

# Los efectos biológicos del cambio climático

I. Lorente, D. Gamon, J.L. Gómez, R. Santos, L. Flores, A. Camacho, L. Galindo, J. Navarro

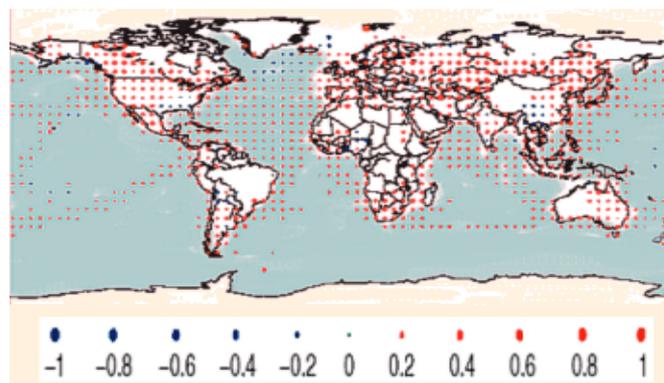
Dpto. Interuniversitario de Ecología. Sección de Alcalá. Edificio de Ciencias. Universidad de Alcalá. E-28871, Alcalá de Henares, España.

Este artículo presenta un resumen de la puesta en común que un grupo de alumnos hicieron para un curso de doctorado del programa "Cambio global y desarrollo sostenible" de la Universidad de Alcalá. En los últimos años se ha detectado un cambio en las variables climáticas motivado por factores biofísicos y humanos. La respuesta de los sistemas biológicos a los vectores de cambio (aumento de la temperatura media y concentración de CO<sub>2</sub>, cambio de los patrones de precipitación y aumento de la severidad y frecuencia de eventos extremos) ha sido experimentada por los distintos niveles de organización -ecosistema y comunidad, población e individuo- de los sistemas biológicos de ambientes acuáticos y terrestres. También los procesos ecológicos son influidos por el cambio climático y determinan, junto a la capacidad de adaptación, los efectos que los cambios generan sobre la estructura y función de los sistemas biológicos. Este trabajo pone de manifiesto la complejidad asociada al estudio de los efectos biológicos del cambio climático en los sistemas biológicos intervenidos en mayor o menor medida por el hombre.

## Introducción

La evolución del clima a lo largo de la historia de la Tierra ha experimentado numerosos cambios que obedecen a ciclos dinámicos naturales. Sin embargo, al observar esta evolución en el último siglo, no se puede afirmar que dichos ciclos hayan seguido una tendencia clara y están referidos -en su mayoría- a causas antrópicas de emisión de gases de efecto invernadero y a la destrucción de la capa de ozono. Existe una tendencia a aumentar la temperatura global del planeta, en relación a lo acontecido en siglos anteriores, que puede relacionarse con el aumento de dichas emisiones.

Existen, además, numerosos estudios realizados mediante simulación que tratan de dar información sobre la evolución futura del clima en la Tierra y prevén un mayor incremento de las temperaturas. Se han observado otros cambios en la circulación del aire atmosférico, en las precipitaciones, en el nivel del mar y en el desarrollo de glaciares (Walther *et al.*, 2002).



**Figura 1.-** Evolución de las temperaturas a lo largo del siglo XX. En los últimos 100 años la temperatura de la tierra se ha incrementado 0.6°C con dos periodos principales de calentamiento, entre 1910 y 1945 y desde 1976 hasta en adelante (Fuente: IPCC, 2002).

La mayor parte de las especies tienen asociado un rango térmico, de humedad y de radiación, relacionado con su fenología y fisiología. Además, como consecuencia del aumento de la temperatura y la variación en el reparto de las precipitaciones asociadas al Cambio Climático (CC), numerosas especies van a ver modificada su hábitat aumentando o disminuyendo su rango de distribución.

En el presente estudio se analizan los efectos biológicos del cambio climático (CC) indicados por modificaciones en la estructura y configuración de los ecosistemas, en relación a lo cual los procesos de *reensamblaje ecosistémico* cobran ? junto con otros procesos que dominan en los niveles de organización de población e individuo- una especial importancia.

### Metodología

Se revisaron las fuentes documentales más relevantes relacionadas con los efectos del CC, con especial atención a las respuestas experimentadas por los sistemas biológicos ante los vectores de cambio naturales y antrópicos. La literatura ha sido consultada a partir de publicaciones científicas y páginas de organismos internacionales disponibles en Internet. Se siguieron dos líneas de trabajo complementarias: 1) el grueso de la información valorada se ha estructurado conforme a la influencia del CC sobre los distintos niveles de organización biológica y distinguiendo los ecosistemas terrestres de los acuáticos; 2) mediante un proceso de reflexión conjunta, se ha realizado una labor de síntesis para la integración de variables complejas -procesos ecológicos- que otorgan un valor añadido al trabajo.

## Efectos del cambio climático en los distintos niveles de organización de los sistemas biológicos

### Nivel ecosistémico: ambientes terrestres

El CC supone una importante presión adicional sobre los ecosistemas terrestres, afectados ya seriamente en la actualidad por la contaminación, la sobreexplotación y la fragmentación del territorio. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2002) indica, en base a modelos predictivos, que en promedio el 33% del área forestal actual se verá afectada a causa de cambios en la frecuencia e intensidad de los fuegos, la distribución del agua y la diversidad de la vida silvestre (Dale, 2001). Scott *et al.* (2000) y Mouillot *et al.* (2002), entre otros, han estudiado los efectos del CC en relación a la frecuencia e intensidad de los fuegos en la vegetación subártica y mediterránea respectivamente, constatando que el calentamiento adelanta los fuegos y los hace más largos, dejando como resultado fases de sucesión temprana (estepa-pastizal) que dominan el paisaje.

Los efectos sobre los ecosistemas terrestres varían de unas regiones a otras. Así, los bosques subtropicales secos en Zimbabwe podrían disminuir cerca de un 45%. En México se espera que los bosques secos se expandan, mientras la cobertura de los bosques tropicales montañosos húmedos probablemente se vea reducida. En las regiones tropicales también se prevén cambios en la estructura y composición de sus masas forestales, debido a su sensibilidad a las variaciones en la disponibilidad de agua y humedad del suelo. En los bosques boreales y templados el aumento de temperatura podría ampliar los rangos temporales de crecimiento y reproducción, favoreciendo su expansión hacia los polos, pero incrementando a su vez la frecuencia de fuegos y brotes de plagas (IUCN, 2000).

### Nivel ecosistémico: ambientes acuáticos

Las masas de agua continentales constituyen uno de los ambientes más vulnerables a los efectos inducidos por el CC. Al mismo tiempo, diversos organismos internacionales resaltan su importancia como principales amortiguadores de estos efectos (Bergkamp y Orlando, 1999; RAMSAR, 2000). Los humedales suponen un importantísimo sumidero de CO<sub>2</sub>, metano y otros gases invernadero, además de actuar en la costa como defensas ante tormentas y subidas del nivel del mar (RAMSAR, 2000).

A nivel mundial las afecciones pueden ser muy graves. En EEUU se estima que una subida de tan sólo un pie (0,3048 metros) en el nivel del mar eliminaría del 17 al 43% de sus humedales (EPA, 2002). Las zonas áridas y semiáridas parecen ser las más vulnerables a la disminución de las precipitaciones, como ha experimentado el gran Lago Chad con la dramática disminución de su superficie desde 1960 (Bergkamp y Orlando, 1999; Mayell, 2001). Los humedales situados en latitudes elevadas son especialmente vulnerables al calentamiento global y se prevé un cambio en su distribución hacia el Norte (Bergkamp y Orlando, 1999). En la Península Ibérica, los veranos serán más secos y pondrán en peligro hábitats como los de Doñana (RAMSAR, 2000).

Los sistemas costeros se verán afectados debido al aumento del nivel del mar y de la temperatura del agua, así como al mayor riesgo de tempestades. Así, las costas bajas de África occidental y central están expuestas a riesgos de erosión e inundación y una fracción del delta del Nilo podría perderse; en Europa algunas áreas costeras se hallan ya bajo el nivel

medio del mar y muchas otras son vulnerables a mareas de tempestad; y en las costas bajas y estuarios de América Latina, el aumento del nivel del mar podría reducir la línea de costa y gran parte de su diversidad biológica. En el Ártico se espera una pérdida considerable de hielo, lo cual aumentaría las inundaciones en otros puntos geográficos y transformaría el paisaje en gran medida. En la Antártica los cambios que se esperan son menores, pero podrían motivar el desplazamiento de algunas especies hacia el polo y muchas otras, dependientes del hielo, podrían encontrarse en desventaja en ambas áreas polares (Dokken *et al.*, 1997).

Las alteraciones en pocos grados de la temperatura del mar pueden acarrear también importantes alteraciones tróficas. En las islas Galápagos, durante el fenómeno del Niño de 1997-1998, la superficie del agua aumentó su temperatura y gran número de organismos filtradores murieron a consecuencia de la disminución del plancton del que se alimentaban, alterando la red trófica (Benchuey, 1999; Doubilet, 1999).

#### Nivel poblacional y de comunidades: ambientes terrestres

Los regímenes climáticos influyen sobre la distribución de las especies a través de sus umbrales fisiológicos de tolerancia a la temperatura y precipitación. Actualmente esta distribución está cambiando en latitud hacia los polos y también a mayores altitudes. La tasa de cambio de los rangos varía entre las distintas especies y dentro de una misma especie, implicando capacidades diferentes de dispersión (Kleidon y Money, 2000; Gian-Reto *et al.*, 2002).

Un incremento de apenas 1°C puede causar cambios significativos en la composición y distribución de ciertas poblaciones vegetales y, de acuerdo con el IPCC (2002) y la EPA (2000), se espera un reemplazamiento de los árboles que asociamos a bosques maduros (especies de lento crecimiento) por árboles y arbustos de rápido crecimiento asociados con áreas perturbadas. Asimismo, se prevé que la distribución de la vegetación se desplace a mayor altitud a un ritmo de 8-10 m por década (Grabherr *et al.*, 1994), por lo que algunas especies limitadas a las cumbres montañosas podrían extinguirse (PROMAS, 1999). Según la EPA (2000), las especies tendrían que migrar algo más de 3 km al año para adaptarse al CC, lo cual no parece viable para árboles cuyas semillas sean dispersadas por el viento o árboles con frutos pesados (bellota o nuez), resultando en una reconfiguración hacia bosques menos diversos.

Otros estudios muestran que los márgenes de distribución de algunas especies de aves y mariposas también se han desplazado más al Norte y a mayor altitud (por ejemplo, 18,9 km en promedio para aves británicas según Thomas y Lennon, 1999 y 2° en latitud para la mariposa *Euphydryas editha* según Parmesan, 1996). Con el propósito de determinar la certeza de este tipo de predicciones, Samways *et al.* (1999) trabajaron con mariquitas (Coccinellidae: *Chilocorus* spp.), con la conclusión que sólo para el 26,7% de las especies analizadas se podían predecir cambios con el 100% de certeza, lo que alerta de un cierto error asociado a este tipo de estudios.

Las respuestas individuales de las especies al CC pueden desorganizar sus interacciones con otras del mismo o adyacente nivel trófico y es posible que cambios rápidos en el clima o eventos extremos puedan alterar la composición y estructura de las comunidades (Parmesan *et al.*, 2000). Algunos estudios ilustran este hecho, como la invasión de arbustos leñosos, la extinción de especies animales comunes y el incremento de especies raras en el desierto de Sonora, el solapamiento temporal de nichos en anfibios de Inglaterra y sus consecuencias sobre las interacciones tróficas (Gian-Reto *et al.*, 2002), o el colapso poblacional de 20 especies de ranas y sapos en los bosques montanos de Costa Rica por la disminución de la 'neblina' desde 1970 (Pounds *et al.*, 1999).

#### Nivel poblacional y de comunidades: ambientes acuáticos

Respecto a las masas de agua continentales, existe cierto consenso acerca de que los efectos biológicos del CC relacionados con la dinámica poblacional y la estructura de las comunidades serán más acusados en latitudes elevadas, donde las poblaciones de especies adaptadas a aguas más calientes desplazarían a las originales (Dokken *et al.*, 1997). Los efectos del CC sobre la flora y fauna de los humedales dependerán de su capacidad de adaptación y migración a otras áreas, y los usos e infraestructuras humanas pueden suponer barreras infranqueables (Bergkamp y Orlando, 1999).

En los cursos de agua de montaña el incremento de los caudales, generado por el deshielo, y el aumento de la temperatura del agua pueden suponer impactos importantes sobre las comunidades de invertebrados, repercutiendo en los niveles tróficos superiores (Bergkamp y Orlando, 1999). En humedales de montaña, que constituyen ecosistemas aislados y frágiles, las especies raras y en peligro de extinción son especialmente sensibles a pequeños cambios de temperatura y a menudo no encuentran hábitats alternativos (Bergkamp y Orlando, 1999).

Algunos ambientes acuáticos continentales pueden experimentar subidas de temperatura que sobrepasen el grado de tolerancia de muchas especies, a la vez que pueden darse cambios químicos importantes en el agua, como disminución del oxígeno disuelto y aumento de la salinidad (EPA, 2002). Además, las tormentas más frecuentes favorecería la mezcla de masas de agua estratificadas, lo cual podría resultar en una mortalidad a gran escala para ciertas especies de peces

(Bergkamp y Orlando, 1999). Los anfibios representan uno de los ejemplos más dramáticos de declive poblacional debido a la reducción de hábitats causado por el CC. Así lo prueba la extinción en 1989 del sapo dorado (*Bufo periglenes*) de los bosques nubosos de Costa Rica (Morell, 2001).

Entre los efectos a nivel poblacional del CC en ambientes marinos, el 25% de los arrecifes de corales ha sido destruido o presenta una severa degradación por problemas que surgen del calentamiento global (Douglas *et al.*, 1999; Oniori *et al.*, 2001). Especies como *Paracentrotus lividus* (Echinoidea), han experimentado cambios considerables en su estructura poblacional (edad-tamaño), la cual se encuentra ahora dominada por individuos viejos al ser la temperatura un determinante importante en la producción de huevos y el reclutamiento (Barnes *et al.*, 2001).

#### Nivel individual: ambientes terrestres

Una buena cantidad de estudios en Europa y en América del Norte han reportado tendencias fenológicas que muy probablemente reflejan respuestas al reciente CC y provocan graves problemas de desincronización biológica. Entre los efectos más comunes se hallan aquellos relacionados con actividades propias de la primavera, tales como floración más temprana de plantas, adelanto en el canto, en las puestas y en los procesos de migración de aves, aparición temprana de mariposas o desove y coros anticipados en anfibios. Estos cambios han ocurrido progresivamente desde los años 60 (Gian-Reto *et al.*, 2002; Hughes, 2000).

Se han detectado también cambios fisiológicos, por ejemplo, los relativos a la asignación de biomasa desde follaje a tallos en pino, conforme el clima se calienta (Delucia *et al.*, 2000). Dijkstra *et al.* (2002) trabajaron con encinas e indican que el aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico tiene el potencial de estimular la producción de biomasa aérea y la respuesta específica de crecimiento de las especies, a largo plazo, altera la composición de la comunidad encinas-arbustos (Díaz y Cabildo, 1997).

#### Nivel individual: ambientes acuáticos

En especies de aguas continentales, los efectos fisiológicos y fenológicos mejor estudiados corresponden al grupo de los anfibios, cuya principal causa de declive poblacional responde al efecto sinérgico del CC con la incidencia de la radiación ultravioleta (RUV). La reducción del nivel del agua en los humedales provoca una mayor exposición de las puestas a la RUV y las hace más vulnerables, por debilitamiento inmunológico, a infecciones por hongos, resultando en una mortalidad masiva. Entre las especies más sensibles se encuentran la rana de las montañas Cascade (*Rana cascade*) o el tritón alpino (*Triturus alpestris*) y, en la Península Ibérica, el sapo común (*Bufo bufo*) y el tritón jaspeado (*Triturus marmoratus*) (Lizana *et al.*, 2002).

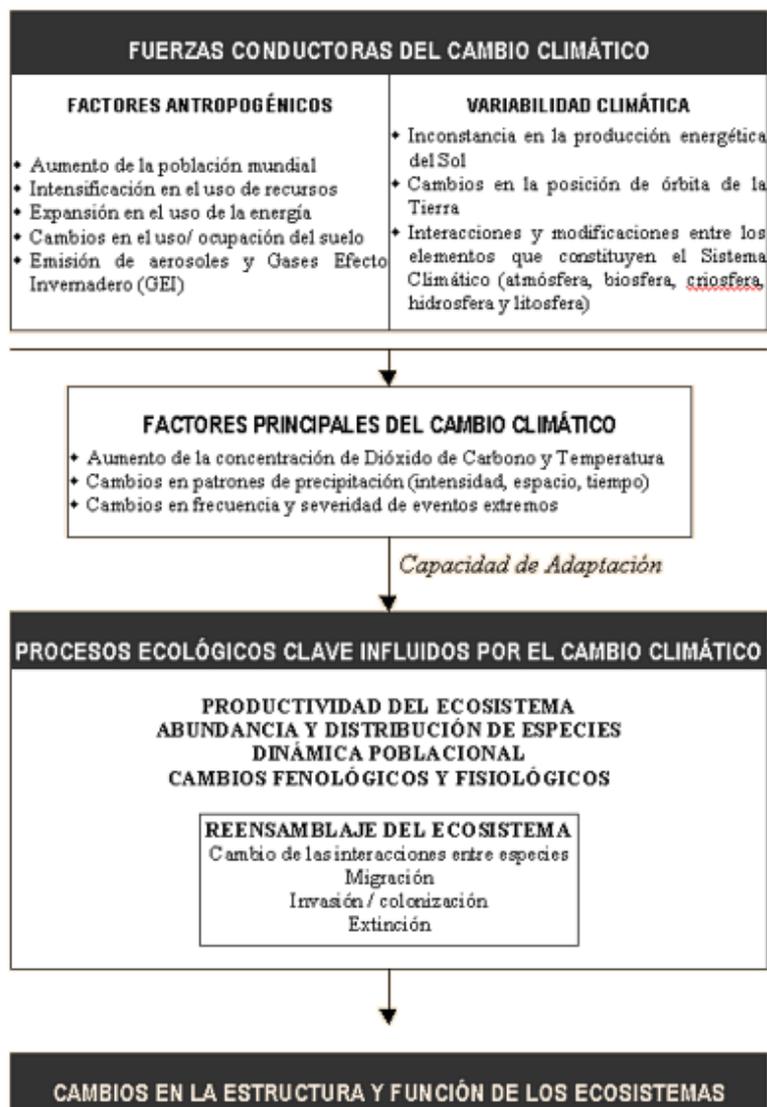
En el mar, resulta alarmante el blanqueamiento y mortalidad de los corales *Zooxantellae*. Basta un leve incremento de la temperatura del agua y las algas simbióticas *Zooxanthellae* abandonan el tejido de los corales, lo cual perjudica sus funciones reproductivas (Douglas *et al.*, 1999; Oniori *et al.*, 2001). Paralelamente se han realizado investigaciones sobre otros organismos, como el gasterópodo marino *Acanthinucella spirata*, descubriéndose cambios en su distribución geográfica en respuesta a los últimos cambios climáticos del Pleistoceno en California que, además, son asociados a cambios morfológicos registrados en la especie (Hellberg *et al.*, 2001).

## **Reflexiones: cambio climático y procesos ecológicos**

La multiplicidad de relaciones establecidas entre los factores antrópicos y naturales, así como su influencia sobre los procesos ecológicos clave asociados a uno o más niveles de organización, atribuye al estudio del CC una dificultad ineludible.

Los cambios observados en los sistemas biológicos son la respuesta resultante a lo que se ha denominado 'Cambio Global'. Los efectos del cambio en los usos del suelo, la fragmentación de hábitats, el incremento en la deposición de nitrógeno, la introducción de especies alóctonas y sus interacciones sobre el medio son difíciles de cuantificar aisladamente de los efectos generados exclusivamente por el CC (Walker, 1997).

El diagrama adjunto (**Fig. 2**) trata de resolver esta complejidad simplificando el ¿proceso de cambio? mediante la alusión a aquellas variables más significativas que han sido revisadas en el artículo. Raramente se han observado relaciones unívocas entre variables. Sin embargo, algunos de los estudios experimentales incluidos en el trabajo expresan, con distinto grado de confianza, la existencia de diferentes respuestas de los sistemas biológicos a un presunto CC inducido por factores como el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> y los cambios en los patrones de precipitación y temperatura. El impacto generado por el CC estará determinado por la variabilidad, intensidad y magnitud espaciotemporal de los ¿vectores de cambio? mencionados, así como la *capacidad de adaptación* de los sistemas biológicos - estrategia fundamental de regulación del impacto que actúa en todos los niveles de organización- (IPCC, 2001).



**Figura 2.** Esquema de las causas y consecuencias del cambio climático en los ecosistemas. Es una elaboración propia, adaptado de Hughes (2000).

Las consecuencias del CC sobre los sistemas biológicos no sólo afectan a las variables asociadas a la configuración de los ecosistemas, sino que estos sistemas también experimentan una reorientación de sus funciones. Son varios los procesos ecológicos que se ven afectados por el CC: la productividad, la dinámica poblacional, la abundancia y distribución de especies y, entre otros y en consecuencia de las afecciones sobre los anteriores, el *reensamblaje ecosistémico*. Este concepto hace referencia al reemplazamiento de algunos grupos de fauna y flora por aquellos que se ven favorecidos por las nuevas condiciones climáticas determinadas, generalmente, por una mayor temperatura media y concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>.

Dada la integración de los procesos ecológicos, resulta difícil su desagregación según diferentes niveles de organización biológica. Sí cabe mencionar la dominancia de algunos procesos, por ejemplo, a nivel de población e individuo. Son los casos de los procesos relacionados con los cambios experimentados en la dinámica poblacional y el ciclo de vida y los cambios fenológicos y fisiológicos experimentados a nivel de individuo. Los análisis experimentales revisados manifiestan que los sistemas biológicos y los procesos ecológicos que en estos operan son sensibles a los vectores del CC que han actuado en los últimos treinta años.

Sin embargo, la complejidad de relaciones e interacciones establecidas en términos de materia y energía entre unos y otros niveles, pone de manifiesto la dificultad de llevar a cabo previsiones concretas a cerca de los efectos biológicos del CC sobre los sistemas biológicos y el riesgo de asumir que las respuestas de las especies a estos cambios son necesariamente lineales. Asimismo, la escala temporal ¿a corto plazo? (menos de 3 décadas) es la dimensión más experimentada en términos de los efectos del CC, pero la climatología está acompañada de escalas temporales mucho más amplias.

En cualquier caso, las evidencias experimentales y fenomenológicas realizadas hasta el momento ratifican un consenso cada vez más generalizado sobre las implicaciones ecológicas y socioeconómicas del CC. Para aumentar la capacidad de prever sus posibles efectos sobre la estructura y función de los ecosistemas a medio y largo plazo, es necesario proseguir la investigación en este campo simulando unas condiciones que se acerquen lo más posible a las naturales. Debemos también aprovechar los avances tecnológicos incluyendo la aplicación de un amplio rango de escalas espaciales y temporales.

## Referencias

**Adams, A. G. y Wall, D. H. 2000. Biodiversity above and below the surface of soils and sediments: linkages and implication for global change. *BioScience* 50: 1043-1047.**

Barnes, D.K.A, Crook, A., O'Mohoney, M., Steicie S. y Maguire, D. 2001. Sea temperature variability and *Paracentrotus lividus* population fluctuations. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 81: 359-360.

Benchuey, P. 1999. Las Galápagos, paraíso en peligro. *National Geographic* 4: 20-31.

Bergkamp, G. y Orlando B. 1999. *Exploring Collaboration between the Convention on Wetlands (Ramsar, Iran 1971) and the UN Framework Convention on Climate Change*. Climate Initiative, IUCN, Washington, USA.

Caruso, B.S. 2002. Temporal and spatial patterns of extreme low flows and effects on stream ecosystems in Otago, New Zealand. *Journal of Hydrology* 257: 115-133.

Chadwick, D.H. 1999. El Coral en Peligro. *National Geographic* 4:30-37.

Curie, D.J., 2001. Projected effects of climate change on patterns of vertebrate and tree species richness in the conterminous United States. *Ecosystems* 4: 216-225.

Dale, V.H., 2001. Climate change and forest disturbance. *Bioscience*: 1-21.

Delucia, E.H., Maherali, H. y Carey, E.V., 2000. Climate-driven changes in biomass allocation in pines. *Global Change Biology* 6: 587-596.

Díaz, S. y Cabildo, M. 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of Vegetation Science* 8: 463-474.

Dijkstra, P., Hymus, G., Colavito, D., Vieglais, D. A., Cundari, C.M., Jonson, D.P., Hungate, B.A., Hinkle, R. y Drake, B.G. 2002. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> stimulates aboveground biomass in a fire-regenerated scrub-oak ecosystem. *Global Change Biology* 8: 90- 102.

Dokken, D.J., Moss, R.H., Watson, R.T. y Zinyowera, R.C. 1997. *Impactos Regionales del Cambio Climático: Evaluación de la Vulnerabilidad*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. IPCC.

Doubilet, D. 1999. Las Galápagos bajo el agua. *National Geographic* 4:32-41.

EPA. 2000. *Global warming impacts*. Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/globalwarming/impacts>

Gian-Reto, W., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O. y Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 339-395

Glynn, P.W., Mate, J.L., Baker, A.C. y Calderon, M.O. 2001. Coral bleaching and mortality in panama and Ecuador during the 1997-1998 El Niño-Southern oscillation event: Spatial/temporal patterns and comparisons with the 1982-1983 event. *Bulletin of Marine Science* 69:79-109.

Grabherr, G., Gottfried y Pauli, G. 1994. Climate effects on mountain plants. *Nature* 369: 448.

Hansen, A.J., Neilson, R.P., Dale, V.H., Flather, H.C., Iverson, L.R., Currie, D.J., Shafer, S., Cook, R. y Bartlein, P.J. 2001. Global Change in forests: responses of species, communities, and biomes. *BioScience* 51: 765-778.

- Hellberg, M., Balch, D.P. y Kaustuv, R. 2001. Climate-Driven Range Expansion and Morphological Evolution in a Marine Gastropod. *Science* 292: 1707-1710.
- Hueerkainp, C., Glynn, P.W., Ucroz, L., Mate, J.L. y Colley, S.B. 2001. Bleaching and recovery of five eastern Pacific corals in an El Niño-related temperature experiment. *Bulletin of Marine Science* 69: 215-236.
- Hughes, L. 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already. *Tree* 15: 56-61.
- IPCC. 2001. *Cambio Climático 2001. Impactos, adaptación vulnerabilidad*. Tercer Informe de Evaluación, Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. <http://www.ipcc.ch>.
- IPCC. 2002. *U.S. Climate Action Network*. Intergubernamental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc.ch/>
- IUCN ? The World Conservation Union. 2002. <http://www.ucn.org/themes/climate/climatechangeanducn.html>
- Iverson, L.R. y Prasad, A.M. 1998. Predicting abundance for 80 tree species following climate change in the eastern United States. *Ecological Monographs* 68: 465-485.
- Kleidon, A. y Mooney, H.A. 2000. A global distribution of biodiversity inferred from climatic constraints: results from a process-based modelling study. *Global Change Biology* 6: 507-515.
- Lizana, M., Marco, A., Nascimento, F., Suárez, C. 2002. Radiación ultravioleta y declive de anfibios. *Quercus* 192: 30-37.
- Mayell, H., 2001. Shrinking Afrikan Lake offers Lesson on Finite Resources. National Geographic News (April 26, 2001). <http://nationalgeographic.com>
- Mora, C. y Ospina, A.F. 2001. Tolerance to high temperatures and potential impact of sea warming on reef fishes of Gorgona Island (tropical eastern Pacific). *Marine Biology* 139: 765-769.
- Morell, V. 2001. El frágil mundo de las ranas. *National Geographic* 8: 76-93.
- Mouillot F., Rambal S. y Joffre R. 2002. Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem. *Global Change Biology* 8: 423-432.
- NFW. 2002. Responses to Climate Change North America case studies. National Wildlife Federation. <http://www.nwf.org>
- Oniori, M., Fukwni, H., Kobinata, H. y Hatta, M. 2001. Significant drop of fertilization of *Acropora* corals in 1999. An after-effect of heavy coral bleaching? *Limnology & Oceanography* 46:704-706.
- Orlando, B.M. 2000. *Forest and climate change*. Conservation Programme, IUCN, Washington, USA.
- Parmesan, C. 1996. Climate and species? range. *Nature* 382: 765-766
- Parmesan, C., Root, T.L. y Willig, M.R. 2000. Impacts of extreme weather and climate on terrestrial biota. *Bulletin of the American Meteorological Society* 81: 443-450.
- Pounds J. A., Fogden M. P. L y Campbell J. H. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398: 611-615.
- PROMAS. 1999. *Programa de Medio Ambiente y Sociedad. Cambio climático*. <http://www.promas.cl/adolfo/cambio.htm>
- RAMSAR, 2000. *Notas Informativas sobre los Valores y Funciones de los Humedales: Mitigación del Cambio Climático*. Convención de los Humedales. [http://www.ramsar.org/values\\_climate\\_s.htm](http://www.ramsar.org/values_climate_s.htm)
- Robinson, C.H., Wookey, P.A., Lee, J.A., Callaghan, T.V. y Press, M.C. 1998. Plant community responses to simulated environmental change at a high arctic polar semi-desert. *Ecology* 79: 856-866.
- Sætersdal, M. y Birks, H.J.B. 1997. A comparative ecological study of Norwegian mountain plants in relation to possible future

climatic change. *Journal of Biogeography* 24: 127-152.

Samways, M.J., Osborn, R., Hastings, H. y Hattingh, V. 1999. Global climate change and accuracy of prediction of species? geographical ranges: establishment success of introduced ladybirds (Coccinellidae, *Chilocorus* spp.) worldwide. *Journal of Biogeography* 26: 795-812.

Scott, T., Chapin S.F. y Starfield, M.A. 2000. Response of subarctic vegetation to transient climatic change on the Seward Peninsula in north-west Alaska. *Global Change Biology* 6: 541-551.

Still, Ch., Foster, J., Prudence, N., Schneider y Stephen, H. 1999. Simulating the effects of climate change on tropical montane cloud forest. *Nature* 398: 608-610.

Thomas, C.D. y Lennon J.J. 1999. Birds extend their ranges northwards. *Nature* 399: 213

Walker, B. y Steffen, W. 1997. An overview of the implications of global change for natural and managed terrestrial ecosystems. *Conservation Ecology* 1: 2. URL: <http://www.consecol.org/vol1/iss2/art2>

Wolf-Griadr, D.A., Riebeseli, U., Burkharda, S. y Bijrna, J. 1999. Direct effects of CO<sub>2</sub> concentration on growth and isotopic composition of marine plankton. *Chemical and Physical Metereology* 51: 461-476.