



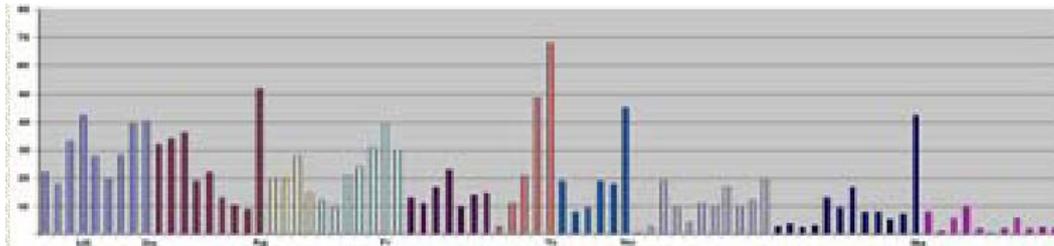
## IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA BIODIVERSIDAD Y LOS BOSQUES

**Fernando Valladares**

Centro de Ciencias Medioambientales, CSIC

España ha pasado en solo 20 años de ir a la zaga en ecología y cambio global a situarse probablemente entre los tres o cuatro principales países del mundo en investigación de calidad en ecología, por lo que serían muchos los colegas españoles que perfectamente podrían hoy estar hablando aquí. En relación al tema de la conferencia, a los bosques y el sector forestal se podría probablemente destinar todo un seminario por lo que tienen mucho que aportar aquí. No obstante, mi aproximación como ecólogo es más desde la biodiversidad, desde la combinación de especies. Podemos seguir la analogía de Miguel Delibes hijo, que hablaba de la biodiversidad como "esos ladrillos que conforman un edificio", al que inicialmente podemos ir quitando ladrillos sin que se caiga hasta un momento en que la pérdida de un nuevo ladrillo colapsa todo, no siendo todos los ladrillos igual de importantes. Esta analogía de los ecosistemas como una combinación de especies es la que me sirve para transmitirles que, de alguna manera, los bosques estarán presentes en mi exposición, pero no los abordaré literalmente.

La biodiversidad del planeta ha sufrido muchas crisis. En la siguiente gráfica pretendo que se vea simplemente la historia de la vida en la tierra, que ha sufrido al menos cinco grandes crisis. Se comenta que estamos en la **sexta crisis de biodiversidad**, y posiblemente al planeta no le preocupe en absoluto que ahora mismo estemos ante una crisis de biodiversidad, a los que nos puede preocupar, como bien dejó claro José Manuel Moreno al principio, es a nosotros, en parte por la responsabilidad moral, pero en caso de que no tengamos, por las consecuencias en la calidad de nuestra propia vida, y como veremos al final, por las consecuencias en la biodiversidad de nuestra propia especie.



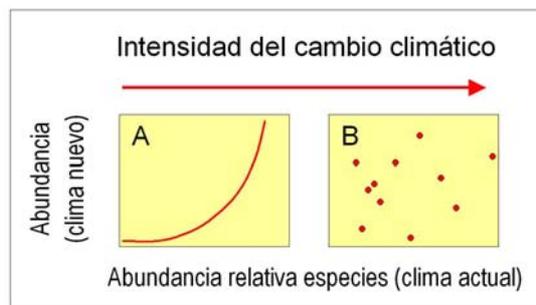
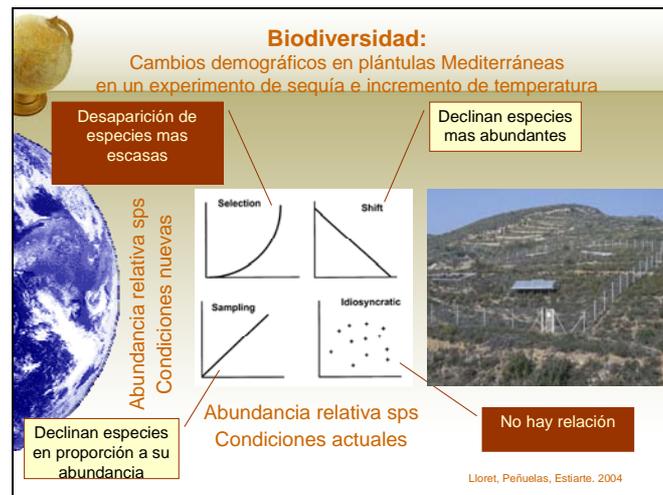
Podemos encontrar la huella humana en extinciones más o menos recientes. La aridificación de muchas zonas de la tierra, acoplada a otras actividades humanas ha llevado a **extinciones de fauna**. Esto está muy bien documentado en el este de la Cuenca Mediterránea, donde hasta hace no mucho la propia monarquía de Jordania cazaba guepardos. La aridificación del clima, sumada a cambios en los usos del territorio, etc., ha llevado ya a la extinción de varias especies emblemáticas, y a la lenta extinción actual de especies como el quebrantahuesos, el oso o el lince.

Sean climáticas directas o indirectas, está muy claro que hay una injerencia humana en este ritmo de extinciones. Se habla de un ritmo actual de extinciones de entre 100 y 1000 veces superior al ritmo de fondo, es decir, hay incertidumbre en la magnitud del ritmo de extinción, pero en cualquier caso, hay una gran cantidad de especies que se extinguen por nuestra causa.

Algunos pronósticos hablan de que el 25% de los mamíferos se podrían extinguir en 30 años. Quizá las cifras se puedan mejorar, pero la magnitud de las tasas de extinciones es muy alta, evidenciando nuestra responsabilidad.

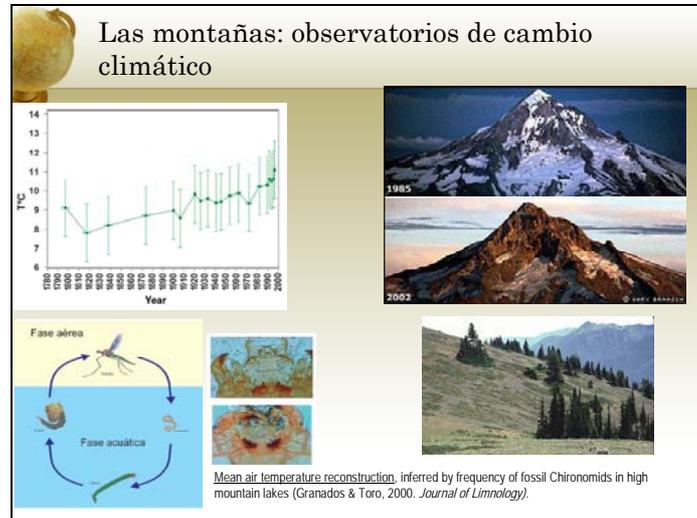
Como científicos, buena parte de lo que se sabe y de lo que voy a comentar sobre cambio climático y biodiversidad corresponde a **estudios de correlación**, estudios observacionales. La observación es solamente la primera parte del método científico, a la cual debe suceder la comprobación de las hipótesis de forma experimental, para lo cual necesitaríamos en algunos casos una segunda Tierra que hiciera de control, y que no tuviera a nuestra especie emitiendo gases de efecto invernadero. Ante su imposibilidad actual, se hacen experimentos en micro cosmos o en condiciones simplificadas, como las que se hacen en la Costa de Garraf, donde destaca el trabajo del CREAM (Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals) de Barcelona, por la multitud de información que va obteniendo de sus sistemas experimentales, que son muy complejos y constituyen casi la excepción, ya que como digo la mayoría de los trabajos son observacionales.

De esta gran colección de trabajos, se podrían extraer muchas conclusiones, pero quizá una de las más relevantes sobre la biodiversidad es que la composición de especies, la diversidad que puede haber en un futuro, guarda una cierta relación con la diversidad y composición de especies en la actualidad si el cambio climático tiene una intensidad media o baja. Sin embargo, si el cambio climático es muy intenso, realmente la composición del mundo futuro guardará muy poca similitud con la composición del mundo actual y no tenemos herramientas para predecirlo.



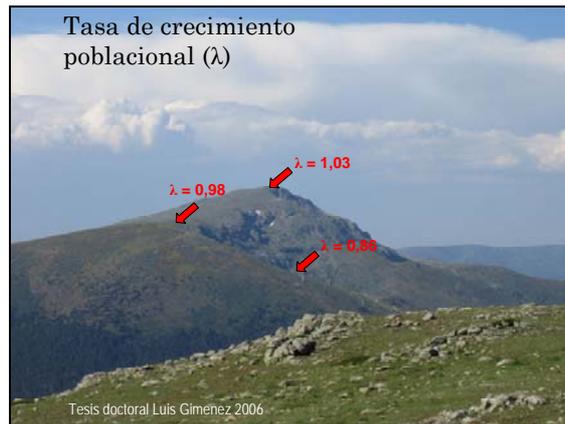
Las **montañas son observatorios naturales** del cambio climático. A Humboldt le fascinaron, veía todos los cinturones de vegetación planteados como tiralíneas, y esos límites entre tipos de vegetación, que nos llaman tanto la atención desde el avión cuando sobrevolamos Canarias, han servido como indicadores del cambio

climático desde el comienzo de las investigaciones y observaciones. Los límites de los bosques que suben ladera arriba, los glaciares que se funden, incluso los mosquitos y muchos otros organismos asociados a algunas lagunas, nos van dejando, como ocurre en Peñalara (Madrid), indicaciones de que el clima, hace apenas unas décadas o siglos, fue muy diferente.



Podemos ir a ejemplos concretos, como una tesis doctoral reciente desarrollada en el Parque de Peñalara que ha estudiado la evolución de determinadas poblaciones a lo largo del **gradiente altitudinal**: por ejemplo, entre la Laguna y el pico de Peñalara, poblaciones de una especie de *Silene*, tienen actualmente en su límite altitudinal inferior una tasa de crecimiento poblacional inferior a uno. Esto quiere decir que se van extinguiendo gradualmente, y como ocurre en todas las montañas, no hay escape en altura, es decir, las poblaciones de más arriba no podrán continuar subiendo. Así que, una de las cuestiones adicionales para estudiar las montañas es el riesgo de extinciones locales.





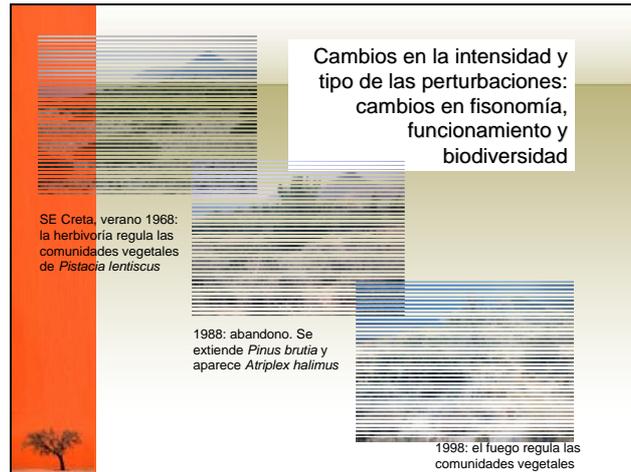
*Tesis doctoral Luís Giménez, 2006*

Hay muchas fotografías que cuando se recomponen a lo largo de varias décadas permiten observar **migraciones altitudinales de ecosistemas** completos. Por ejemplo en el caso del Montseny, la siguiente imagen se ven algunas hayas en los años 20, más hayas en los años 40, y ya en la actualidad, el hayedo llega hasta la cima y se extiende de forma más o menos completa.



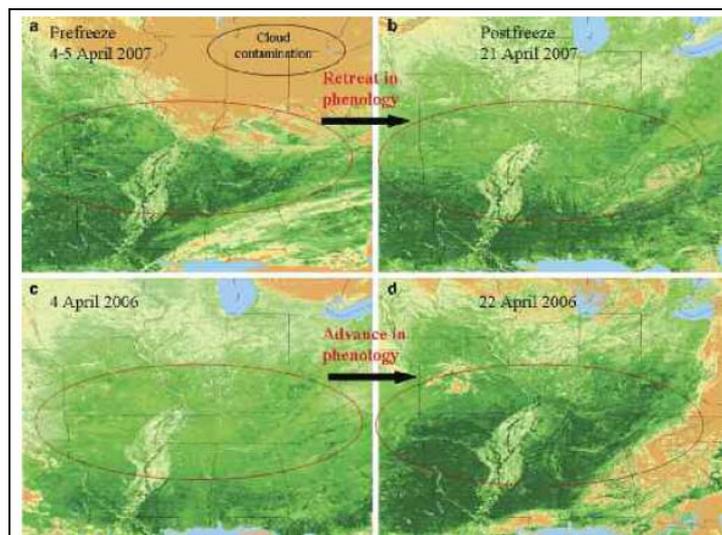
Pero el clima no es lo único que ha cambiado. Muchas de estas zonas, sobre todo en zonas de montaña, en los últimos 40 o 50 años, han sufrido grandes **cambios en sus usos**, que deben combinarse con el clima para entender que está pasando. Lo mismo que decimos del Montseny o de Peñalara podríamos decir de tantas otras montañas donde se han registrado cambios muy importantes en la distribución altitudinal de todos los ecosistemas y de las especies que acogen.

Pero cuando uno recopila estas fotografías, como las siguientes del sureste de Creta, de los años 60 a 80-90, la tentación es decir que hemos fotografiado el cambio climático. Sabemos que el clima ha cambiado y estos estudios de correlación en ocasiones pueden llegar a conclusiones un poco erróneas, porque hay que pensar que **no todo es debido al cambio climático**. Por ejemplo, en las siguientes imágenes las comunidades de arriba a la izquierda de los años 60 estaban dominados por una gran presión de ganado, había producción de queso local de gran calidad, había una carga ganadera que no existe en la actualidad y que se fue abandonando, y a partir de los años 70 y 80 fue el fuego en realidad el que empezó a dominar y controlar el paisaje, cambiando la composición de especies. El clima estaba de fondo, indudablemente hay un vector de aridificación y calentamiento, pero no podemos achacar todo lo que se ve en estas fotografías al clima.



Es importante enfatizar esta idea de muchos factores cambiando a la vez, y enfatizar también la idea de que, si no entendemos bien el clima, la escalada de incertidumbre va creciendo. Además hay muchos aspectos del clima que cambian, no sólo cambian los promedios de temperaturas, sino que también cambia, por ejemplo, la propia **variabilidad climática**. La variabilidad climática se incrementa y eventos extremos empiezan a ser menos infrecuentes, las olas de calor, o las heladas fuera de tiempo empiezan a ser algo más frecuentes. Esto permite reconciliar opiniones y observaciones muy diversas. Es compatible encontrar calentamiento y también encontrar heladas, lo que ocurre es que tienen lugar fuera de tiempo, y es lo que las hace muy deletéreas.

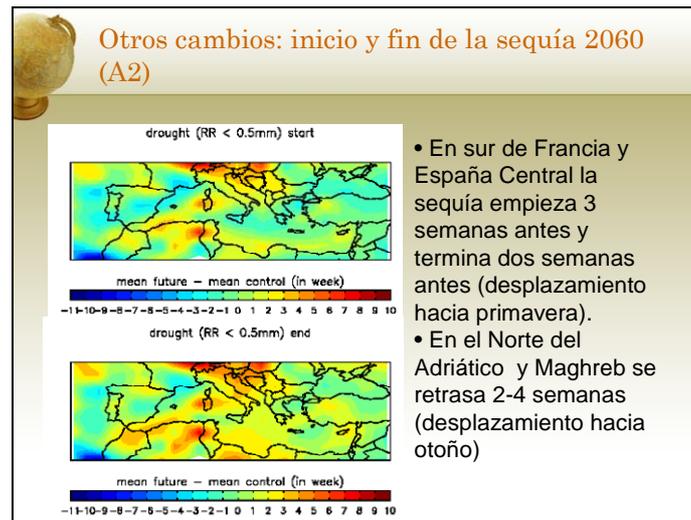
Esto es lo que se demuestra en el siguiente trabajo que se hizo en los bosques de Estados Unidos. Son fotografías satélite que vienen a mostrar, como en un año en el que la helada se produce fuera de tiempo la fenología se retrasa. En la parte superior se observa el índice de verdor en abril y en un año con un invierno muy cálido (a), y en la inferior, el mismo mes de abril en un año normal, que va lógicamente mucho más retrasado (c). Cuando la helada ocurrió a mediados de abril las formaciones forestales estaban muy desarrolladas, por lo que tiene unos efectos catastróficos, retrasa la fenología y especies muy resistentes a las heladas presentan síntomas de daño (b). Esto se observó no sólo en los bosques, sino también en los pastos y en los cultivos asociados.



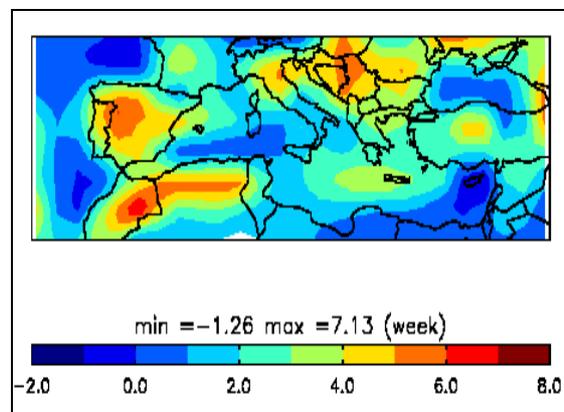
El calentamiento avanza la fenología (4-5 abril 2007)  
Una helada tardía retrasa la fenología (21 abril 2007) en Norteamérica  
(Gu et al 2008)

Es decir, la variabilidad del clima, los cambios en las frecuencias y en los momentos en que ocurren eventos climáticos, pueden tener efectos tan notables como los cambios en los promedios del clima.

Ocurren más cambios en el clima, por ejemplo en relación con las **sequías**. Sabemos que la Cuenca Mediterránea va a ser cada vez más seca, pero hay zonas en las que la sequía se desplaza hacia la primavera (zonas en azul en la siguiente figura), mientras que en otras se desplazan hacia el verano, donde empieza más tarde la sequía. Este cambio tiene, lógicamente, muchas implicaciones ecológicas para los ciclos biogeoquímicos, para la sincronización entre las especies, etc., pero también implicaciones económicas para la planificación de cultivos y la productividad agrícola.



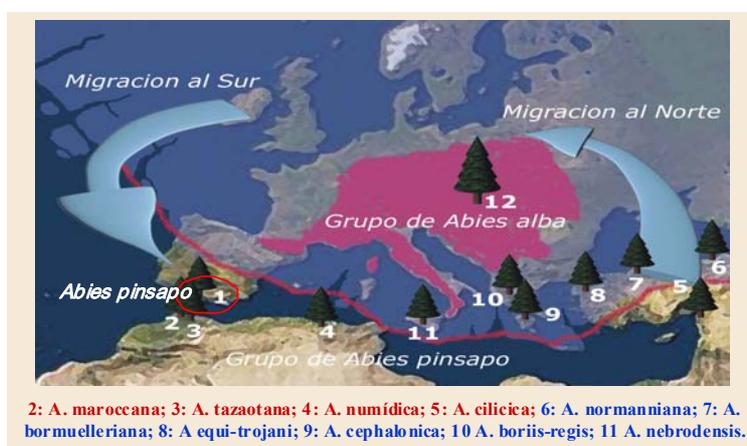
Una perturbación clásica asociada al cambio climático en el ambiente mediterráneo, es el **riesgo de incendios**, es decir, el incremento de las semanas al año en las que puede haber riesgo de incendios por una combinación de sequía y calor, que en el interior de la Península puede llegar incluso a un mes en algunos escenarios. Vamos teniendo pequeños adelantos de que esto podría ser así en forma de incendios devastadores con unos tamaños y unas intensidades catastróficas. Indudablemente, una vez más, no se deben solo al clima, aunque éste lo haga más favorable, sino también a actividades negligentes o una combinación de circunstancias más allá del clima, lo que se ha ido observando año tras año en las dimensiones y el grado de las catástrofes.



Incremento en las semanas de riesgo de incendio 2060 (A2)  
FWI > 15 (fire weather index) tiene en cuenta temperatura, humedad y viento.

Otro efecto curioso es que el calentamiento global beneficia a algunas especies que no nos gustan mucho. Nos gustaría que le beneficiara al lince o a otras especies en cuya conservación invertimos mucho dinero. Sin embargo, nos perjudica al **beneficiar a comensales** que nos acompañan en todo el planeta, como ratas, hormigas o cucarachas, cada vez más frecuentes en casas que antiguamente estaban libres simplemente porque hacía frío.

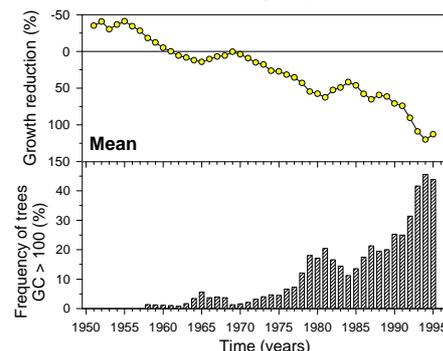
Para entender los efectos en primer lugar tendremos que aumentar la escala temporal, para ver si lo que está ocurriendo ha tenido precedentes en la historia de la tierra. En paralelo, hay que aumentar la escala espacial para entender si estos procesos tienen una escala más o menos global o son cuestión regional. Pero como ecólogos lo que tenemos que reivindicar es que, nos guste o no, **los sistemas son complejos**. Podemos simplificarlos en un microcosmos, podemos ensayarlos en un laboratorio, pero la naturaleza es complicada, y las especies interactúan entre ellas. Esto tiene cosas buenas y cosas malas. Entre las malas se encuentra nuestra capacidad limitada para entenderlo.

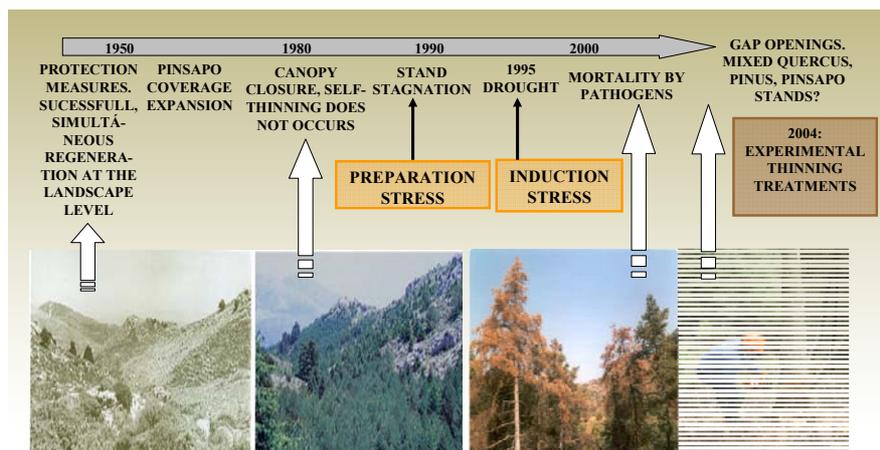


Como ejemplo encontramos el **caso del pinsapo** (*Abies pinsapo*), que es además un caso emblemático. Se trata de una especie que ha estado recluida en una zona en la que el clima ya no es el que esta especie necesita. El clima se ha vuelto muy seco, muy mediterráneo, y quedan recluidos, tanto el pinsapo como otra serie de abetos, en las montañas entorno a la Cuenca Mediterránea. Por el contrario el

abeto blanco (*Abies alba*) no tiene problemas. Sin embargo, todas las especies de abetos que tienen distribuciones mucho más limitadas están realmente en un callejón sin salida evolutiva ni geográfica.

El siguiente gráfico muestra cómo disminuye el promedio de crecimiento anual de los pinsapos de esta zona. Sequías muy intensas tienen efectos devastadores, y una vez más hay que poner en contexto el efecto del clima. En la España de los años 40, después de la Guerra Civil, se talaba todo lo que se podía quemar. Así algunos pinsapares quedaron con apenas algunos ejemplares dispersos. Con las medidas de protección que se realizaron a continuación estos pinsapares se regeneraron de forma natural, a veces ayudados, a veces simplemente por sus medios, dando lugar a unas masas muy densas, con prácticamente una sola clase de edad y con una densidad muy alta. Esto conlleva que cuando viene una sequía intensa, como la del año 95, en lugar de colapsar algunos individuos aislados, colapsa la masa en su conjunto, que ya estaba al límite hídrico y que todavía no había tenido oportunidades por sí misma de irse auto-aclarando y generando esa diversidad de clases de edad que hace que todo el bosque pueda soportar mejor un evento extremo. Esto se podría trasladar también a especies de interés comercial como el pino piñonero, sobre el que existe un modelo muy interesante y datos muy completos.



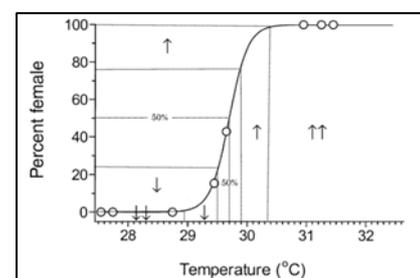


J.A. Carreira

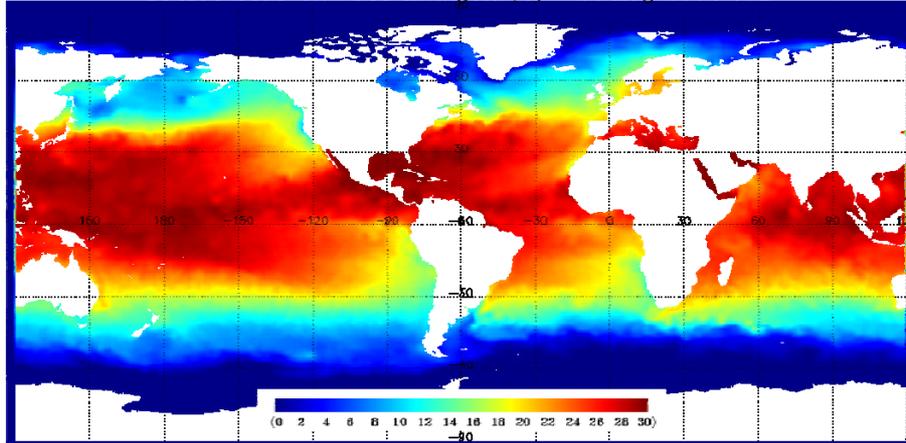
A continuación se ilustra el caso de los **efectos del cambio climático sobre algunas especies**, a modo de ejemplo. La biodiversidad está compuesta de organismos muy distintos, y parece que todo se combina en contra de algunos organismos.

Los **reptiles**, al no controlar su temperatura, son muy sensibles a la temperatura del aire y su actividad depende directamente de ella. En primer lugar, muchos reptiles tienen una movilidad geográfica muy reducida, con lo cual, la fragmentación del territorio limita su capacidad para encontrar micro-hábitats que tengan un clima adecuado para ellos. Pero además, la biología reproductiva de estos organismos, a través de unos huevos que son muy permeables y que no tienen la cáscara dura como los de ave, hace que la desecación del suelo comprometa el desarrollo de los embriones, de tal forma que tenemos otro efecto adicional del clima sobre los reptiles. Se está observando en muchas poblaciones de camaleón y de lagartos y lagartijas en el sur de España mortandades de hasta el 100 % de la población, ya que también hay que añadir el hecho de que los huevos que producen estos reptiles se convierten en una recompensa hídrica, es decir, no sólo alimentan y aportan nutrientes de distintos tipos, sino que son ricos en agua, y cuando se aridifica el clima, se convierten en un alimento que para animales oportunistas tiene doble valor, no sólo alimenta, sino que aporta agua. Por lo tanto animales que normalmente no comían huevos empiezan a hacerlo, predando intensamente esas poblaciones.

Yendo más allá, podemos analizar el caso de muchos reptiles cuyo sexo no está determinado genéticamente, sino que lo determina la temperatura. Por ejemplo, en las tortugas apenas medio grado de diferencia en la temperatura de la arena donde ponen los huevos, hace que toda la población pase a ser hembra (gráfica de la derecha), imposibilitando su pervivencia futura. En la imagen adjunta se muestran los rangos de temperatura que se detectan en las arenas de muchos sitios de la Tierra. Además, las playas mediterráneas se destinan ahora a otros muchos más usos que la reproducción de tortugas, pero las tortugas son muy fieles al lugar donde nacieron, con lo cual vuelven a la misma playa 20 o 30 años después y se encuentran con que ahora tienen una estupenda instalación turística.



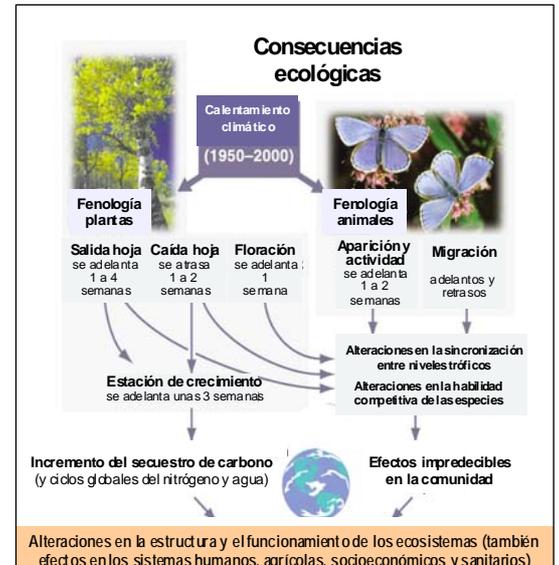
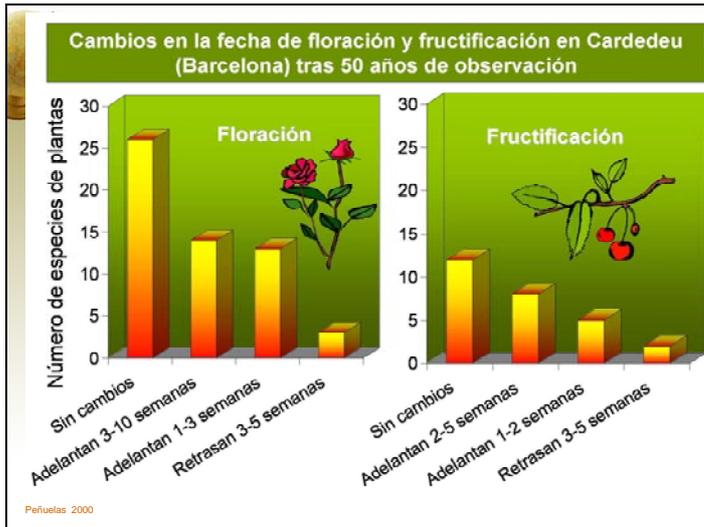
FNMOG OTIS 4.0: SST Analysis (C) 22 Aug 2002 00Z



Hay otros organismos con mayor movilidad que pueden buscar micro-hábitats, por ejemplo las **aves** y las **mariposas**. Un estudio a largo plazo en la Sierra de Guadarrama, mostró como 16 especies de mariposas se movían buscando estos hábitats. El calentamiento observado en 30 años ha conllevado una elevación de las poblaciones de estas 16 especies, que ahora se encuentran en promedio a una altitud 200 m superior. El problema es que, simplemente por la forma que tienen las montañas, subir 200 m de altitud implica quedar confinadas en un área un tercio más pequeña.



Las **plantas** no pueden migrar, pero pueden aclimatarse y responder al cambio ambiental. Por ejemplo, pueden cambiar los ritmos fenológicos, como se muestra en observaciones ya clásicas sobre el almendro y sobre tantas floraciones y fructificaciones de especies, tanto de interés agronómico como especies naturales. El siguiente gráfico, de un estudio a largo plazo de más de 50 años de observación, ilustra que no todas las especies responden igual: hay especies que adelantan mucho la floración y/o la fructificación, del orden de un mes, otras la adelantan solamente un par de semanas, etc. Este hecho de que no todas las especies respondan igual tiene mucha importancia si recordamos la idea de que las especies no están solas, que se necesitan unas a otras, que unas tienen que coordinarse con otras, y si no todas responden igual, si unas se adelantan dos semanas y otras cuatro, empiezan los problemas.



Peñuelas & Filella. 2001

Es decir, nos encontramos ante grandes **consecuencias ecológicas** que son un poco inciertas cuando unas especies responden al cambio climático y otras no tanto, dado que existe una interdependencia entre ellas.

En el **caso del oso**, la mayor frecuencia actual en la ruptura de su hibernación no depende tanto de que los inviernos sean especialmente cálidos, sino de lo mal que hayan comido en otoño. El haber comido mal hace que tengan hambre en la mitad de su hibernación y salgan a buscar comida en pleno invierno. De forma que tenemos un efecto sobre la actividad del oso que en realidad es indirecto, es mediado a través de las plantas que le sirven de alimento.

Un mensaje interesante se desprende de algunas investigaciones recientes sobre interacciones entre organismos que revelan que las **relaciones** son **asimétricas**. Esto quiere decir que hay especies que necesitan mucho a otras, mientras que para otras esta relación es indiferente. Esta asimetría en las relaciones podría tener ventajas en un escenario cambiante, tanto de clima como de otros factores ambientales, porque una especie muy vulnerable no arrastraría necesariamente a otras, y la estructura en conjunto de la biodiversidad de una zona podría tener más capacidad para tolerar estos cambios. Hay simulaciones muy interesantes, por ejemplo sobre la introducción del lobo en Yellowstone indicando como la introducción del lobo permite atenuar los efectos negativos del cambio climático.

El corolario de las interacciones complejas es que un ecosistema rico en especies y con interacciones tiene muchas más posibilidades de tolerar el cambio climático o cualquier cambio ambiental importante, que un sistema empobrecido, tanto en especies como en interacciones.

Para acabar quería reflexionar sobre **nuestra propia especie**. Realmente el ser humano, es otra especie más. El origen de los humanos se debe a grandes cambios climáticos, a fronteras evolutivas ante climas nuevos, y estamos mucho más condicionados por el clima de lo que muchas veces pensamos. No sólo decide el clima si cogemos o no el paraguas, sino que muchas de nuestras actividades, no solamente económicas y del día a día, dependen en gran medida del clima a pesar de la tecnología que tenemos.

Nos cuesta creer que seamos una especie más, desde luego tenemos comportamientos que nos permiten pensar que somos diferentes, pero lo que estamos haciendo con el medio ambiente tiene unas grandes repercusiones sobre



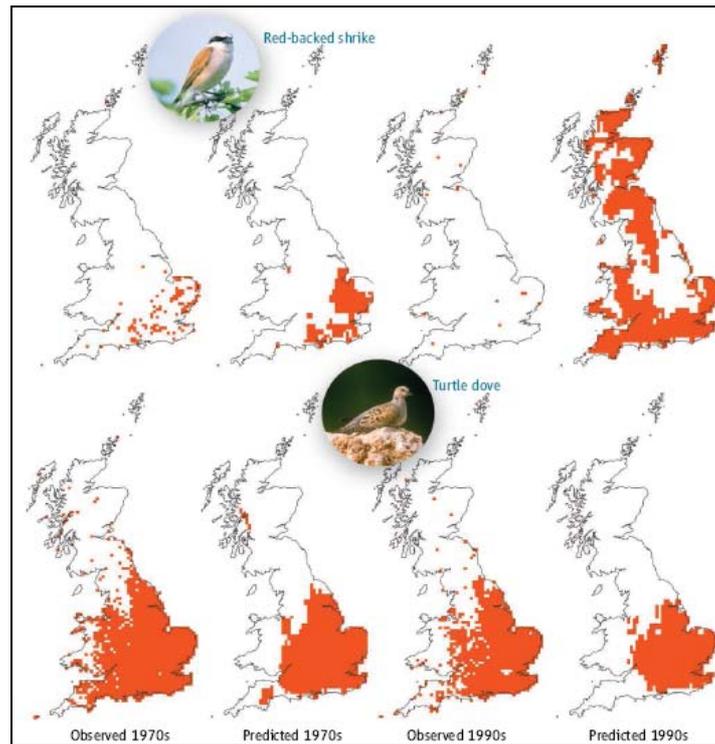
nosotros mismos y sobre la biodiversidad, no sólo genética de la propia especie, sino también sobre la diversidad cultural.

Hemos hablado de **refugiados climáticos** como el pinsapo, y existen muchos ejemplos más. Estamos acostumbrados a oír hablar de este tipo de refugiados climáticos, pero nuestra propia especie es una de las que actualmente busca más refugio por razones climáticas. De hecho más del 60% de los movimientos migratorios de nuestra propia especie en la actualidad son por desastres naturales, y muchos de ellos se han acentuado por el cambio climático. Sin embargo, Naciones Unidas no reconoce aún el estatus de refugiado climático.



Como última reflexión, sugiero que se desconfíe de los científicos que no muestren los **límites del conocimiento**. Estos modelos de distribución de las especies en un escenario futuro son unas líneas de investigación muy interesantes que proveen de muchas hipótesis para la gestión de los recursos naturales y para estudiar cómo va a evolucionar la biodiversidad, pero sin embargo, tienen muchas limitaciones. Se apoyan sobre un desconocimiento, muchas veces de la biología o ecología de algunas especies. En ocasiones los modelos funcionan, pero algunos autores, como el grupo de Araujo del Museo de Ciencias Naturales, reconocen que también tienen fallos notables.

Hay casos en que los modelos se estudian de forma retrospectiva y se analiza si serían capaces de explicar cambios en la distribución de una especie en los últimos años. En el siguiente caso (figura de la derecha), para la tórtola se obtuvieron datos congruentes y, sin embargo, en el caso del alcaudón, las predicciones no fueron acertadas. Como puede verse en el mapa de la derecha inferior, el cambio climático en este modelo propondría una gran extensión del alcaudón que no coincide para nada con lo que se está observando. Es decir, hay mucha imprecisión todavía en el conocimiento de algunas de estas especies, para simular como les irá en el futuro, pero esto no significa que estos modelos no sean una buena herramienta.



*Araujo & Rahbek. Science 2006*

Como **conclusiones**, me atrevo a exponer tres que me parecen las que mejor sintetizan lo que he venido contando:

1. Reconocer la influencia que tenemos como especie en el funcionamiento de los ecosistemas y en los niveles de biodiversidad.
2. El cambio climático no actúa solo, actúa siempre en combinación con otros factores que son tanto o más importantes que el cambio climático, aunque el cambio climático se va convirtiendo cada vez en un motor más importante.
3. La novedad del cambio climático actual es que nuestra especie es a la vez causante y sufridora de las consecuencias.