

X

CAMBIO CLIMÁTICO Y SECAS EN LA VEGETACIÓN

ÁNGEL FERNÁNDEZ CANCIO y Colaboradores
*Servicio de Ordenación de los Recursos Forestales, Departamento
de Plagas y Enfermedades
Dirección General de Gestión del Medio Natural, Consejería
de Medio Ambiente*

CAMBIO CLIMÁTICO Y SECAS EN LA VEGETACIÓN

FERNÁNDEZ CANCIO, A. *, NAVARRO CERRILLO, R.M. **,
FERNÁNDEZ FERNÁNDEZ, R. **, GIL HERNÁNDEZ, P. *,
MANRIQUE MENÉNDEZ, E. ***, GÉNOVA FUSTER, M. ***,
CALZADO MARTÍNEZ, C. **.

1. INTRODUCCIÓN

La vegetación contribuye de forma importante a definir el paisaje; cualquier modificación de la misma no solo incide sobre los elementos básicos del mantenimiento de los seres vivos, sino que induce profundos cambios en nuestra comprensión y adaptación al entorno natural. En este trabajo analizaremos la situación actual que parece capaz de alterarlo profundamente.

La fitoclimatología estudia la relación entre las plantas y el clima. Una característica muy específica de las plantas es que con ellas se puede establecer una correlación directa entre la distribución de la vegetación y los parámetros fitoclimáticos termo-pluviométricos derivados de las condiciones macroclimáticas en un determinado lugar. La fisiognomía de las plantas se modifica, a su vez, en función de las condiciones abióticas del entorno que las rodea; incluso, modificando su fenología y sus hábitos estacionales o desarrollando nuevas estrategias de adaptación.

El factor más relevante que actualmente podría inducir una transformación del paisaje es el cambio climático generado por un calentamiento terrestre. Hoy día no parece cuestionable que La Tierra se encuentra en un proceso de calentamiento global, correlacionado con un aumento sustancial de la concentración de dióxido de carbono atmosférico y otros gases de efecto invernadero como metano, CFC u óxido nitroso, desde comienzos de la Era Industrial. Este cambio climático aparece como una realidad derivada de la

* CIFOR-INIA

** Universidad de Córdoba, ETSIAM, Dpto. Ingeniería Forestal

*** Universidad Politécnica de Madrid. EUIT Forestal. Dpto. Ciencias Básicas aplicadas a la Ingeniería Forestal.

actividad humana que avanza de forma progresiva y que requiere la planificación de medidas para amortiguar su impacto. Desde 1860 la temperatura ha subido entre un 0.5°C y 0.6°C en superficie a nivel planetario y se ha producido, sobre todo durante los dos últimos decenios, un calentamiento inédito en la biosfera. Los factores naturales y los registros históricos analizados parecen insuficientes para explicar este aumento de la temperatura si no se considera el factor humano.

Uno de los elementos más preocupantes es la velocidad con la que este proceso se está implantando, inédita, y su posible persistencia, ya que sus efectos parecen durar cientos de años, aún en el caso de que se estabilizasen ahora mismo las emisiones de gases de efecto invernadero. En la actualidad los niveles alcanzados por los gases de efecto invernadero exceden a los que nunca hubo en los últimos 42000 años y probablemente en los últimos 20 millones de años. No parece posible que este proceso pueda contenerse a no ser que se extraigan tecnológicamente esos gases de la atmósfera. La vegetación parece no estar teniendo tiempo para adaptarse a esta velocidad. Es en este sentido en el que se analizarán las secas mediante este trabajo.

Los mecanismos a los cuales se les atribuye una cierta capacidad para frenar este aumento de concentración de gases, junto con el calentamiento que originan, son la fijación de carbono por efecto de una reforestación masiva (que no sería capaz de eliminar más del 10% del CO₂ emitido), y los sumideros naturales de CO₂ (la vegetación y el océano). Estas dos alternativas parecen ser insuficientes para frenar el incremento de temperatura; a la espera de una solución eficaz lo más lógico seguirá siendo la disminución de la emisión de estos gases, lo que haría más lento el cambio, aunque no lo solucionaría a corto plazo.

El calentamiento mas importante, dentro del último milenio, se ha registrado desde 1990 hasta la actualidad. Los últimos 5 años poseen los datos más calurosos conocidos. Entre 1998 y 2002 se encuentran los tres años más cálidos conocidos desde que existen registros instrumentales y se espera que el 2003 sea todavía más cálido. La velocidad e intensidad estimadas del calentamiento gracias a los datos actuales y su contraste con registros dendroclimáticos, parece superar también lo conocido en los últimos mil años.

2. CAMBIO CLIMÁTICO: EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA TEMPERATURA

Una comprensión exacta de la evolución de la temperatura recomienda la interpretación de ésta en tres escalas diferentes. (Figs. 1, 2 y 3).

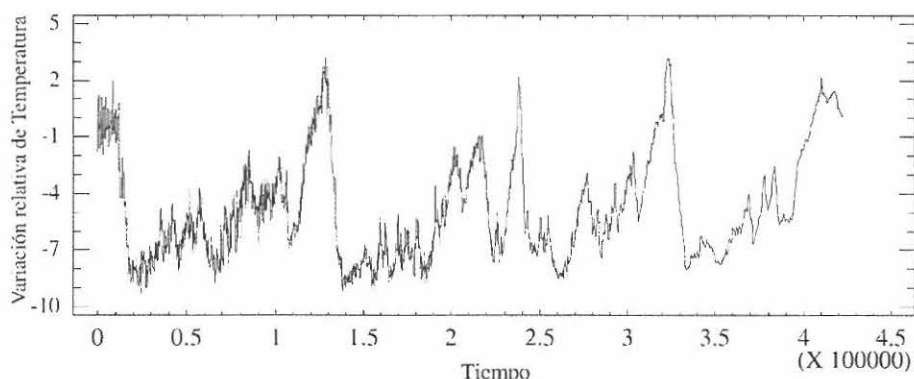


Figura 1.- El proyecto ice-drilling de colaboración entre Rusia, los Estados Unidos, y Francia en la estación rusa de Vostok al este de la Antártida alcanzó los 3.623 m, (Petit et al. 1997, 1999). Los datos indican que el registro de la muestra de hielo alcanza algo más de 400.000 años de antigüedad.

2.1. Escala de milenios

En enero de 1998 (Fig.1, Petit et al. 1997, 1999) los datos preliminares indicaron que el registro de la muestra de hielo de Vostok se extiende durante cuatro ciclos glaciares (algo más de 400.000 años de antigüedad). A la izquierda de la Figura se encuentra el interglaciar actual, y a la derecha el más alejado de nosotros. Los máximos corresponden a los interglaciares y los mínimos a las fases más duras de cada glaciación. Se observan bien definidas las cuatro glaciaciones ocurridas durante los últimos 400000 años. La irreversibilidad de la evolución terrestre genera patrones diferentes en cada una de las fases glacial-interglacial y se puede observar que el interglaciar actual posee características muy distintas a los de los anteriores, con un máximo de temperatura no tan elevado y una meseta más amplia que, temporalmente, parece estar llegando a su final geofísico.

En el anterior interglaciar hubo un calentamiento superior al nuestro en 2°C, patrón que se repite aproximadamente en los anteriores interglaciares. Estos calentamientos, preludios probables de graves modificaciones en la

circulación de las corrientes oceánicas, parecen precipitar caídas bruscas hacia fases muy frías o hacia la glaciación. En nuestro caso, parece que estamos terminando la era interglaciaria, que ha sido térmicamente moderada y no se está produciendo ninguna caída brusca oscilando en torno a una banda no que supera los $0.5-1^{\circ}\text{C}$ (Pequeña Edad Glacial, por ej.). Además, parece que la tendencia nos lleva a perder temperatura suavemente, situación que no se ha dado en otros interglaciares de forma tan continua. Un calentamiento estimado de $2-4^{\circ}\text{C}$ en esta fase final es un experimento, que si es inducido por el hombre, es cuanto menos peligroso, porque no sabemos lo qué podría ocurrir y por lo tanto, no podemos despreciar la posibilidad del riesgo de caer bruscamente en una glaciación.

2.2. Escala de los últimos mil años:

Por reconstrucciones dendroclimáticas se puede observar, Fig.2, cómo en España la crisis climática del siglo XX se acentúa sobre la media del último milenio. La aparente variabilidad de los siglos XI a XIV puede deberse a la poca cantidad de muestras dendrocronológicas existentes y no la podemos validar por completo. A partir de la mitad del siglo XIV la temperatura está mejor representada desde el punto de vista del número de muestras existentes, y desde el siglo XV las muestras son ya muy numerosas y territorialmente representativas. En España, el incremento actual de temperatura con respecto a la media del milenio por este método, e igualmente con respecto a los últimos 140 años, se sitúa alrededor de 0.6°C , pero cualitativamente tiene sus propias características peculiares, como la perturbación a la baja en la década de 1970 que corresponde a datos instrumentales (no estimados) y que en nuestro país parece particularmente fuerte. Quizá las características más importantes y diferenciales de España, con respecto a otros lugares, es que las temperaturas han roto sólo levemente los máximos del milenio y que la variabilidad está muy fuertemente acusada.

En el conjunto del planeta se observa (Fig. 3), instrumentalmente y con estimaciones de satélite que existe actualmente una subida de temperatura en superficie que ronda los 0.6°C en los últimos 20 años, según sea el nivel de referencia que se elija. Y, como se dijo en la introducción, se constata que dentro de los últimos 5 años se encuentran los 3 años más cálidos desde 1880 (desde que hay estaciones meteorológicas tomando registros fiables y estando corregidas las tendencias de las islas térmicas humanas y la heterogeneidad en la toma de datos). La estabilización central podría deberse fundamentalmente

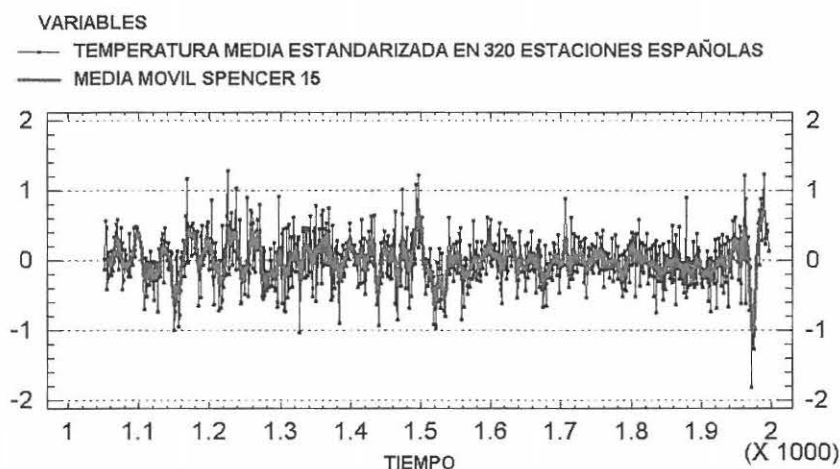


Figura 2. Representación de la temperatura media estandarizada reconstruida en 320 estaciones, hasta 1996, y su Media Móvil de tipo Spencer de 15 términos. En el eje Y están las variables tipificadas, aproximadamente cada unidad corresponde a 0.6°C . Se observa: a) La crisis climática de la PEG en el siglo XVI, b) El episodio cálido Bajo Medieval (siglos XIII a XV), c) El período suave de los siglos XVIII y XIX, d) El comportamiento de la nueva y más aguda crisis climática del siglo XX. Fuente: E. Manrique & Fernández Cancio, A., 2000.

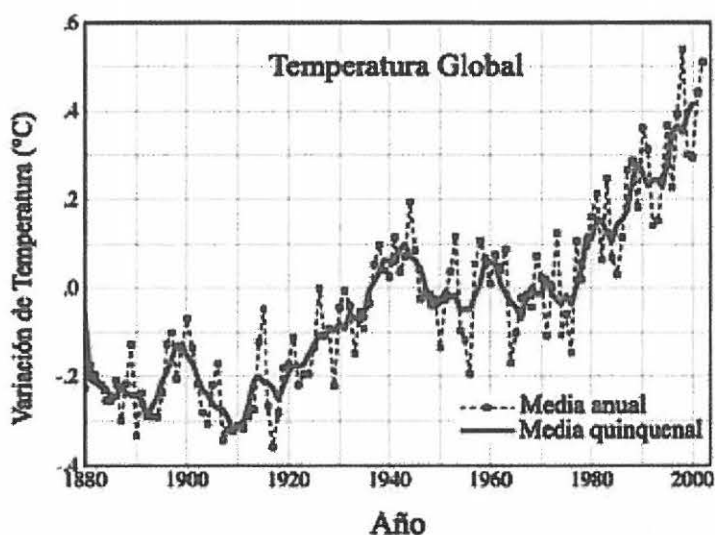


Figura 3. Tendencia de incremento mundial anual de temperatura media en superficie relativa al periodo de normalización 1951-1980 hasta el año 2002. Se observa que el período de estabilización, dada su naturaleza posiblemente artificial, podría no ser adecuado tomado como periodo de referencia. Cualquier otro período razonable de referencia aumentaría la anomalía térmica en superficie. Fuente: Goddard Institute for Space Studies, NASA Goddard Space Flight Center Earth Sciences.

a una fase de alta emisión de aerosoles, modelizada y validada en los últimos Modelos de Circulación General de la Atmósfera (IPCC, 2001), que provocó una disminución global de la temperatura. Cuando estos efectos disminuyeron su incidencia o el nivel de gases de efecto invernadero fue ya suficiente como para que la situación se desestabilizase, se hizo ya patente un aumento anómalo de la temperatura.

Este efecto conviene verlo en España, debido a las peculiaridades mencionadas en el primer párrafo, en la escala de los últimos mil años (Fig. 2). Aquí, como en el resto del mundo, la temperatura va bajando, aunque parece que lo hace más suavemente que en otros lugares, hasta subir bruscamente en los últimos decenios, en los que se da un aumento bruto (no estandarizado) de 0.5°C - 0.6°C , concordante con la estimación establecida para el conjunto del planeta. Se observa, así, que los años próximos al año 1000 están más cerca de la banda superior, mientras que los cercanos a la etapa actual tienden a la inferior con una pendiente poco acusada (-0.000069 , significativa casi al 90%).

3. IMPORTANCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA VEGETACIÓN

La incidencia del Cambio Climático en los desplazamientos de vegetación se viene observando desde 1993 en España, aunque el proceso podría haber comenzado mucho antes (incluso en la década de 1950) disfrazado dentro de la dinámica natural de la vegetación. Hasta 1998, en medio de mortalidades masivas de vegetación, no se consideró este fenómeno como posiblemente irreversible, siendo más acusado en la mitad sur de España que en la mitad norte, aunque toda el área mediterránea española se encuentra afectada.

Estas modificaciones climáticas, pueden generar “Secas” en la vegetación como signo visible de los desplazamientos de la misma, que en Portugal ya se notificaron en la década de 1950 y en España quizá tuvieron su preludio en la mortalidad de castaños, olmos, etc. Así, el clima, ya sea por sí mismo o por debilitamiento general de las masas forestales, aumenta la aparición de hongos, insectos, etc. Además, las transiciones entre años secos y lluviosos en estas últimas décadas de alta variabilidad, en el marco de temperaturas elevadas, pueden favorecer la propagación de estas plagas, en especial de los hongos, como se verá más adelante.

Una sequía continuada por sí misma somete a los árboles a un estrés hídrico hasta el punto de poder matar a los individuos afectados, especialmente si además se encuentran situados en zonas con suelos pobres o en lugares en

los que habitualmente el nivel freático es más alto, como vaguadas, navas, etc. Las sequías han sido persistentes durante estos últimos 22 años.

Sin embargo, suponemos que el verdadero carácter de La seca está ligado al incremento de la temperatura, que en combinación con las sequías origina un alto déficit hídrico y que actuando por en forma de “olas de calor” puede ser mortal por sí misma.

En resumen, en el momento actual con respecto al Cambio Climático y la vegetación, parecen reunirse los siguientes elementos:

- Un efecto físico-Efecto Invernadero-comprobado experimentalmente.
- El aumento continuo y progresivo en la atmósfera de los gases responsables del Efecto Invernadero que parecen generar un aumento sostenido de las temperaturas en las últimas 3 décadas.
- La superación de récords termométricos locales y globales nunca alcanzados desde que se poseen registros meteorológicos.
- En España, una anomalía secular en el régimen de precipitaciones que abarca todo el siglo XX y que tiene implicaciones estacionales.
- La buena concordancia entre los valores alcanzados y los predichos por los Modelos de Circulación General de la Atmósfera (GCM) para escenarios locales españoles generados por modelos que no existían hasta ahora y cuyas predicciones parecen fiables hasta el año 2050.
- El aumento claro, en España, de la variabilidad registrada instrumental y dendroclimáticamente.
- La ruptura global del fondo termométrico del milenio, menos acusada en España, aunque ya patente.
- El comportamiento anómalo respecto al milenio en los patrones de distribución espacial de las temperaturas y de su intensidad en España.
- Una ruptura cada vez mayor de la estructura interna de las series temporales termométricas y de su capacidad predictiva, introduciendo valores no alterados por efectos no naturales (reconstrucciones dendroclimáticas anteriores a 1700), lo que indicaría un Cambio Climático ya implantado.

La relación con la vegetación se establece a través del fitoclima, utilizando modelos fitoclimáticos y estadísticos que explican la distribución de la vegetación a diversas escalas. Estos modelos se han basado generalmente en factores limitantes lo suficientemente precisos para las diversas formaciones vegetales como para establecer sobre ellos técnicas de simulación, permitiendo predecir la evolución futura de la cubierta vegetal y correlacionando los límites de distribución de los tipos de vegetación con factores macroclimáticos de la forma siguiente:

- Estudios dendrocronológicos que conducen a modelos dendroclimáticos basados en el análisis de la influencia del clima en los anillos de los árboles.
- Bases de datos climáticos y de distribución de flora y vegetación que hacen posible la utilización de modelos estadísticos multivariantes, que permiten establecer relaciones entre la vegetación y un amplio conjunto de variables fitoclimáticas con marcado carácter ecofisiológico, combinados con técnicas de clasificación, con análisis discriminante y análisis sobre componentes principales.
- Sistemas Bioclimáticos como el del Prof. Salvador Rivas-Martínez que es de carácter fisiognómico-ecológico, basados en el índice de termicidad (IT), asociado a la temperatura de una zona determinada, y el índice ómbrico (IO), que relaciona la temperatura con la precipitación. Muy didáctico y útil, este sistema establece las bases para el estudio de la vegetación potencial de España y sus pisos bioclimáticos.
- Sistemas Fitoclimáticos como el de José Luis Allué Andrade que combina el uso de la vegetación real y la potencial expuesta en el sistema anterior. Es de carácter más fisiognómico que el anterior y se basa en la correlación entre estaciones meteorológicas, la vegetación y su distribución real y potencial. Utiliza también la metodología de Walter mediante climodiagramas establecidos en períodos de un conjunto de años o en el total de los años, que se complementan con registros anuales, dando como resultado, tanto un número escalar, que determina la probabilidad de encontrar condiciones óptimas para un tipo fisiognómico de vegetación en un lugar determinado y su grado de afinidad con el resto de un conjunto finito de estrategias existentes en España, como la variabilidad climática que caracteriza al punto. Es un sistema de comprensión más difícil, pero con un alto poder explicativo y predictivo sobre el Cambio Climático.

4. LA SECA Y EL CLIMA

La seca es un proceso multifactorial de agentes desencadenantes y ejecutores que culmina con el decaimiento y muerte de la vegetación natural.

Más ampliamente, el proceso de la seca surge cuando se dan graves perturbaciones multifactoriales en el entorno natural que conducen a la muerte de los individuos y a la diezma o deforestación de determinadas zonas, afectando a la vegetación de forma acusada hasta la modificación del paisaje. Es, así, un proceso ligado al deterioro de los bosques y de sus formaciones vegetales asociadas.

Históricamente en España el fenómeno de la seca no es un proceso reciente, se tienen noticias del mismo a través de diversas fuentes en los últimos 2500 años, siempre ligada a procesos climáticos, siendo los sucesos asociados más destacables, las sequías y perturbaciones térmicas. Los periodos más notables son los siguientes, aunque rigurosamente sólo se conocen datos concretos de secas en los siglos XVI y XVII ya que el resto de los datos provienen de fuentes históricas no validables:

- Seca asociada a una sequía ininterrumpida de 26 años, entre 224 a. C. y 198 a. C.
- Secas en los siglos VII y VIII, algunas asociadas a sequías de 7 años de duración.
- Sequías intermitentes a finales del siglo IX, muy imprecisas temporalmente, en las que se encuentran referencias sobre mortalidad forestal.
- Sequías intermitentes con mucha variabilidad en los siglos XVI y XVII, algunas de una duración de entre 4-6 años y severo descenso térmico en plena Pequeña Edad Glacial, con una seca hacia mediados del siglo XVI.
- La aparición actual de perturbaciones en la vegetación con amplia mortalidad, suceso no repetido desde el siglo XVI y que fue inducido por el clima. Si el proceso tiene ahora un desencadenante climático originado por un Cambio Climático Global se convertiría también en un Cambio Fito-climático que originaría la ruptura de un esquema de vegetación estática, dando lugar a un proceso dinámico que, en las proximidades de sus factores limitantes, se muestra altamente inestable.

Si bien el origen de la seca varía según las condiciones propias de cada país (por ej. Lluvias ácidas, plagas, etc.), en España la seca parece tener su origen en factores climáticos. El más importante es un déficit acumulado de precipitación unido a un incremento de temperatura que también aumenta el déficit hídrico y a veces, por si misma, ha sido letal. Como pruebas de esto se tiene:

- Confirmación meteorológica de la sequía y del incremento de temperatura (datos del Instituto Nacional de Meteorología). Las Figs. 4, 5 y 6 son un ejemplo de la evolución de la temperatura y precipitación anuales medias no estandarizadas en el Retiro (Madrid). Aunque de sus valores no se puede extrapolar conclusiones tan importantes como las derivadas de la Figura 2, sirven quizá para ilustrar las tendencias medias que afectan de forma general a España en los últimos 103 años.
- Disminución de la intensidad, extensión y estructura de la seca en cuanto se modifican las condiciones meteorológicas. Estos datos pueden extraerse de correlaciones con los datos de la Red de Nivel I. Las recuperaciones

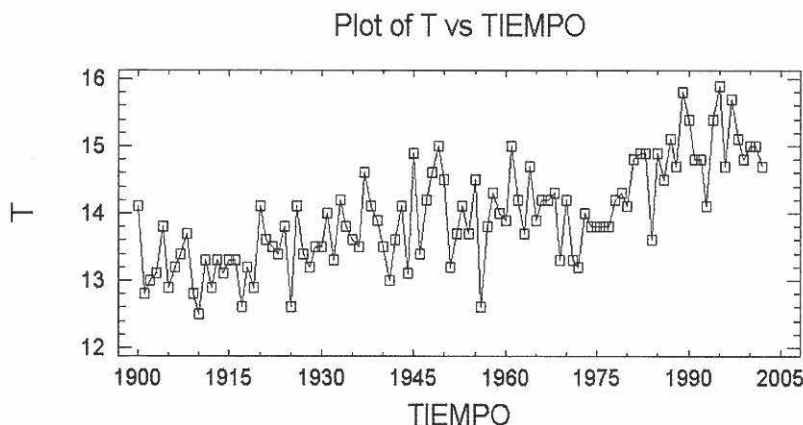


Figura 4.- Evolución de la temperatura media anual del Retiro (Madrid). Si se prescinde del 0.3-1°C, asociados normalmente a la isla térmica que se genera en una ciudad de gran extensión, se observa un incremento de temperatura entre 1900 y 2002 que ronda 1°C, sobre el intervalo de referencia 1940-1970, restando ya el incremento relacionado con la existencia de la propia ciudad. Con independencia de la bajada relativa que se observa en los últimos cinco años, se puede decir que en Madrid las condiciones climáticas también indican un aumento de temperatura, cuya tendencia ascendente no podría mantener el ritmo alcanzado entre 1995 y 1997, por lo que es normal una disminución para acoplarse al aumento estimado para el planeta de 0.2°C por década.

pluviométricas no parecen determinantes por sí mismas para contener el proceso, puesto que los factores que inducen secas importantes son una combinación multifactorial de los patrones de lluvia y temperatura, así como de las modificaciones estacionales de las mismas.

- La seca ataca y debilita a casi todas las especies, en casi todos los lugares afectados por las condiciones meteorológicas y al mismo tiempo, lo que confirma su carácter climático.
- A veces la mortalidad no parece asociada a ningún elemento patógeno discernible que provoque mortalidad.

Para comprender y seguir el proceso se han dado los siguientes pasos:

- Aplicación de un modelo fitoclimático (Allué Andrade) que analiza y señala los cambios que se producen en cada estación meteorológica con respecto a su capacidad para mantener la vegetación existente y el momento en que ésta puede empezar a deteriorarse y desaparecer por incompatibilidad con el clima (Allué, 1995).
- Comparación entre las secas verificadas en el campo y los lugares afectados previstos por el modelo, y verificación de la concordancia temporal y geográfica de los datos suministrados por la Red Nacional de Nivel I.

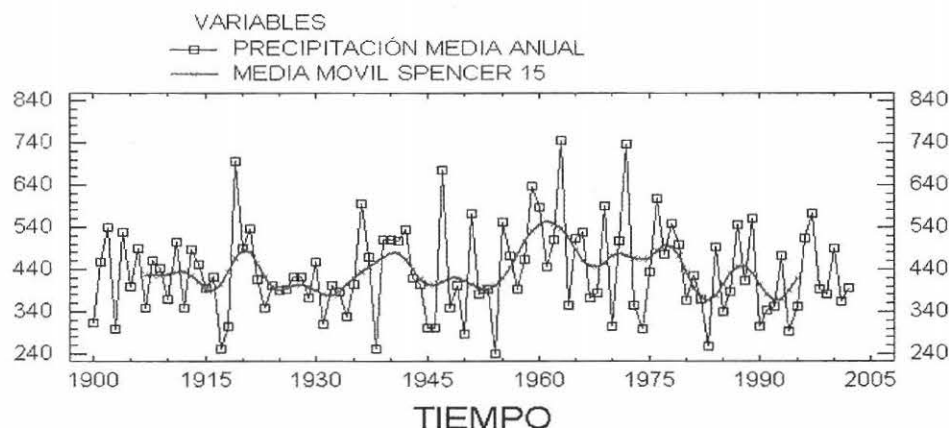


Figura 5. Evolución de la precipitación en la estación meteorológica del Retiro (Madrid). La tendencia a la sequía permanece según se observa usando una Media Móvil de tipo Spencer de 15 términos, no se observan aquí indicios de recuperación en medio de este acusado período seco. La media secular de 435 mm. sólo se supera 7 veces en los últimos 23 años, por lo que parece que la media secular es estadísticamente distinta de la media de los últimos 23 años con un 95% de probabilidad.

— Estimaciones fitoclimáticas fiables obtenidas a través del análisis del clima y fitoclima del último milenio, a través de los anillos de los árboles (dendroclimatología). Desde los siglos XIV y XV estos datos señalan al período actual como uno de los más alterados fitoclimáticamente (y no sólo climáticamente) de la historia, dentro de una crisis que abarcó a todo el siglo XX.

La conclusión de todo esto es que el único elemento que puede ser bien analizado y que parece que por sí mismo reúne todas las características para ser el desencadenante inicial de La seca es el clima.

Actualmente se puede y debe hacer una diferenciación entre secas de origen térmico y secas de origen pluviométrico, aunque ambas son consecuencia, posiblemente, de un déficit hídrico. Sin embargo, las pluviométricas deberían ser consideradas como transitorias mientras no haya un conocimiento más amplio de la evolución de las lluvias en el mediterráneo occidental, tanto global como estacionalmente, mientras que las térmicas actuales podrían convertirse en permanentes, bruscas, progresivas y no necesitar unas condiciones de sequía previa.

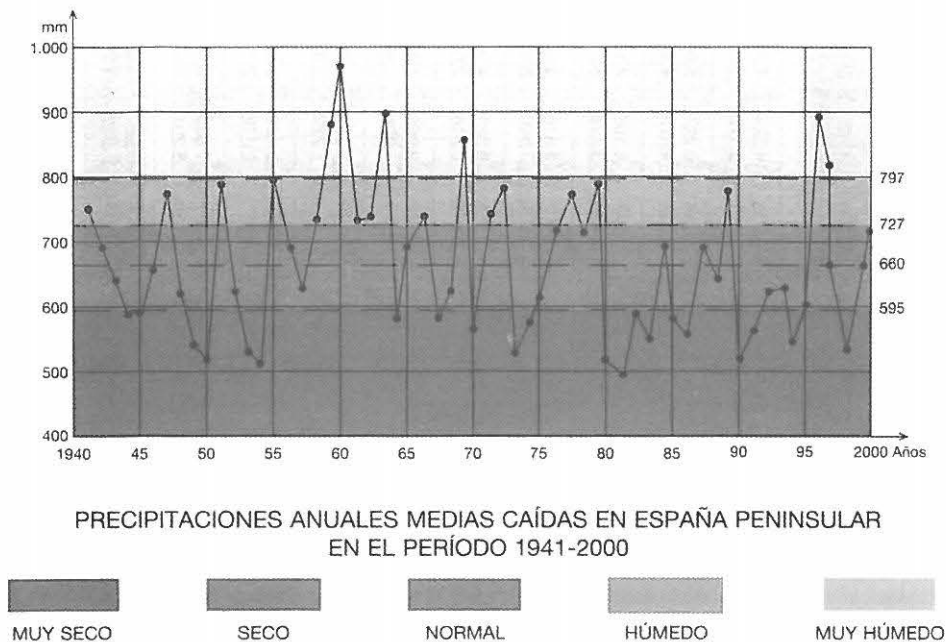


Fig. 6. La evolución de las precipitaciones en España desde 1940 parecen semejantes a las de los datos del Retiro (Madrid) en los que 14 años están claramente dentro de la banda de Secos - Muy Secos, 1 en la de Húmedos, 2 en la de Muy Húmedos, 3 en la de Normales y 2 en la frontera entre las de Normales y Secos. Pudiendo observarse la preponderancia de las sequías. Estos datos y gráfico, procedentes de los anuarios del INM, contrastan con la aparición de la fuerte incidencia de la seca en los años húmedos 1997-1999. La banda azul intermedia indica lo que debería ser. La parte inferior roja, recoge la mayoría de los años ya que el clima casi siempre ha sido muy seco en la última mitad del siglo XX, con una clara tendencia a descender las precipitaciones. La falta de estandarización de estos datos limita su comprensión al considerar uniforme la alta variabilidad geográfica y climática de España.

Para que una sequía se convierta en seca debe darse la combinación de tres factores: duración, variabilidad e intensidad de forma compleja.

La duración es un factor obvio, lo mismo que la intensidad, que no actúa siempre igual, ya que si sobre una fase temporal de sequías hay períodos de recuperación, los efectos son mucho menos dañinos que si actúa intensamente sobre un período que no posea años de recuperación, lo que no es habitual.

Con el factor de la duración pueden suceder tres cosas:

- La falta acusada de precipitaciones generales durante más de un año y medio en una zona determinada puede producir graves daños en la agricultura sin que la vegetación natural, dependiente sobre todo de niveles freáticos, acuse problemas graves.
- Aún lloviendo oportunamente para los pastos, y sin que la agricultura plantee problemas, puede existir un déficit acumulado de precipitaciones

suficiente como para originar una mortalidad forestal debido a que el nivel de agua absorbida por el suelo no sea suficiente.

- Si se unen sequías locales puntualmente intensas con un déficit acumulado de lluvias se puede llegar a la situación de que afecte por igual a la agricultura, suministros hídricos a ciudades y pueblos y a la vegetación natural (este momento crítico se alcanzó en 1995 y con menor intensidad en 1998).

La variabilidad, siempre muy olvidada, podría estar representando un papel importante en la mortalidad forestal. Aparentemente las fases de recrudescimiento de las secas, e incluso de su aparición, parecen seguir al patrón de transición entre años secos y lluviosos. El aumento constatable de variabilidad en el siglo XX, comparándolo con su casi ausencia en los siglos XVIII y XIX, así como su claro aumento a finales del siglo XX indica que la incidencia de la variabilidad en la mortalidad forestal debe ser considerada como uno de los principales factores a investigar en el futuro.

Si se observa la Figura 7, se pueden detectar sucesos muy importantes que pretenden dar una visión de alcance nacional cuya explicación está fuera del alcance de este trabajo, y que sirve para ilustrar la complejidad del problema climático con el que nos enfrentamos.

- En primer lugar, tanto en precipitación como en temperatura es patente el incremento de variabilidad a lo largo del siglo XX.
- Se observa la inversión de la tendencia descendente de las temperaturas que se registraba durante los siglos XVIII y XIX.
- El calentamiento progresivo va aumentando su variabilidad hasta llegar a la crisis en 1961, año en el que se alcanzan temperaturas muy elevadas. A partir de ahí se sufre una caída térmica muy fuerte y difícilmente explicable, con un mínimo en 1971, tan bajo o más como los alcanzados en la Pequeña Edad Glacial, y que generan una anomalía tan importante como la del Efecto Invernadero.
- A partir de 1971 comienza una fuerte recuperación de la temperatura hasta alcanzar y superar por muy poco la tendencia ascendente del período 1900-1961. Desde 1980 las temperaturas se mantienen con fluctuaciones en un estado estacionario que supera a la media secular en la práctica totalidad de los años.
- Los datos no representados hasta el 2002, parece que se mantienen también por encima de la media.
- Las precipitaciones muestran unas anomalías similares, con una fase muy húmeda entre 1960-1970, quizá por su duración e intensidad la más húmeda de los dos últimos milenios, que cae bruscamente en una importante sequía a partir de esta fecha.

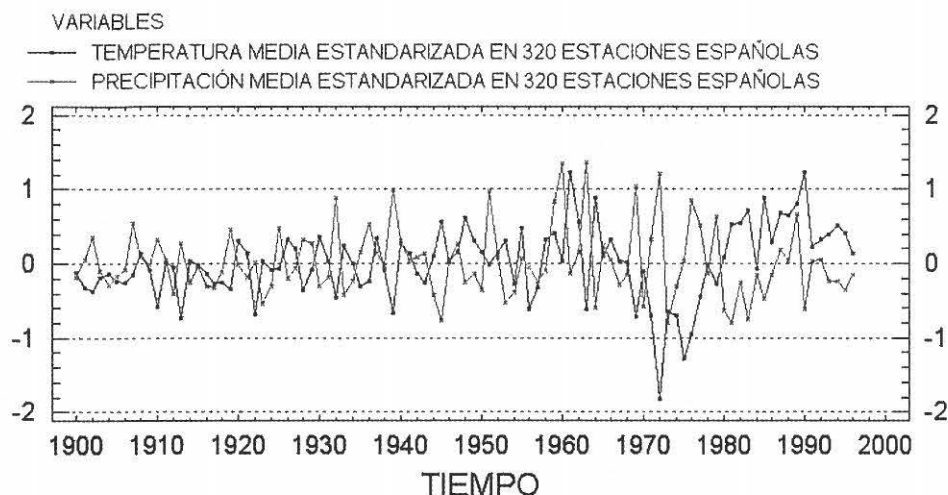


Figura 7.- Análisis de la evolución de la precipitación y temperaturas medias estandarizadas en 320 estaciones meteorológicas que cubren la totalidad de España peninsular. Se observa el progresivo incremento de la variabilidad y las crisis posteriores a 1961. Los siglos XVI (aparición de la PEG) y XX parecen los más alterados climáticamente del milenio, siendo difícil establecer cual fue el más afectado.

- Pero lo más importante parece ser el comportamiento de la actividad en fase-contrafase de estos últimos episodios. Prescindiendo del retraso de uno o dos años entre los picos de precipitación y temperatura, se observa que entre 1958 y 1968 ambas variables están razonablemente en fase, entrando en contrafase entre 1968 y 1980 e invirtiendo parcialmente esta contrafase entre 1980 y la actualidad, de forma similar a lo ocurrido entre 1944 y 1954, preludio de secas detectadas en Portugal. Así, después de un período de altas precipitaciones y bajas temperaturas (1970-1979) se desembocó en una caída brusca hacia un periodo muy seco (1980-1999) que también podría colocarse entre los más acusados de los últimos dos milenios.
- Estas transiciones bruscas entre fases húmedas y secas junto con las elevadas temperaturas, podrían explicar la acción de patógenos como *Phytophthora cinnamomi* y otros hongos.

En la actualidad se poseen cada vez más evidencias de que existe una componente antrópica predominante en las perturbaciones fitoclimáticas actuales, aunque no se descarta la existencia de un efecto natural asociado ligado fundamentalmente a las sequías. La aceptación de esta asociación se apoya en la dendroclimatología, ya que el episodio climático actual, que en España afecta a todo el siglo XX y no sólo a los últimos años como se dijo anteriormente, podría surgir como un recrudecimiento de la alta variabilidad climática

que tuvo lugar en los siglos XVI y XVII, amplificada por las características particulares del régimen mediterráneo.

Cualquier interpretación simplista de la relación seca-clima que se base en el análisis de pocas estaciones y un número reducido de variables en un problema de naturaleza claramente multifactorial, con alta variabilidad, como el que reflejan los valores estandarizados de dos únicas variables, se nos antoja precipitado. Se está todavía muy lejos de comprender cómo el sistema climático afecta al desplazamiento de las especies y a la deforestación, pero el comportamiento climático de los últimos cuarenta años de finales del siglo XX no parece que puedan obviarse ni considerarse irrelevante con respecto a los desplazamientos previsibles de la vegetación. También hay que considerar que al amplificarse la variabilidad climática, el incremento de transiciones bruscas puede ser muy estresante para la vegetación, independientemente de que se alcancen o no límites letales.

5. EVOLUCIÓN Y EFECTOS DE LA SECA EN ESPAÑA: DESPLAZAMIENTOS DE LA VEGETACIÓN.

La seca actual puede comenzar a señalarse desde 1980 hasta la actualidad, continuando su incidencia en el sur de España intensamente. Durante los años 1989 a 1997, en donde las tendencias termo-pluviométricas eran mucho más altas que las que sugerían los modelos, y especialmente entre 1995 y 1997-1998, que tuvieron datos meteorológicos muy anómalos en sus variables térmicas y pluviométricas fueron años de alarmante expansión de la seca (Figs. 4 y 5), tanto por la alerta ante un Cambio Climático Global como por la situación de deterioro de nuestros montes.

Desde 1995, como se dijo anteriormente, se extendió la opinión de que estábamos ante un proceso trascendente, en el sentido de que era capaz de modificar la estructura de la vegetación actual. Sus tendencias según los GCM podrían ser irreversibles, de carácter termo-pluviométrico, y con tendencia a empeorar hasta el punto de sugerir la necesidad de tomar fuertes medidas amortiguadoras. Otros análisis posteriores no mostraban tanta urgencia (Figs. 2 y 3), pero, en todo caso, estos últimos análisis sugirieron que el siglo XX podría marcar el umbral de un comportamiento inédito en la estabilidad de las poblaciones, y que existía un antes y un después del supuesto episodio del Cambio Fitoclimático de origen presumiblemente antrópico que se estaba observando. La fecha en que se puede considerar que comenzaban los trastornos fitoclimáticos es ambigua, pero debe oscilar entre 1960 y 1980.

Estos casi 15 años de sequía pueden clasificarse en cuatro fases: 1980-1986, 1987-1993, 1994-1995 y la reactivación actual a partir del otoño de 1998-2001. La situación actual es imposible de cualificar por ahora, ya que junto a la disminución del impacto en unos lugares, otros se mantienen e incluso aumentan; afectando últimamente, también de forma importante, a la submeseta norte. En conjunto, la intensidad de la sequía, entendida como una disminución global de las precipitaciones en la zona mediterránea, ha podido rondar entre un 10% y un 30% en amplias zonas, lo que corresponde a los valores estimados de algunos GCM para el mediterráneo occidental. De ser ciertas estas estimaciones la seca se agravará notablemente en los próximos años.

La fase más crítica de todo el período fue la que transcurrió entre 1994-1995. La sequía se extremó con secas que se generalizaron en toda la zona suroriental. En 1994 la sequía enmascara lo que parece ser la primera seca de carácter térmico por “golpe de calor”, la cual actuó fuertemente en zonas aparentemente exentas de agentes como *Phytophthora cinnamomi* y otros patógenos (Zonas de Andalucía Oriental, presentando daños masivos en pinares de carrasco, laricio, encinas, coscojas, etc.). Las defoliaciones y mortalidades súbitas alcanzan su máximo en 1995, afectando a todos los pisos bioclimáticos y amenazando en convertirse en un desastre.

Es importante recalcar, entre 1980 y la actualidad, la existencia de focos de aparente origen térmico y la sincronía entre la reactivación de la seca y el paso brusco de una fase húmeda a una fase seca y a la inversa.

Aceptando la opinión mayoritaria de la Comunidad Científica, si los modelos no están muy equivocados (calentamiento de 0.2°C por década) y si continúan las actuales tendencias ambientales, es probable que se alcancen 2°C de incremento térmico en nuestra latitud hacia el 2050 y unos 4°C hacia el 2100. En estas condiciones, con independencia del elemento causal que genere la mortalidad final, las alteraciones de los pisos bioclimáticos térmicos y ómbricos y las modificaciones de los subtipos fitoclimáticos, explicarían sobradamente los desplazamientos de la vegetación actuales y futuros.

Una explicación posible de la intensidad alcanzada por la seca, podría provenir parcialmente del pasado inmediato. En el período húmedo de 1955-80 se dieron unas circunstancias anómalamente favorables para la vegetación en expansión en terrenos abandonados, las repoblaciones y los tratamientos tradicionales; estos factores quizá originaron unas condiciones fisiológicas y ecológicas en las plantas que las dejaron poco preparados contra la combinación del clima mediterráneo y el comienzo de un Cambio Climático.

En 1998 se produce una reactivación de La seca. Se localizan focos de secas en Teruel sobre quejigos en Julio, en Burgos y Palencia sobre matorral

en Agosto y en Santander, sobre melojos también en Agosto. Durante el otoño se constata en Cáceres una reactivación de la seca sobre encinares, alcornocales y matorral. En 1999 se observan extensos daños por seca en Badajoz, viéndose focos de encinas y matorral con mortalidad indiscriminada en casi todas las especies. En 1999 el Parque Natural de los Alcornocales, en Cádiz, estaba en una situación crítica y gran parte de las Sierras Andaluzas fuertemente afectadas. En el año 2001 las secas se extienden a la submeseta norte afectando a sabinars, encinares y vegetación ripícola. En el año 2002 las zonas basales de las Sierras de Cazorla y Segura parecen también muy afectadas. La comarca de Los Pedroches, sierras onubenses y pinsapares muestran claros signos de decaimiento.

Como agentes ejecutores, aparte de las altas temperaturas y la escasez de precipitaciones, se encuentra la *Phytophthora cinnamomi*, hongo teóricamente capaz de parasitar alrededor de novecientas especies y alterar ecosistemas enteros, lo que sucede con mucha más facilidad si éstos ya se encuentran debilitados por las condiciones climáticas. Pese a esta indudable potencialidad parece que en España el problema de los agentes patógenos es determinante y tan multifactorial como el climático (por ej. *Hypoxyylon sp.* y *Cerambyx sp.* pueden ser tanto o más nocivos en Andalucía que *Phytophthora*) y no parece tampoco fácilmente reducible hacia unas pocas especies concretas. Estas características de sistemas complejos con alto nivel de interacciones, dan lugar a secas en poblaciones debilitadas y en el seno de un fitoclima muy deteriorado. La expansión de múltiples agentes patógenos favorecidos por las condiciones ecológicas y climáticas es evidente.

La evolución de las secas hace que dentro de los focos exista estructuración, muriendo la vegetación sobre todo en las proximidades de las masas rocosas y de forma más intensa en las vaguadas, esta mortalidad va decreciendo en las pendientes en las exposiciones menos estresantes (Sardinero et al, 2000). La presencia, muchas veces, de intrusiones en las zonas de seca de plantas térmicas (adelfas, lentiscos, acebuches, hiparrenias, espárragos blancos, etc.) y la exposición sur o sudoeste de la gran mayoría de los focos apuntan a desplazamientos de la vegetación debidos a un estrés hídrico estival, extremo mucho más violento en las vaguadas que en las zonas culminales. Todo esto se complementa claramente con factores bióticos que difuminan la estructuración de los focos.

Inicialmente el problema de la seca estuvo localizado en masas de *Quercus*, por su interés obvio, pero luego el problema se extendió a otras especies. En este instante apenas hay géneros que no estén sufriendo o hayan sufrido procesos de decaimiento y defoliación. Sin embargo, en algunos géneros

abundantes no hemos observado alta incidencia como sucede con sauces, retamas, tarajales, clematis, madeselvas, espinos albares, orlas espinosas, etc.

Teniendo en cuenta las características evolutivas de la mortalidad en la vegetación, se puede establecer, con todos los matices, la siguiente clasificación:

- Mortalidad en árboles próximos a cursos de agua, vaguadas y zonas encharcadas, debida a la disminución de lluvias y por ausencia de un sistema radicular extenso y profundo. Suele producirse la muerte súbita a lo largo del cauce (atabacamiento y muerte en escasas semanas). Un ejemplo de esto sucede en las masas no ripícolas muy próximas a cursos de agua más o menos permanentes.
- Mortalidad en árboles con niveles freáticos altos, en zonas donde los individuos viven por compensación hídrica, al disminuir estos niveles. La mortalidad se produce de forma más lenta, difusa y con tendencia al incremento progresivo. Aparecen defoliaciones, muertes súbitas dispersas, y alteraciones fisiológicas, son secas que afectan a zonas muy extensas con mortalidad aparentemente aleatoria. Como ejemplo, zonas semejantes a Tierra de Pinares en Castilla-León.
- Mortalidad en suelos esqueléticos con árboles mal enraizados, navas expuestas a vientos secos y zonas donde existe poca retención de agua en el suelo, laderas en solana. Los árboles se deterioran lentamente de forma más o menos homogénea hasta su muerte por debilitamiento y agentes patógenos. Esto sucede en muchas zonas adehesadas pobres y zonas culminales.
- Mortalidad en zonas de alta densidad de arbolado, zonas repobladas no tratadas o zonas con abundancia de matorral que sobrecargan la capacidad de competición por agua y nutrientes. El proceso de debilitamiento y la proximidad de los individuos aumenta las probabilidades de transmisión de agentes patógenos y se producen corros de árboles muertos, apareciendo focos dispersos; todo esto es muy dependiente de las características edáficas y de la topografía de la zona. Como ejemplo se pueden citar las zonas muy poco intervenidas donde la densidad de individuos es alta; zonas de expansión de los pinsapares, pinares de repoblación no aclarados, masas densas de *Quercus*, etc.
- Mortalidad de árboles en media ladera con buena escorrentía, exposiciones en umbría y suelos suficientemente profundos. Indican una situación climática extrema y el último grado de peligrosidad de la seca. Este proceso se dio en muchos puntos de España entre 1994-1995, entre ellos en el Parque Natural de los Alcornocales que en el 2000 llegaba a una situación límite.

La sequía como inductora de la seca es una realidad indiscutible. Su umbral hasta que se convierte en seca parece oscilar actualmente de uno a tres años. Las sequías de 1980 fueron, por ejemplo, el preludio de las secas de 1981-1983. Sin embargo, ya han aparecido en nuestro país, en el pasado, sequías de esta y mayor duración que no han generado los actuales procesos de secas. Lo que es verdaderamente diferente en esta ocasión es el comportamiento de las temperaturas en los dos últimos decenios. Desde que aparece una sequía, sus efectos evolutivos sobre la vegetación se pueden prolongar durante algunos años después de la desaparición de las condiciones secas, por debilitamiento y falta de reservas necesarias para responder a un buen rebrote. Durante las sequías fuertes se produce un proceso de selección natural de los árboles más resistentes, positivo en principio para las poblaciones.

En España la extensión de la seca ha sido matizada por el ICONA a través de la Red Europea de Puntos de Seguimiento de Daños en los Bosques, Nivel I. El problema es general, pero las áreas más afectadas aparecen en Andalucía, Extremadura, Madrid y Castilla-La Mancha, afectando a todas las especies de los géneros *Pinos* y *Quercus*.

En Andalucía, particularmente, donde el problema de la seca es extraordinariamente importante, se ha abordado un ambicioso programa de seguimiento del estado fitosanitario de las masas forestales utilizando redes sistemáticas más densas que la Red Europea. Así se ha configurando la Red Andaluza de Daños sobre ecosistemas forestales en Andalucía (Navarro et al 2000), una red única en España que es necesaria para investigar el fitoclima local y regional a una escala no contemplada por la Red Europea.

Estas redes sistemáticas de densidad variable según los ecosistemas que se analizan, se acomodan muy bien a las necesidades de sistemas frágiles como se hace en la Red Local del Pinsapo, mucho más densa que la propia Red Andaluza.

La posibilidad de asociar una estación meteorológica real o reconstruida y un vector de vegetación a cada punto de una red de estas características, junto con el conocimiento del estado fitosanitario del punto y su evolución en el tiempo con periodicidad anual, abren posibilidades inéditas en el estudio del fenómeno de la seca. La introducción de escenarios simulados sobre cada punto pueden permitir entender cuales son las tendencias probables de deterioro de la vegetación y el desplazamiento de las especies.

Las dehesas de *Quercus* son los objetivos preferentes de estos estudios, pero sus beneficios se hacen extensivos al conjunto de las formaciones forestales andaluzas, con especial aplicación a los ecosistemas más frágiles.

6. ACTUACIONES RECOMENDADAS

Es difícil predecir con exactitud la evolución de la seca, por tanto las medidas de cara al tratamiento de los montes y a la reforestación deberían encaminarse a fortalecer el estado de las masas y al establecimiento de masas mixtas con especies que puedan sustituir a las más susceptibles. En situaciones evidentes y extremas quizá se debería pensar en la sustitución de la especie principal.

Las masas forestales bien tratadas selvícolumente han soportado mejor los periodos de sequías que las que no poseían tratamientos selvícolas adecuados o estaban degradadas, envejecidas o con problemas de regeneración.

Se debería también investigar si es prudente apantallar el suelo con matorral adecuado o incrementar la cubierta forestal, ya que las especies forestales mediterráneas tienden a crear ambientes umbrosos para mantener la estabilidad climática y además considerar en qué medida esto es posible en función de las reservas hídricas. Parece que es más fácil que la seca ataque primero a las formaciones huecas, por lo que la búsqueda de una densidad óptima que compagine las necesidades ecológicas con los intereses productivos y conservadores sería la mejor solución.

Parece necesaria una selvicultura que considere al clima como una variable del ecosistema, que tienda al rejuvenecimiento de las masas y a la búsqueda también de densidades que dificulten, por la presencia de varias especies y la distancia entre los individuos, la acción de determinados agentes bióticos. En esta selvicultura el hombre debe actuar acompañando y favoreciendo el desplazamiento de las especies en un marco dinámico y cambiante. Los efectos del desbroce, podas, descorches y pastoreo sobre el decaimiento del arbolado deberían ser cuidadosamente analizados e investigados antes de su aplicación tradicional. Los árboles muertos deberían ser extraídos de los montes para evitar riesgos de plagas e incendios forestales.

Parece, también, necesaria la implantación de redes regionales y locales de seguimiento de daños en los bosques, ya que éstas poseen un papel imprescindible en el estudio, seguimiento, evolución y predicción de las secas y en la comprensión de la interacción entre el fitoclima y el estado de decaimiento o mejora de las formaciones vegetales. Estas redes serán clave en el futuro para entender la problemática asociada a las relaciones multifactoriales, dependientes de la interacción entre los factores bióticos y abióticos, que condicionarán nuestra cobertura vegetal si se implanta el cambio climático previsto.

Todo el entorno ecológico parece estar cambiando; si esto es así, nosotros deberemos cambiar con él.

7. CONCLUSIONES E HIPÓTESIS

El Cambio Climático se está convirtiendo en Cambio Fitoclimático con desplazamientos de vegetación y deterioro de las masas forestales (Sardinero et al, 2000). Hay argumentos para pensar razonablemente que esta hipótesis es real. Los tres efectos que parecen ser principales responsables de este cambio son: la variabilidad del clima, las sequías y las temperaturas en ascenso.

La amenaza de generalización de las secas es grave e inminente si continúa manteniéndose la ausencia de precipitación y se elevan las temperaturas. Dada la gran debilidad de nuestras masas y el insuficiente tiempo de recuperación hídrica, el proceso puede ser brusco y alcanzar límites insospechados e impredecibles.

Es posible que no quede más remedio que realizar sustituciones de especies preservando la biodiversidad autóctona en la medida de lo posible, ya que incluso algunas especies muy resistentes se han visto afectadas por la seca.

El estrés al que están sometidas las masas forestales puede favorecer la introducción de nuevas plagas que anteriormente estaban en estado endémico, pueden activarse portadores inaparentes de agentes patógenos y hacerse más efectivos algunos vectores transmisores de enfermedades. Como compensación otras plagas pueden entrar en fases menos virulentas.

Las secas son actualmente un proceso generalizado, en el cual parece que subyace un desplazamiento de los cinturones de vegetación.

La acción del clima sobre la vegetación puede originar la desertización por pérdida de suelo al deteriorarse la cubierta vegetal.

La subida de las temperaturas y el incremento de las tormentas estivales aumentan el riesgo de incendios forestales.

La silvicultura tradicional debería modificarse para adaptarse a este nuevo marco y no se deberían entorpecer las intervenciones necesarias en los montes, buscando un equilibrio entre el intervencionismo y el conservacionismo. Los excesos en ambos extremos pueden ser muy peligrosos si no están avalados por la necesaria investigación. En todo caso, una silvicultura correcta de carácter dinámico será básica en el futuro.

8. BIBLIOGRAFÍA SUGERIDA

Allué Andrade, J.L. 1990. *Atlas Fitoclimático de España Taxonomías*. Madrid. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (MAPA): 221 p.

- Allué Andrade, J.L. 1997. *Tres nuevos modelos para la fitoclimatología forestal. Diagnosis, Idoneidad y Dinámica de Fitoclimas*. Actas II Congr. For. Español: 31-49. Pamplona.
- Fernández Cancio, A., Manrique Menéndez, E. 2001. *Programas GENPT para la reconstrucción de una estación meteorológica con resolución mensual en cualquier punto del territorio español, conocidas sus coordenadas y su altitud*. N° de solicitud: 106.649 (provisional) Fecha de Presentación: 24/07/2001. España. Informe IPCC, 2001.
- Manrique Menéndez, E., Fernández-Cancio, A. 2000. *Extreme Climatic Events in Dendroclimatic Reconstruction of Spain*. Climate Change, Vol. 44/1-2 (2000), pp. 123, 138, Kluwer Academic Pub.
- Ministerio de Medio Ambiente. 2001. *Red de Nivel I. Antecedentes*. En: URL: http://www.mma.es/conserv_nat/montes/forestal/red_n1.htm.
- Navarro Cerrillo, R.M.; Fernández Rebollo, P.; Ruiz Navarro, J.M. 2000. *Manual de campo para establecimiento de los puntos de la Red Andaluza de Daños sobre ecosistemas forestales en Andalucía*. Servicio de Ordenación de los Recursos Forestales. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. 30 pp. Sevilla.
- Petit J.R., Jouzel J., Raynaud D., Barkov N.I., Barnola J.M., Basile I., Bender M., Chappellaz J., Davis J., Delaygue G., Delmotte M., Kotlyakov V.M., Legrand M., Lipenkov V., Lorius C., Pépin L., Ritz C., Saltzman E., Stievenard M., 1999, Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 years from the Vostok Ice Core, Antarctica, Nature, 399, pp.429-436.
- Rivas-Martínez S. 1987. Memoria del mapa de series de vegetación de España E 1:400.000. 268 pp. 29 mapas. ICONA.
- Rivas-Martínez S., Loidi Arregui, J. 1999. *Bioclimatology of The Iberian Peninsula*. In *Itinera Geobot.* 13: pp.41-47.
- Sánchez Peña, G. 2000. *Bases físicas de las Redes Europeas. Objetivos y rutina*. Ponencia en XIV Curso de Formación de Técnicos Especialistas en Evaluación de Daños en los Bosques. 3-7 julio de 2002. Madrid.
- Sardinero Roscales, S., Fernández Cancio, A., Pereira, I., Manrique, E. 2000. *Oak Decline and Vegetation Dynamics in Southwestern Spain*, 6 pp. INIA Report Project, N° 1FD97-0911-C03-01, INIA, Madrid, Julio 2000.
- Servicio de Protección contra agentes nocivos - Dirección General de Conservación de la Naturaleza (SPCAN-DGCN). 2002. *Red de Seguimiento de Daños en los Montes (Red CE de Nivel I). Manual de Campo*. Ministerio de Medio Ambiente. 55 pp. Madrid.