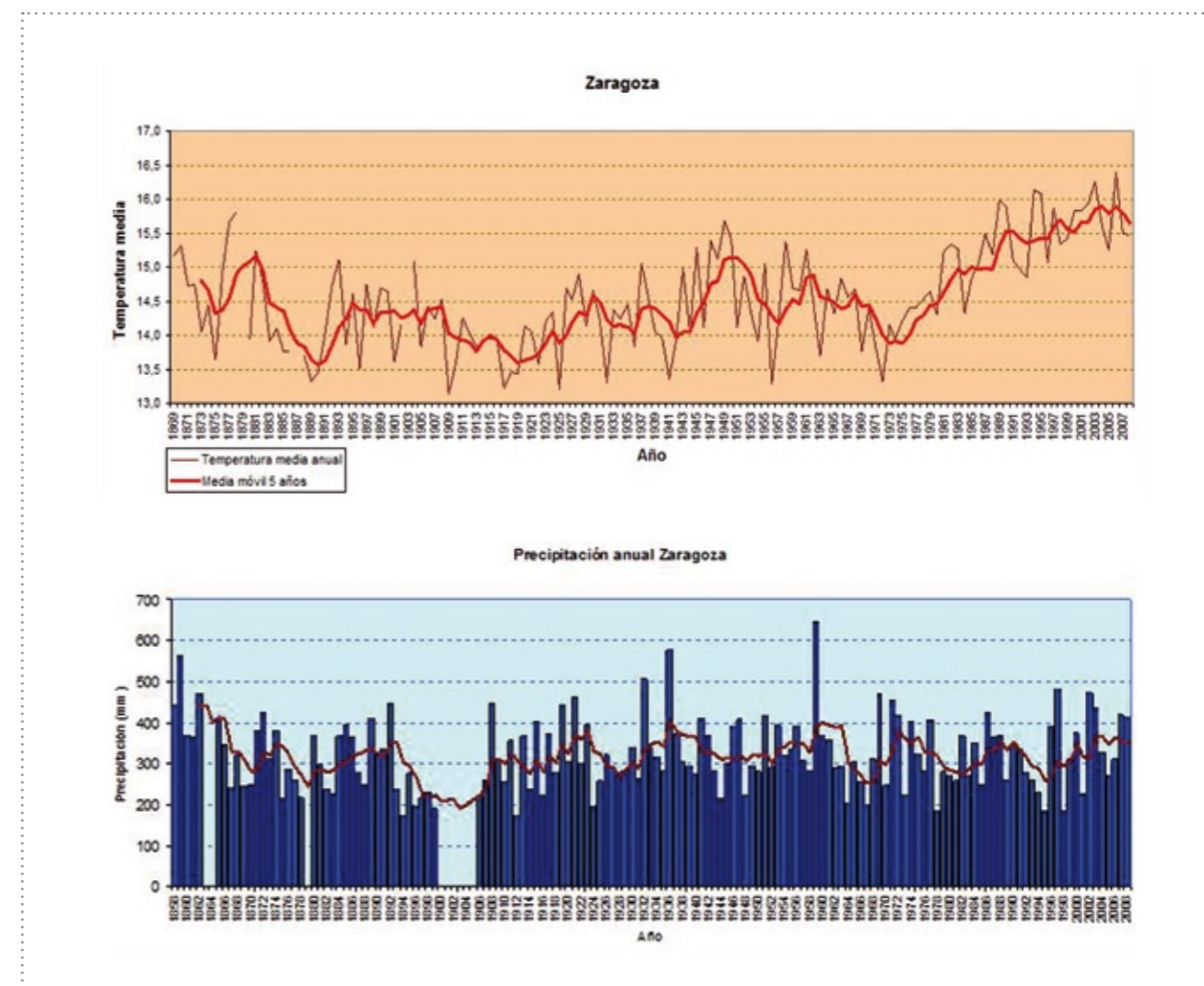
BALANCE RADIATIVO Y EFECTO INVERNADERO

El efecto invernadero es necesario para que en nuestro planeta se den las condiciones ambientales que conocemos actualmente. El sol se comporta como un cuerpo negro cuya tem-

peratura superficial fuera de 6000 K. De acuerdo con la Ley de Planck, el máximo de energía lo emite en forma de radiación de onda corta. Al llegar a la atmósfera, parte de esta radiación es reflejada, absorbida o dispersada, pero la mayor proporción alcanza el suelo (la atmósfera es casi transparente a la radiación de onda corta). Al alcanzar el suelo, nuevamente parte de la radiación incidente será reflejada, pero el resto se absorbe y calienta la Tierra, alcanzado una temperatura media de unos 300 K. Ahora la Tierra, como cuerpo negro, emiti-

rá el máximo de energía hacia el espacio en forma de radiación de onda larga, la cual es ampliamente absorbida por los denominados gases de efecto invernadero, calentándose la atmósfera, principalmente, en sus capas bajas (la atmósfera es bastante opaca a la radiación de onda larga).

La mayor parte de estos gases de efecto invernadero son componentes naturales de la atmósfera y juegan un papel muy importante en el balance radiativo atmosférico, a pesar



Serie histórica de temperaturas medias anuales (°C) de la ciudad de Zaragoza entre 1869 y 2010 (arriba). Serie histórica de precipitaciones anuales (mm) de la ciudad de Zaragoza entre 1858 y 2010 (abajo).

*AEMET

de que sus concentraciones son muy bajas. En la tabla se indica concentraciones, grado de contribución al forzamiento radiativo y foco antropogénico.

Es típico de los escépticos efectuar tres tipos de comentarios acerca de esto:

- "Los gases de efecto invernadero son un componente natural de nuestra atmósfera". Ciertamente, salvo en el último caso de la tabla, pero solamente son "buenos" cuando están presentes en concentraciones bajísimas. El problema es que con las actividades humanas está aumentando apreciablemente su concentración.
- "En otros momentos de la historia de nuestro planeta, algunos existían en concentra-

ciones más altas". Ciertamente, pero entonces no había seres humanos sobre la Tierra y no hubieran podido sobrevivir en aquellas condiciones.

- "En otros momentos de la historia de la humanidad se produjeron variaciones notables en las concentraciones de CO₂". Ciertamente, pero el problema es que no tuvieron lugar con la rapidez e intensidad con que se están produciendo ahora.

FORZAMIENTO NATURAL Y ANTROPOGÉNICO DEL BALANCE RADIATIVO

Existen varios factores naturales que explican el origen y variaciones del clima de la Tierra a lo largo del tiempo:

GAS	CONCENTRACIÓN %	CONTRIBUCIÓN AL FORZAMIENTO RADIATIVO	ORIGEN
CO ₂	0,036	60	Combustiones y respiración de los seres vivos. Tiene como sumideros los océanos y la fotosíntesis.
CH ₄	0,0002	15	Se libera en los océanos y grandes superficies de agua, incendios, actividades agrarias y ganaderas y vertederos.
N ₂ O	0,00003	5	Emitido por los suelos, océanos y volcanes, quema de combustibles fósiles y aplicación de fertilizantes.
O ₃ HFCs PFCs SF ₆	0,000005	20	De origen totalmente artificial (salvo el ozono), proceden de los sistemas de refrigeración, propelentes de aerosoles, producción de aluminio y aislantes eléctricos.

Gases de efecto invernadero en la atmósfera.

- La deriva continental y el movimiento de las placas tectónicas.
- La distribución de las corrientes marinas, que son un formidable mecanismo de transporte de calor a nivel planetario.
- Los movimientos tectónicos, que dan lugar a que algunas zonas de la corteza terrestre se hundan o se eleven y que, actualmente, están dando lugar al aumento de extensión de algunos desiertos asiáticos.
- La atmósfera es una máquina que funciona alimentada por la energía solar, las variaciones en la actividad solar tienen una repercusión casi inmediata sobre el clima.
- La variación de los parámetros orbitales de nuestro planeta (elongación, precesión, nutación), dan lugar a los ciclos de glaciaciones y períodos interglaciares.
- El estado de la superficie terrestre (extensión de hielos, zonas cubiertas de vegetación, etc). Esto repercute sobre el albedo (fracción de energía incidente que la Tierra refleja al espacio) y por tanto sobre el balance radiativo.
- Las grandes erupciones volcánicas e incendios forestales inyectan en la atmósfera toneladas de partículas sólidas (aerosoles) que modifican el citado balance radiativo.

Por otro lado, y como ya hemos apuntado en parte anteriormente, el hombre, con sus actividades, contribuye a modificar el balance (forzamiento antropogénico) de las siguientes maneras:

- Emitiendo gases y partículas sólidas a la atmósfera, como consecuencia de la quema de combustibles fósiles, actividades industriales, agrícolas y ganaderas.

El cambio climático

- Modificando el uso de suelos y variando, por tanto, el albedo superficial.
- Afectando a los posibles sumideros de gases de efecto invernadero (tala de árboles, contaminación del mar...).

¿PUEDE LA HUMANIDAD SOBREVIVIR A LAS CRISIS CLIMÁTICAS?

El que el clima sea “bueno” o “malo” es algo muy subjetivo y depende de para qué y para quién. En el pasado, nuestro planeta soportaba condiciones mucho más extremas de temperatura, concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, etc. y, sin embargo, como afirman los escépticos, existía la “vida”. El problema es que esas condiciones no eran apropiadas para albergar una “forma de vida” como nosotros.

Por otro lado, debemos tener en cuenta tanto nuestra **capacidad de adaptación** a condiciones extremas, que tiene unos límites que no se pueden sobrepasar, como el **tiempo de adaptación** requerido (cuanto más rápido sea el cambio peor lo tendremos), ya que, si bien la especie podría sobrevivir como tal, tal vez estuviera amenazado nuestro estilo de vida actual o la civilización, tal como hoy la concebimos.

Históricamente, la humanidad ha dejado patente su incapacidad para afrontar las grandes crisis climáticas, que en ocasiones supusieron la pérdida de millones de vidas humanas o la vuelta atrás en cientos o miles de años de desarrollo en las condiciones de vida, la cultura, el arte y la tecnología humanas. Por ejemplo, durante el período cálido/seco medieval (la temperatura media fue entre 1°C o 1.5°C superior a la actual, en la mayor parte del hemisferio norte), entre el año 1000 y 1200 de nuestra era, las sequías (unidas en la mayoría de los casos a un crecimiento descontrolado previo de la población) duraron no años,

como ahora, sino décadas que, en ocasiones, alcanzaron el medio siglo, lo cual llevó a que varias civilizaciones enteras colapsaran o decayeran: los mayas en el sur de Méjico y Guatemala, los señoríos de Chimor y otros pueblos Incas en Perú, los jemeres en Camboya,...y a que proliferaran las hambrunas en la India, China y nordeste de África.

¿EL CAMBIO CLIMÁTICO ES CONSTATABLE? ¿ES IGUAL EN TODAS LAS ZONAS DEL PLANETA?

Se ha podido constatar una clara tendencia, a nivel global, tanto en el aumento de las temperaturas medias, como del nivel del mar, así como una disminución en la extensión de las zonas cubiertas por nieves perpetuas. A esto se podrían añadir más indicadores físicos (variaciones en la escorrentía de ríos, extensiones de lagos, etc) o biológicos (migración de especies de aguas y zonas cálidas hacia latitudes cada vez más altas, alteraciones en los pisos de vegetación en las zonas de montaña, etc...).

Una de las pruebas que más me gusta, acerca de la bondad de los modelos climáticos con que contamos y del forzamiento antropogénico, es la siguiente:

Si nos fijamos en las gráficas de cualquiera de los cuadros de la figura, vemos una línea negra que corresponde a la evolución real de las temperaturas medias anuales medidas. La banda azul es la proyección realizada por los modelos climáticos, teniendo en cuenta únicamente los forzamientos naturales (variación de parámetros orbitales, actividad solar y grandes erupciones volcánicas), representa bien la evolución del clima en tiempos pasados pero no así

“La atmósfera es una máquina que funciona alimentada por la energía solar.”

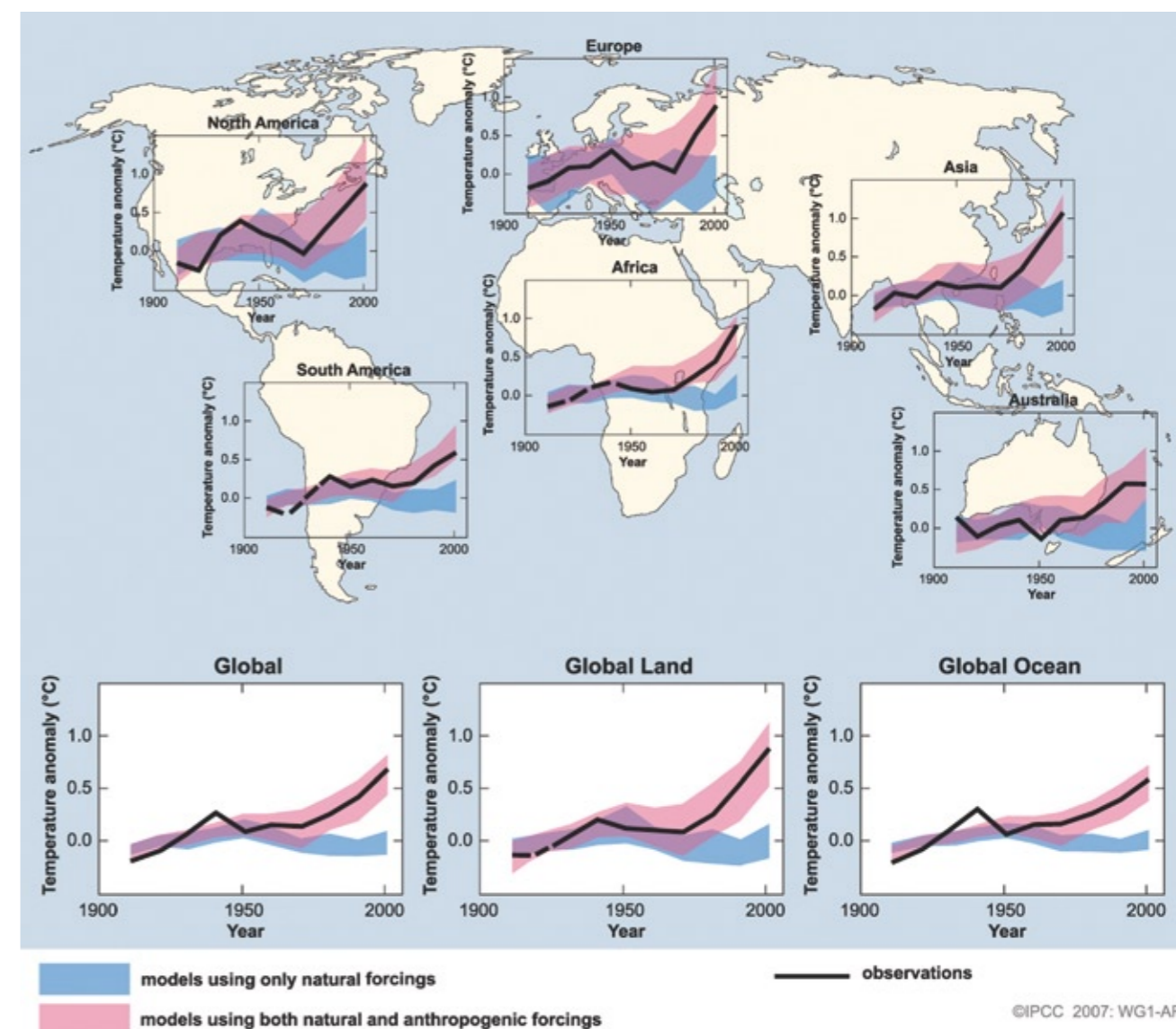
durante las últimas décadas. La banda rosa representa la evolución climática prevista por los modelos cuando, además del forzamiento natural, introducimos el antropogénico (emisiones de gases de efecto invernadero básicamente). Queda patente que las tendencias observadas se explican mejor en el segundo caso.

Por otro lado, podemos comprobar que las tendencias no son iguales a nivel global, si consideramos las zonas oceánicas o tierra adentro. Continente por continente o localidad por

localidad (si lo hiciéramos con más detalle), comprobamos que las tendencias dependen mucho del grado de continentalidad y de la altitud. Así, en las zonas marítimas la pendiente de la tendencia de la temperatura es menor.

¿HACIA DÓNDE VAMOS?

El futuro del clima de nuestro planeta dependerá, en gran medida, de lo que los gobiernos y ciudadanos pensemos hacer. Los científicos, a la hora de hacer las proyecciones climáticas,



Cambio experimentado por la temperatura a nivel mundial y continental. Informe del IPCC 2007. OMM.

El cambio climático

trabajan actualmente con varios modelos simultáneamente (proyecciones multimodelo) y sobre diversos escenarios de emisiones (B1, A1T, B2, A1B, A2, A1FI). Estos escenarios se configuran considerando diversos factores:

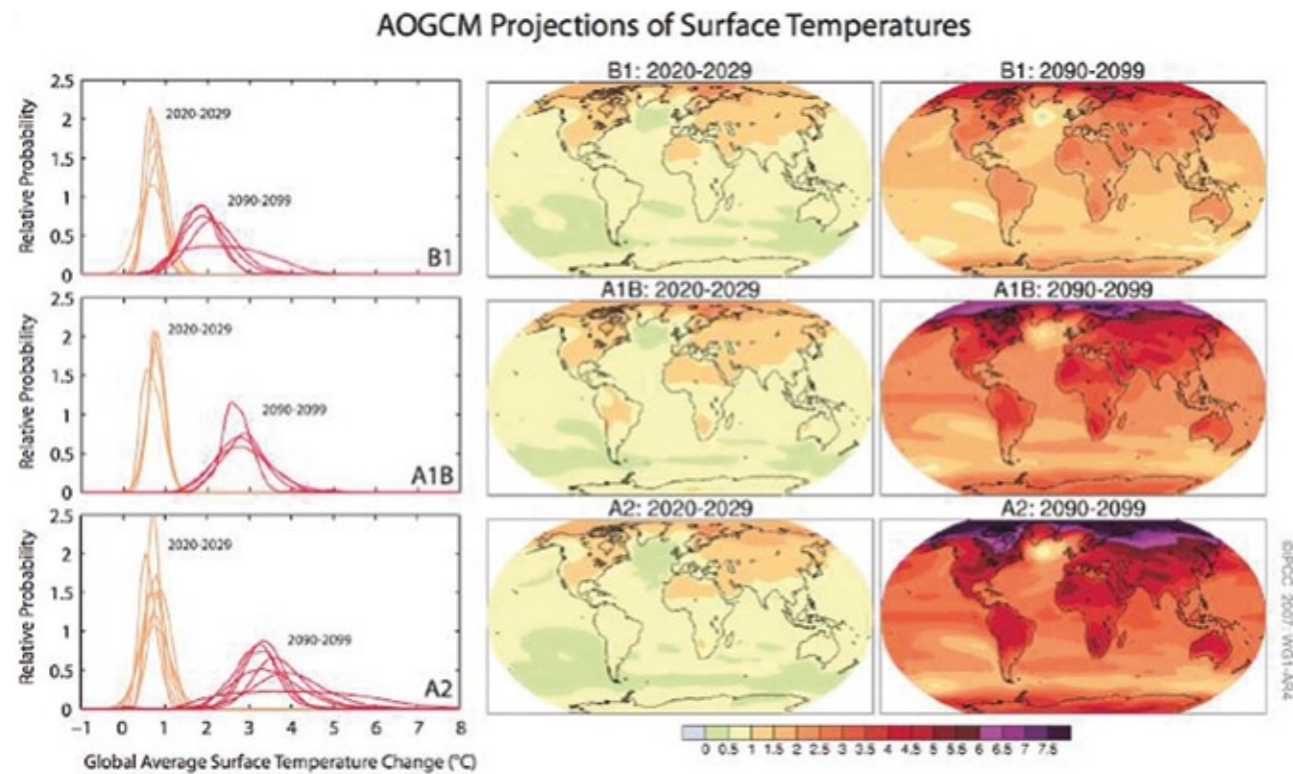
- Crecimiento ilimitado de la población, mantenimiento en un nivel dado o reducción.
- Modelo energético basado en consumo de combustibles fósiles, energías alternativas o mixto.

“En el caso de la evolución prevista de las temperaturas, hay una tendencia clara al aumento de las mismas, tanto mayor cuanto menos respetuoso con el medio ambiente sea el escenario considerado.”

- Evolución mundial hacia la búsqueda de soluciones locales o globales.
- Modelos de desarrollos tecnológicos e industriales.

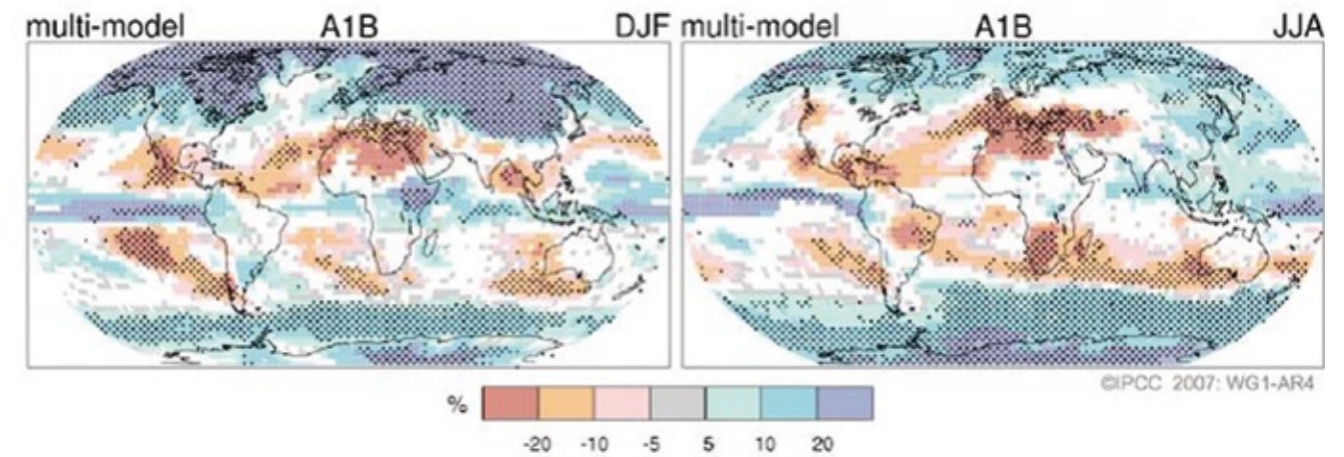
En el caso de la evolución prevista de las temperaturas, si bien hay diferencias según el modelo climático y escenario que consideremos, hay una tendencia clara al aumento de las mismas, tanto mayor cuanto menos respetuoso con el medio ambiente sea el escenario considerado.

En la figura tenemos, para tres escenarios (el B1 es el más “ecológico”), las proyecciones de temperatura previstas para el comienzo y final del siglo presente, promediadas para varios modelos y tomando como referencia el período 1980-1999.



Proyecciones del calentamiento superficial, según diversos escenarios, obtenidas de un modelo de circulación general atmósfera-océano. Informe del IPCC 2007. OMM.

Projected Patterns of Precipitation Changes



Proyecciones multimodelo de las pautas de cambio de las precipitaciones. Informe del IPCC 2007. OMM.

En el caso de las precipitaciones, el desacuerdo entre los modelos es mayor y, además, depende de las zonas del planeta a considerar. Así, en la figura tenemos los cambios esperados a finales de este siglo, expresados en tanto por ciento, respecto al período 1980-1999, utilizando varios modelos y basadas en un escenario de tipo intermedio A1B, para los períodos diciembre-febrero (izquierda) y junio-agosto (derecha). Las zonas punteadas representan las áreas donde más de un 90% de los modelos concuerdan con el signo del cambio y las que están en blanco donde más de un 66% de los modelos coinciden. Llama la atención, en el caso del área mediterránea de la Península que, tanto en invierno como en verano, se augura un descenso en las pautas de precipitaciones, más certero y acusado en la época estival.

Amadeo Uriel (en colaboración con Juan Carlos Tudela)
Agencia Estatal de Meteorología de Aragón

BIBLIOGRAFÍA

- Informe del IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) del 2007. OMM (Organización Meteorológica Mundial).
- El gran calentamiento. Brian Fagan. Editorial Gedisa, 2009.
- Climate Change: The Point of No Return. Mojib Latif. The sustainability Project, Haus Publishing., London, 2009.
- -olefín n° 33 (julio de 2011) de la AME (Asociación Meteorológica Española). Ernesto Rodríguez Camino y Francisco Pérez Puebla.