

ESTIMACIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA LA REGIÓN ESPAÑOLA

ANTONIO RUIZ DE ELVIRA
Universidad de Alcalá de Henares

En el marco de este seminario sobre El Agua, Presente y Futuro, nos queremos preocupar por un aspecto que parece importante: La precipitación.

Es preciso indicar brevemente algunos aspectos generales sobre la precipitación, aunque no sea más que para centrar la cuestión.

La precipitación se produce cuando el vapor de agua de la atmósfera condensa (sobre núcleos higroscópicos), debido a su enfriamiento.

Aunque existen muchas formas de producirse este enfriamiento, la más general ocurre cuando el aire asciende. Al ascender, baja su presión, y de acuerdo con la ley de los gases perfectos, debe bajar también su temperatura.

De esta forma, llueve cuando el aire sube, y el tiempo es seco cuando baja. Ampliemos esto. La atmósfera está, por lo general, saturada de vapor de agua. En particular, hay más agua precipitable sobre España en verano que en invierno, y más agua precipitable sobre el Sahara en verano que sobre la Europa nórdica tanto en verano como en invierno (Figura 1). El hecho de la precipitación no depende de la humedad del aire, sino de su movimiento.

El aire sube en el ecuador, debido al calentamiento de la superficie del mar. Al llegar al límite superior de la atmósfera, el aire se desplaza hacia el polo.

El desplazamiento en dirección polar sigue hasta encontrar la primera corriente en chorro.

Estas corrientes en chorro son una de las características esenciales del movimiento atmosférico, y controlan de forma determinante el clima del planeta.

El hecho de que la Tierra gira, y de que la temperatura del aire es menor cuanto más al norte o al sur del ecuador, implica que en ciertas regiones del planeta el aire se acelera de oeste a este, o a la inversa, y hacia arriba, y al acelerarse se concentra en un chorro muy rápido y potente de aire.

Volvamos atrás. El aire que subía desde el mar y se dirigía hacia el polo, encuentra en su camino el chorro y se ve obligado a bajar. Al bajar se calienta y se seca.

La latitud en la que encuentra el primer chorro es alrededor de los 30°N en el hemisferio norte. Esta es la latitud de los desiertos: Sahara, Árabe, Gobi, etc.

El siguiente chorro se encuentra alrededor de los 50°N. Pero en estas latitudes el aire que sube se desplaza tanto hacia el norte como hacia el sur.

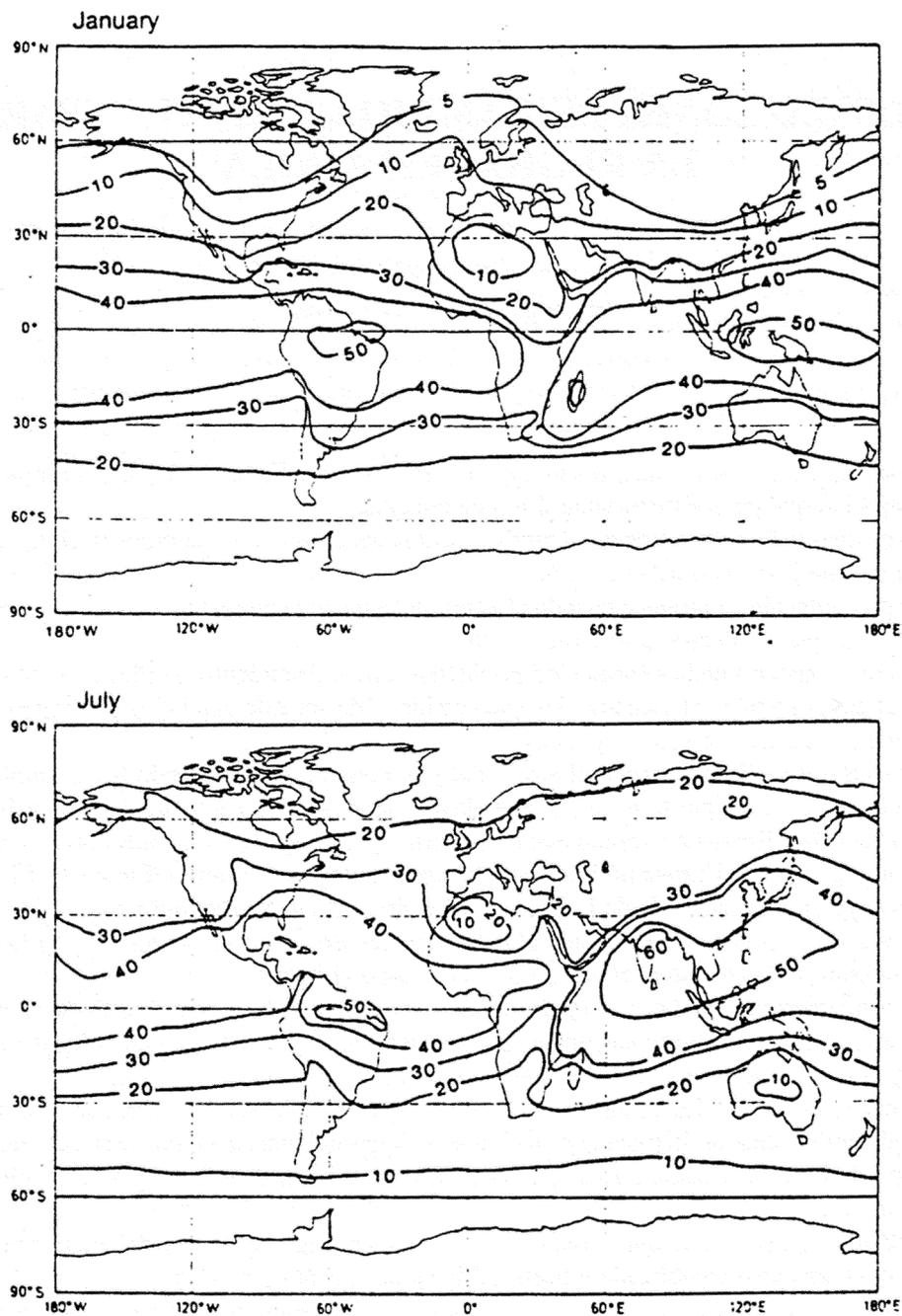


Figura 1. Contenido de Agua Precipitable (CAP) en mm.

La secuencia de diferentes sentidos de circulación y las oscilaciones del chorro producen la secuencia de anticiclones y borrascas que traen la lluvia a España mediante frentes procedentes del oeste, o gotas frías al entrar aire frío por el borde oriental de los anticiclones de otoño.

Una imagen válida del sistema sería la de una medusa contrayéndose y expandiéndose en ondas irregulares. Las oscilaciones son muy irregulares, tanto porque hay muchas superpuestas, como porque el sistema es no lineal, y por tanto caótico.

Las oscilaciones tienen múltiples escalas: diarias, semanales (la secuencia de borrascas que mantienen este año la costa cantábrica en estado de alerta con olas que no han bajado de los tres metros desde el 19 de Diciembre), estacionales, y en escalas de tiempo del orden de los 13 años (las secuencias de sequía y mejora que se observan bastante bien en la Meseta).

Pues bien, tanto las posiciones medias de los chorros como sus oscilaciones en torno a esas medias dependen crucialmente de la distribución de temperaturas en el globo.

La temperatura de la superficie de la Tierra es un producto de la capa de gases traza presentes en la atmósfera: Podemos vivir aquí y ahora porque hay vapor de agua y CO_2 en pequeñas cantidades en el aire.

Esto se conoce, algo impropriadamente, como efecto invernadero. La temperatura media de la Tierra, dada su distancia al Sol, debería ser de 18°C bajo cero. La presencia de estos dos gases produce una retención de radiación infrarroja, que obliga a la Tierra a subir su temperatura hasta unos 15°C sobre cero en la actualidad.

La atmósfera está saturada de vapor de agua. Eso quiere decir que los cambios de la temperatura superficial se deben a otras cuatro causas importantes:

La variación de la intensidad de la radiación solar, el área de la superficie que refleja esta radiación, es decir, el hielo, la circulación oceánica y la cantidad de CO_2 y gases equivalentes en la atmósfera.

De estas cuatro causas, la primera escapa no sólo a nuestro control, sino a nuestro análisis: Si difícil es entender el funcionamiento de los fluidos que rodean a la Tierra, mucho más lo es entender el fluido cargado del Sol, que ni siquiera podemos medir.

Por lo tanto, aún siendo la causa básica, la debemos dejar de lado en nuestras consideraciones.

La extensión de la capa de hielo es consecuencia de muchos factores, entre otros de la subida y bajada de temperatura superficial, y como he dicho, es causa también. Es lo que llamamos un factor de realimentación positiva.

Pero aún siendo más fácil de analizar que el Sol, es igualmente difícil de controlar, al menos en la actualidad.

La circulación oceánica puede producir cambios drásticos en la temperatura del planeta. La apertura del estrecho de Drake, entre Argentina y la Antártida, en épocas geológicas, produjo un cambio substancial del clima de la Tierra.

Pero sus escalas de tiempo son muy grandes, entre trescientos y mil años.

Nos queda así el cambio en la concentración del resto de los gases traza, tanto carbónico como metano, principalmente. Durante largas épocas históricas, no geológicas, la concentración de estos dos gases se ha mantenido constante. La producción de CO_2 se compensaba por su absorción por medio de las algas marinas y en menor medida, por los bosques tropicales.

La cantidad de metano emitida, principalmente desde los pantanos y a partir de la digestión del ganado vacuno era reducida y esencialmente constante.

Pero desde la revolución industrial, la cantidad de CO₂ emitida aumenta exponencialmente de año en año. El cambio en la alimentación, debido a un incremento en la riqueza media del planeta, ha producido un incremento muy notable de la cantidad de ganado vacuno, y de la generación de metano.

El desarrollo producido por el incremento desmedido de la población ha originado la tala de bosques.

Tenemos así una emisión elevada de gases traza y una disminución de los elementos que los absorben. La cantidad de algas que pueden absorber carbónico en el océano depende de la cantidad de fósforo en la superficie. Esta cantidad es limitada. El resultado de todo esto es que la concentración de estos gases sube, no de forma exponencial como su generación, pero sí de forma lineal.

¿Cual es el efecto del aumento de concentración de gases traza?

Las moléculas de estos gases tienen el tamaño y la configuración adecuadas como para atrapar la radiación infrarroja emitida por la superficie en la escala de temperatura entre 0° y 50 grados centígrados. La radiación atrapada vuelve a la superficie al cabo de un cierto tiempo. Es como si pusiéramos placas solares repartidas regularmente en el cielo.

Aumentar la concentración de gases significa aumentar el número de estas estufas por unidad de área: Estamos calentando la Tierra.

¿Hay alguna evidencia de que esto es así? Porque hay dudas, discusiones, controversia.

No tenemos, aún, ninguna prueba firme. Las medidas están sometidas a error. Los modelos no son perfectos. Ignoramos aún como funcionan muchos procesos.

Pero así y todo, estamos relativamente seguros de esta subida. Primeramente, está basada en leyes físicas comprobadas exhaustivamente. Sabemos, sin duda alguna, como se absorbe radiación, en que cantidad, y como depende la absorción de radiación de la concentración.

Ya Arrhenius, a principios de siglo, advirtió del problema mucho antes de que se detectara.

Se han llevado a cabo estudios muy completos. Los más detallados se han realizado en la universidad de East Anglia. Se han repasado los registros de los barcos. Los barcos llevan más de cien años midiendo diariamente la temperatura de las aguas por donde navegan, y anotándolas en los libros de derrota. Estos registros tienen errores, diferencias en la forma de medir, en los termómetros empleados, en otros muchos factores. Pero la cantidad de medidas es tan grande que se puede tener confianza en el resultado final. Este está indicado en la figura 2. Las temperaturas del agua del mar llevan subiendo, con altibajos, desde 1860. El océano es un integrador muy bueno. La capacidad calorífica del agua es muy alta, y, sobre todo en el hemisferio sur, hay mucha agua.

El océano tarda mucho en calentarse, pero una vez caliente, también tarda mucho en enfriarse.

Si miramos más cerca, podemos ver que la extensión de los glaciares pirenaicos se ha reducido de forma constante a lo largo del siglo. En Alaska y Canadá, la línea de vegetación sube hacia el norte algunos centenares de metros al año.

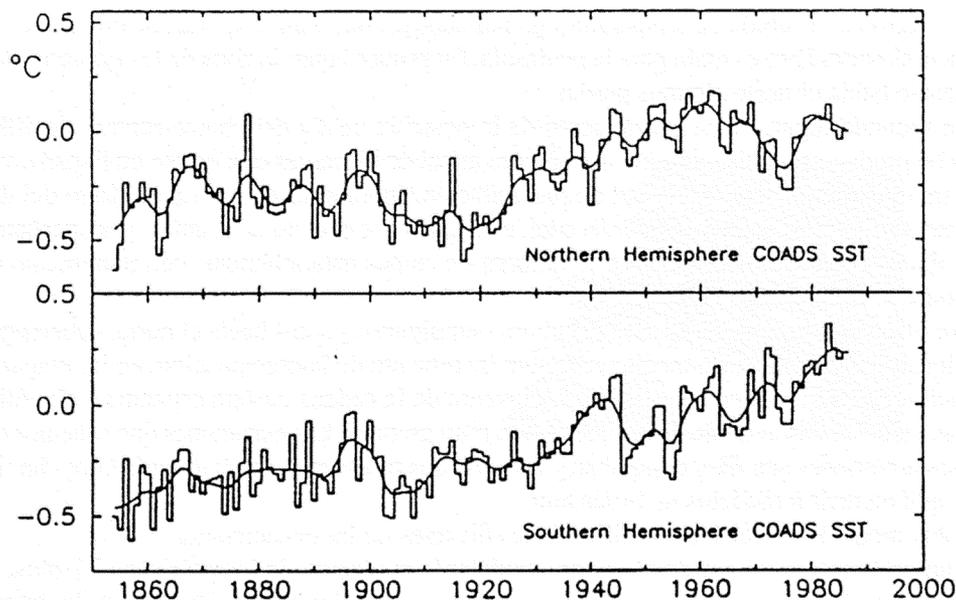


Figura 2. Evolución de las temperaturas medias del mar

Tomemos, pues, como hipótesis plausible que la temperatura de la superficie está subiendo. Lo más razonable es suponer que seguirá subiendo. Los esfuerzos por reducir la emisión de gases serán, en el caso más optimista, de lenta consecución, y en el caso más realista, nulos. El ser humano necesita energía barata y de baja tecnología. La energía solar es, de momento cara, poco flexible, y precisa de una tecnología media a nivel local de usuario. La madera y el petróleo son, o bien disponibles localmente, o bien fácilmente transportables, y la tecnología para su uso, por lo antigua, está asumida en toda la Tierra. Un cambio en la forma de producción de energía llevará unos cien años, en caso de que se produzca. Debemos pues contar con una subida de concentración de gases traza y de temperatura durante los próximos cien años.

Pero, ¿Qué efecto tiene la subida de temperatura media de la superficie?

Y ¿Por qué nos debe preocupar aquí en España?

Sabemos que las zonas más calientes del planeta no suben de 45-50 grados centígrados. El mar no puede aumentar su temperatura en el ecuador. Sencillamente, si recibe más radiación, se evapora más agua. Pero esto no es así en las zonas frías. En las regiones polares puede subir la temperatura en un intervalo muy amplio y sin ningún problema. El hielo puede pasar de -20°C a -10°C sin fundirse, y el agua de los mares circumpolares puede subir de 0°C a $7-8^{\circ}\text{C}$ sin aumentar la evaporación.

La subida de temperatura se debe producir esencialmente en las zonas frías del planeta. Pero recordemos el comienzo de la exposición: Las zonas de precipitación están controladas por la posición de los chorros y esta posición depende de la diferencia de temperatura entre el ecuador y las regiones adyacentes, entre la temperatura de las zonas templadas y la del polo.

El efecto de la subida de temperatura global debe producir un desplazamiento de los chorros hacia el norte. Esto es malo para la península. En primer lugar, la zona de los desiertos debe desplazarse hacia el norte algunos grados.

En segundo lugar, un desplazamiento de la posición media del chorro central, de 50N a 55N debe producir una disminución del número anual de borrascas que entren en España, y de esta forma disminuir la probabilidad de precipitación. Ignoramos cual sería el efecto del desplazamiento sobre la oscilación interdecadal, es decir sobre el ciclo de sequías, y sospechamos que se debe producir un aumento en el número de etapas anticiclónicas, con incremento del número de gotas frías en otoño.

Por otro lado, el desplazamiento del chorro sur algunos grados hacia el norte, debería producir, localmente, en la costa mediterránea, un incremento de la precipitación, en las etapas de circulación de aire en dirección oeste, a barlovento de la cadena costera española y del Atlas.

Las incertidumbres sobre estos efectos son muy grandes. Las ecuaciones que sabemos que rigen los fenómenos son muy complejas, y no podemos resolverlas en su totalidad hoy día. Tenemos que recurrir a modelos de ordenador.

Estos modelos resuelven simplificaciones diversas de las ecuaciones.

Aún así emplean un par de años para modelar la evolución de los próximos 70 años. Los resultados del mejor modelo existente en la actualidad, el del Hadley Centre de Inglaterra, indican que debe aumentar la sequía en toda España, salvo en el Este en invierno, donde el incremento sería, probablemente, de tipo torrencial (figuras 3,4 y 5).

Este modelo exige muchísimas correcciones. En particular, es imposible hacer funcionar un modelo global con la precisión necesaria para las predicciones de interés social. Para ello se decidió hace un par de años utilizar modelos anidados unos en otros, como muñecas rusas.

Los modelos globales, de baja resolución, proporcionan las condiciones de contorno de un clima cambiante para modelos subhemisféricos, que a su vez las proporcionan a modelos regionales y locales.

En España estamos en la etapa del diseño de estos modelos regionales y locales.

Un modelo subhemisférico correrá en el INM, y proporcionará las condiciones de frontera para otro modelo local que incluye océano, en desarrollo en la Universidad de Alcalá. Las primeras predicciones se estima que sean posibles en un plazo de 4 años, pero los primeros resultados, muy poco fiables aún, indican una confirmación de los resultados del modelo del Hadley Centre. Pero las variaciones pueden ser muy grandes en regiones reducidas. Aún incrementándose en general la sequía, es muy posible que llueva más en una cierta localidad, a costa de un decremento en localidades adyacentes.

Es esto lo que queremos modelar, y en lo que tardaremos algunos años.

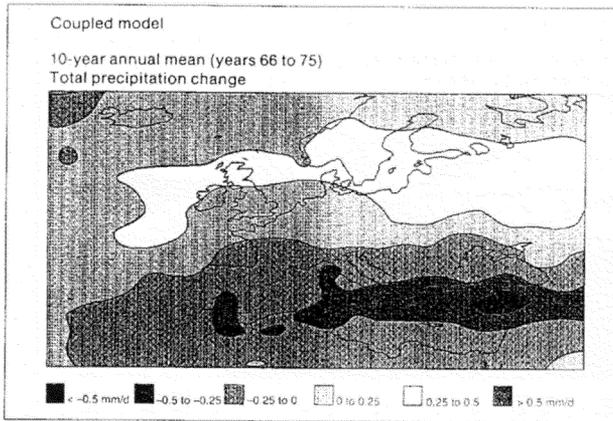
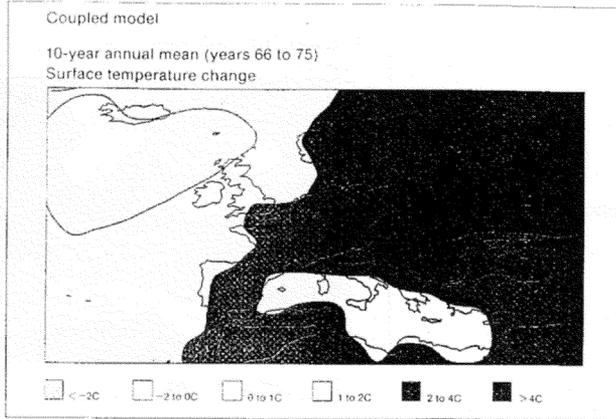
Sin embargo, el mensaje, desde ahora, es que debemos prepararnos para una etapa de disminución de lluvia en toda España, y de aumento de las precipitaciones torrenciales.

La mejor forma de prepararnos es la reforestación, pero una reforestación masiva. En primer lugar, las tierras con árboles resisten mucho mejor los fenómenos torrenciales. Pero en segundo lugar, los modelos de ordenador son claros en esto: Una isla, o una península, recibe un aumento substancial de precipitación al pasar de superficie desnuda a superficie arbolada, para condiciones constantes de temperatura y circulación atmosférica.

Annual Mean

Enlargements of Figure 5 showing changes in surface air temperature, precipitation and soil moisture content over Western Europe, for the decade centred on the time of doubling of the atmospheric concentration of CO₂, — model years 66-75.

(a) Surface Air Temperature



(b) Precipitation

(c) Soil Moisture Content

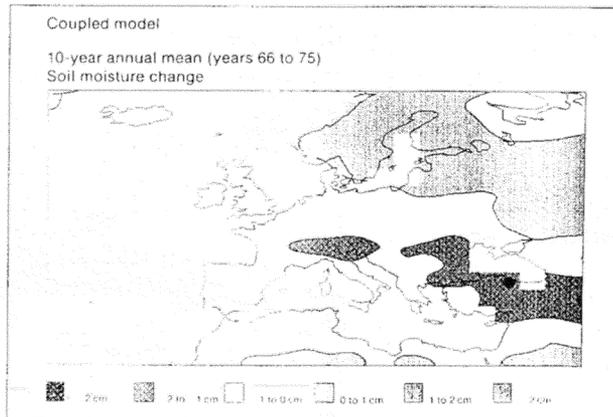


Figura 3

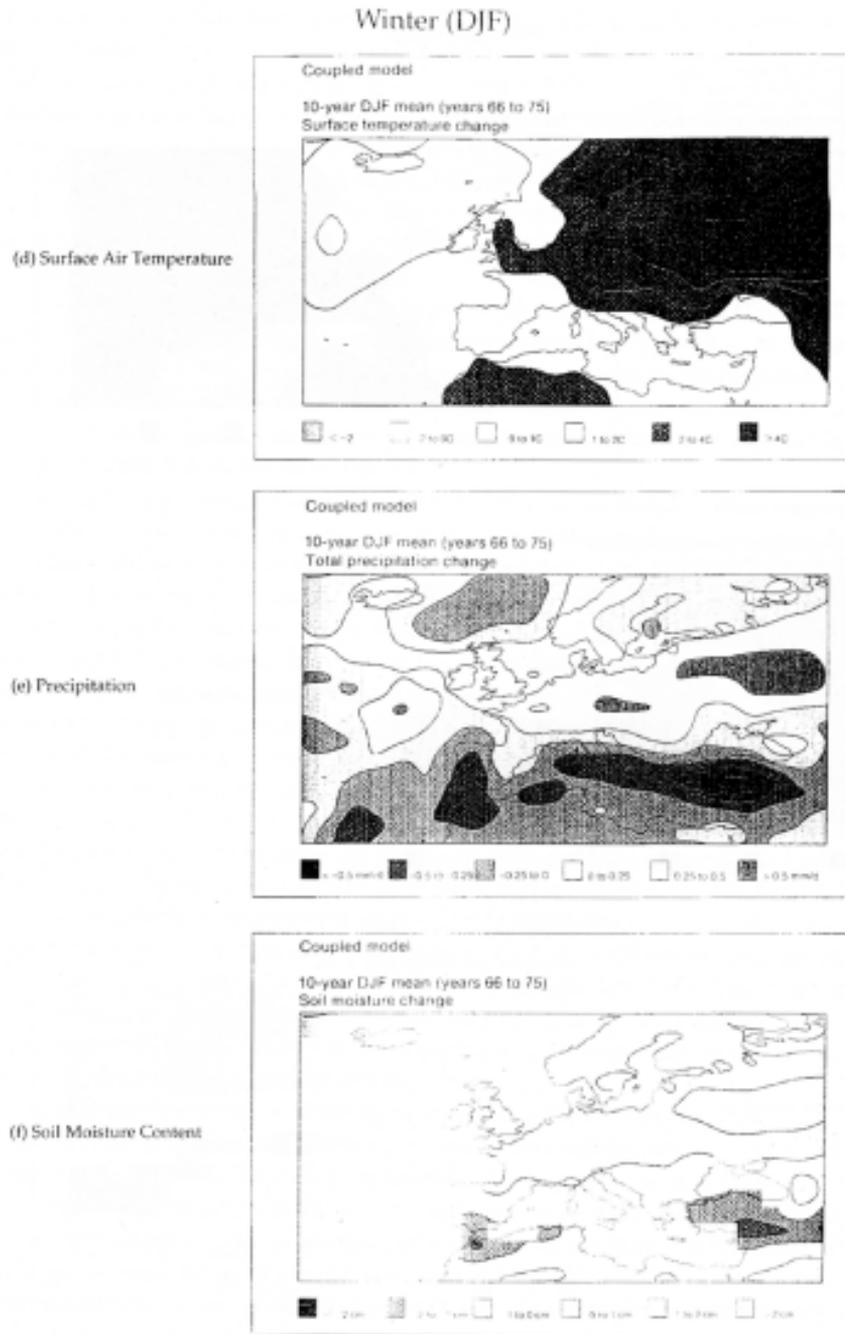
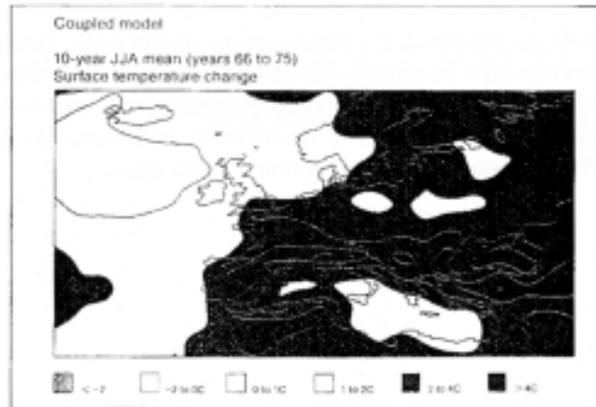
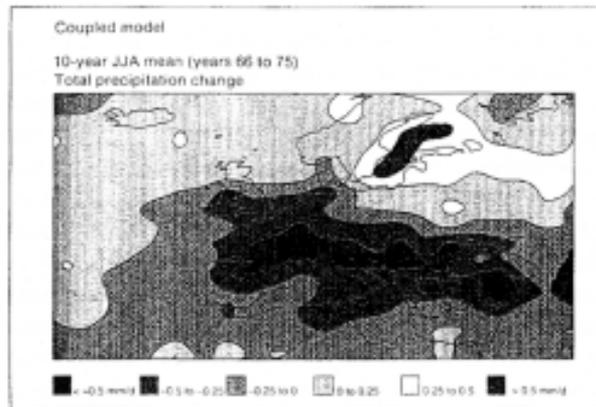


Figura 4

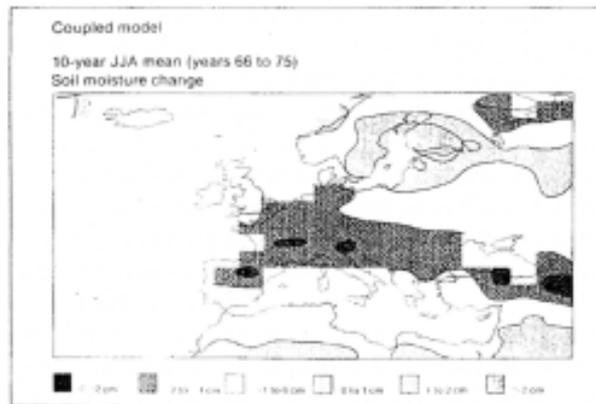
Summer (JJA)



(g) Surface Air Temperature



(h) Precipitation



(i) Soil Moisture Content

Figura 5

Es decir, en una situación cambiada, de circulación escasa de borrascas, podemos aumentar la precipitación si la península es una superficie arbolada.

Pero la reforestación debe de ser masiva. Los primeros pasos se han dado. Pero recordemos que la superficie de España es de unos 50 millones de hectáreas. Se pretende reforestar uno o dos millones. La recomendación sería conseguir un area forestal de 30 millones de hectáreas para dentro de treinta años, dejando abiertas al cultivo las regiones productivas de los valles fluviales, por donde, en caso de reforestación, todavía podría circular agua.