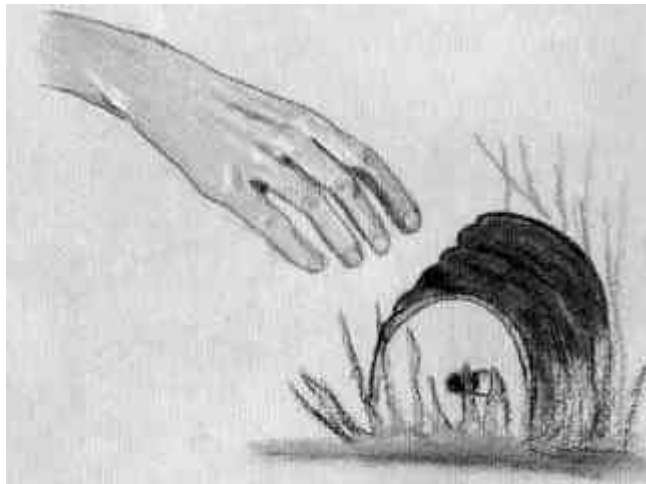


2. LOS PROBLEMAS AMBIENTALES

Corrían los años que siguieron al deshielo de los casquetes polares debido al efecto invernadero, cuando el nivel del mar había ascendido hasta anegar numerosas ciudades a lo largo de todas las costas del mundo: Amsterdam, Venecia, Nueva York... habían desaparecido para siempre. Millones de personas habían sido desplazadas. El clima se volvió caótico. Cientos de millones morían de hambre en los países pobres, en el resto se mantuvo un alto nivel de prosperidad, cuando muchos gobiernos del mundo desarrollado introdujeron estrictas medidas legales para autorizar los embarazos. Por lo que los robots, que nunca tenían hambre y que no consumían más que los recursos necesarios para su fabricación, se convirtieron en un elemento esencial en la estructura económica de la sociedad.

Comienzo de la película Inteligencia Artificial (Warner Bros, 2001)



2. Los problemas ambientales

En éste capítulo veremos distintos problemas medio ambientales de ámbito global. Nos centraremos en quizás los tres temas que más actualidad tienen, estando presentes tanto en medios de comunicación como en todos los niveles de discusión política y social.

El primero es el estudio de la situación de los bosques, en el que intuiremos la complejidad de cualquier problema ecológico. Después veremos la pérdida de biodiversidad, quizás el más trascendente de los problemas ambientales por su carácter de irreversibilidad. Por último nos detendremos en el problema del cambio climático.

Dentro de este tema no deberíamos olvidar otros problemas, los consideraremos como una posible ampliación de conceptos y los reflejaremos en forma de apéndices (El problema del agua, uno de los más importantes, lo veremos de forma transversal en todo el texto).

2.1. Bosques

“...los cultivos forestales... jamás deben confundirse con los bosques... los cultivos forestales no constituyen ecosistemas naturales y carecen de gran parte de las funciones ecológicas propias de los bosques”. Xavier Pastor en “La voz de los árboles” pag. 11. Planeta 1999

“ Escucho la respiración del árbol. Incluso si yo no lo quisiera, el mundo seguiría siendo grande y pequeño” Menchu Gutiérrez en “La voz de los árboles” pag. 86. Planeta 1999

En el análisis del estado de los bosques del mundo merecen atención tres aspectos:

- La extensión y distribución de los bosques,
- El estado de los bosques que quedan
- Los cambios y tendencias en la extensión, distribución y estado de los bosques y sus causas.

Los bosques del mundo han pasado de cubrir el 75% de la superficie seca de nuestro planeta a tener menos del 30%. Este proceso ha sido un proceso continuo y acelerado desde el invento de la agricultura.

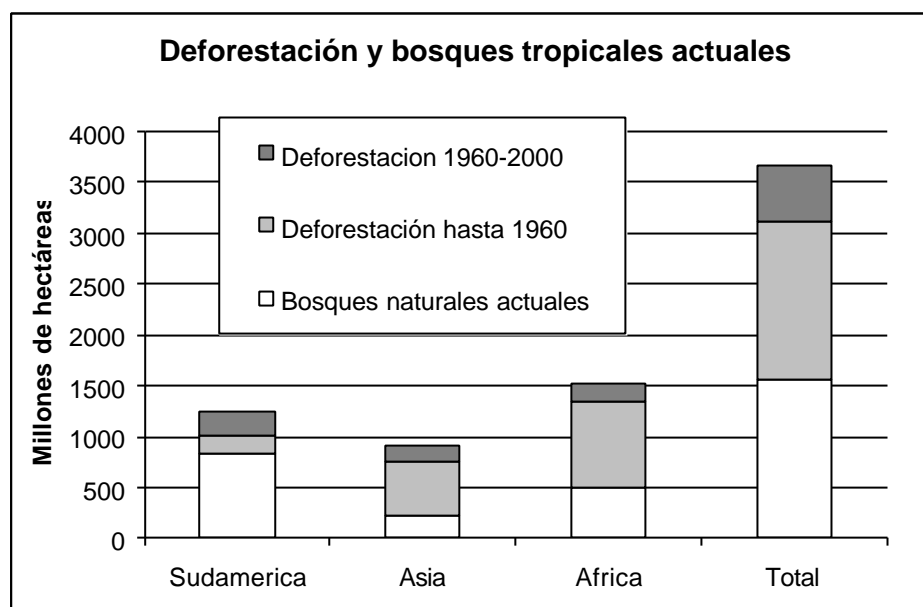


Fig. 2.1. Cálculos elaborados a partir de: WRI 1996, FAO 2001 y WRI 2001. Se refieren sólo a los bosques tropicales.

Los cálculos de deforestación y superficie de bosques están sujetos a una gran incertidumbre. Además, existen más de 90 formas distintas de definir un bosque; para la FAO (la fuente estadística seguramente más citada), un bosque es cualquier cubierta de árboles (no en ciudades) de más de media hectárea cuya superficie de copas cubra al menos un 10% de la superficie del suelo.

CUADRO 2.1 ¿Qué es un bosque?

La definición que da la FAO es muy controvertida, pues se pueden estar considerando como bosques zonas en la práctica deforestadas. En zonas tropicales donde la cubierta forestal natural ocuparía prácticamente un 100% de la superficie total, una tala intensiva de un 80% de los árboles, no provocaría un cambio en las estadísticas de la FAO. Una vez

deteriorado el ecosistema, un agricultor puede aclarar el resto de árboles –que no ya bosque- para cultivar el terreno y a él ser asignada la causa de la deforestación (esto está ocurriendo en realidad, no es un caso hipotético, ver World Watch 1998). Puesto que la mayor parte de las mediciones de superficies deforestadas se hacen mediante satélite, basta no “cambiar el color de la imagen” de la fotografía del satélite para que

aparentemente no se esté distorsionando un bosque natural. En este sentido en un artículo de D.C. Nepstad 1999, encuentran que las estimaciones presentes de la deforestación anual para la amazonia brasileña tienen en cuenta menos de la mitad del área forestal que es empobrecida cada año y aún menos en los años de sequía severa. Como ejemplo, encuentran que de acuerdo con las estimaciones oficiales del gobierno brasileño (basadas en imágenes de satélite) en la vecindad de Paragominas (Estado de Pará) el 62% del paisaje es clasificado como bosque no disturbado. De acuerdo con su análisis basado en las

mismas imágenes y en entrevistas a los propietarios del suelo solamente un 10% puede ser clasificado como bosque primigenio.

También se considera bosque un cultivo de árboles o una repoblación en las estadísticas de la FAO, con lo que las tasas de deforestación de bosques naturales son mayores que las señaladas (la deforestación neta que se maneja es la deforestación de bosque natural menos la repoblación). En los cálculos que he elaborado aquí se tienen en cuenta los bosques naturales perdidos.

En el siguiente gráfico podemos ver como en las últimas décadas el bosque tropical ha visto acelerada su desaparición:

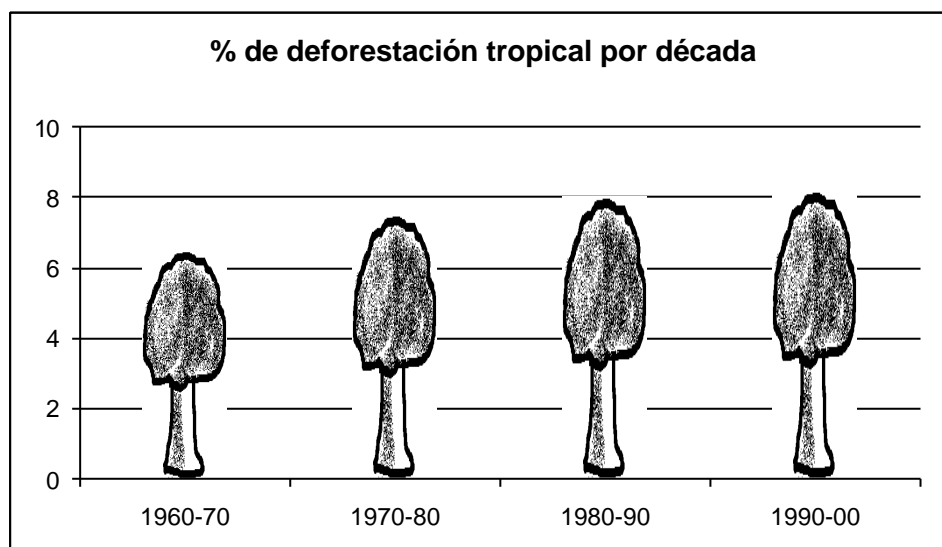


Fig. 2.2. Cálculos elaborados a partir de: WRI 1996, FAO 2001 y WRI 2001

En la pasada década, parece ser que la velocidad con que se han talado los bosques tropicales se ha estabilizado, mientras que en los bosques templados hay una tendencia a equilibrar el número de bosques talados con los repoblados.

Si bien estas tendencias son menos negativas que las de las décadas anteriores en el sentido de que se aceleraba la desaparición, no deja de ser un proceso insostenible en el sentido de que los bosques se siguen perdiendo en las zonas tropicales, y en las zonas templadas se siguen perdiendo bosques primigenios, de mucho mayor valor ecológico que los bosques de replantación reciente o los bosques de explotación económica.

La explotación de los bosques es principalmente debida al consumo de madera para usos industriales y a la recolección de leña. De la madera extraída para usos industriales, algo más del 20% proviene de plantaciones y el resto de la deforestación de bosques. La deforestación en los países industrializados se da principalmente sobre bosques secundarios (bosques que ya han sido talados alguna vez), salvo en zonas boreales (de Rusia, países escandinavos y Canadá) donde se talan bosques naturales. En el caso de los países del Sur (principalmente en zonas tropicales) la tala es de bosques naturales.

En el siguiente gráfico podemos ver cuáles son los consumos de madera mundial:

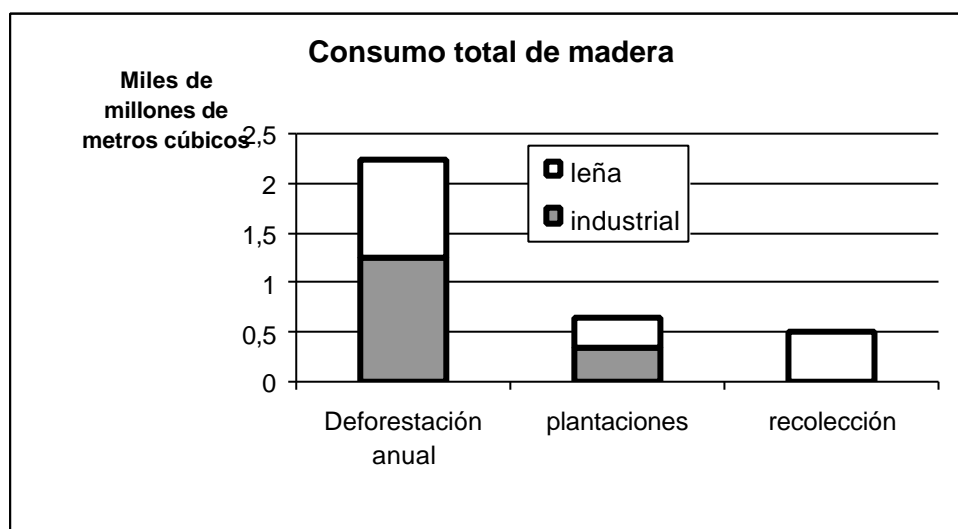


Fig. 2.3. Cálculos elaborados a partir de: WRI 2000, FAO 2001, WRI 2001 y WWF 2001

Pero este consumo es muy desigual por países, así, mientras la media mundial es de $0,27\text{m}^3$ por persona para uso industrial, un ciudadano americano consume entorno a $1,7\text{m}^3$ (sólo en papel consume 330 kg al año, el equivalente a 1m^3).

En este momento impactamos sobre unos 600 millones de hectáreas de bosques (de un total de unas 3800 millones de hectáreas) si el nivel de consumo de un norteamericano se extendiera a todo el mundo necesitaríamos extraer de todos los bosques madera, y los niveles de deforestación se estarían multiplicando por 4 o 5.

Además, el deterioro de los bosques es otro factor a tener en cuenta, una vez más porque supone una pérdida de productividad en aquellos bosques de explotación y una pérdida de las funciones ecológicas. Este deterioro es debido a múltiples factores, como son los fuegos¹, sequías (naturales o inducidas por el cambio climático), lluvias ácidas por la quema de combustibles fósiles, recolección excesiva de leña² y otros productos forestales, tala³ etc.

En un estudio publicado en WRI 2001 (pag. 89), se compara el estado de los bosques a escala mundial de hace 20-30 años y las tendencias actuales de una forma cualitativa. De esta forma se analiza el estado y la tendencia en la producción de madera: buena y creciente, la calidad y cantidad de agua de los ecosistemas forestales: estado mediocre y tendencia decreciente, la biodiversidad: estado pobre y tendencia decreciente, la capacidad de almacenamiento de carbono: estado mediocre y tendencia decreciente y la producción de leña: estado mediocre y con tendencia desconocida. El panorama no es halagüeño...

En Europa, el ejemplo paradigmático de deterioro de los bosques es el debido a la lluvia ácida y al ozono de superficie:

¹ El fuego por causa humana (más del 90%) es el principal factor de deterioro de los bosques (en ocasiones lleva a su destrucción). Durante el episodio del Niño de 1997/98 (produce propensión al fuego en ciertos países), se quemaron más de 14 millones de hectáreas de bosque en Indonesia y Brasil (los fuegos fueron provocados para talar la madera, después, debido al fenómeno del Niño "se les fue de las manos"). En EEUU en el verano del 2000 ardieron 2,7 millones de hectáreas. Aunque estos episodios son puntuales, a escala mundial podemos pensar que el área quemada y degradada por el fuego puede ser del mismo orden de magnitud que el área deforestada (FAO2001).

² En 4 millones de hectáreas analizadas en más de 50 países por la FAO, se encuentra un promedio de recolección de madera de algo más de 7m³/ha (con variaciones que van de 1 a más de 30m³/ha). Si tenemos en cuenta que la productividad neta de un bosque en promedio es de unos 5,4 m³/ha (compárese con el promedio de 3,5m³/ha de las plantaciones; elaborado a partir de tablas de J. Harte (1988)). Claramente está suponiendo un deterioro de estos bosques pues la productividad neta es el límite máximo teórico (en la práctica es bastante menor) que podemos extraer sin deteriorar el ecosistema. Si extrapolamos los datos de la FAO a escala mundial, el resultado sería que más de 11 millones de hectáreas anuales están sujetas a una recolección excesiva que degrada el bosque.

³ La tendencia observada en los bosques de explotación en los que se va rotando la tala es que los árboles son cada vez más jóvenes, con menor diámetro y la estructura del bosque se simplifica y pierde biodiversidad. Tampoco los bosques europeos o norteamericanos tienen pues las mismas funciones ecológicas que tenían cuando eran primigenios.

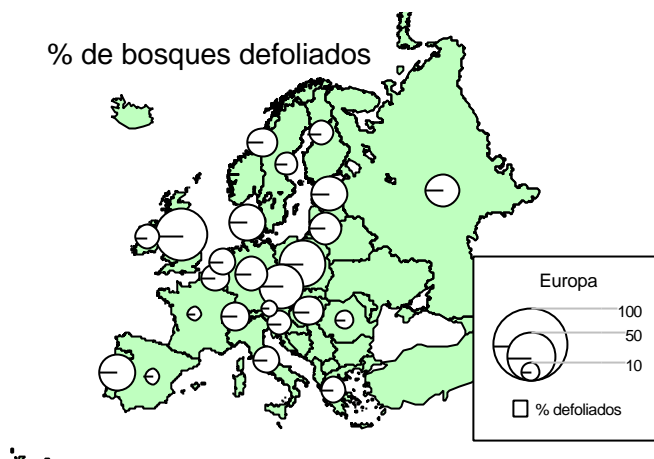


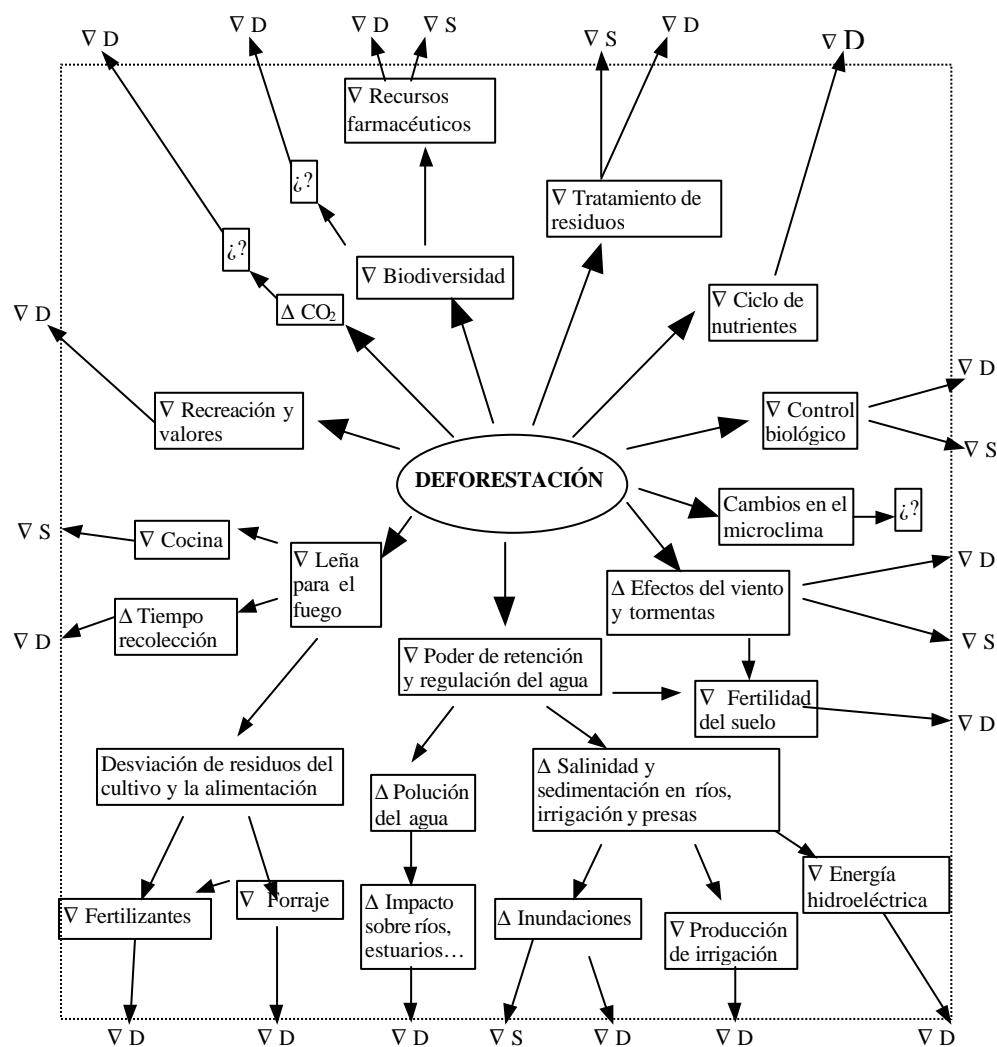
Fig.2.4. Datos extraídos del PNUD (informe de 1998), se define como bosque defoliado aquel que ha perdido más de un 25% de su cubierta de hojas. Los datos son de 1991⁴.

La pérdida de calidad y de extensión de los bosques del mundo tiene efectos directos e indirectos graves en los ecosistemas. El bosque es un gran regulador del ciclo del agua (por su capacidad de retención), evitando la escorrentía y la desertización⁵ y es uno de los ecosistemas capaz de mayor biodiversidad (especialmente en los bosques tropicales y en los bosques milenarios). Sin embargo, debido precisamente a sus funciones ecológicas, no solo juega un papel importante para la biodiversidad, sino que es útil también para el ser humano. En el esquema siguiente vemos como influye negativamente la pérdida o deterioro del bosque en la salud y economías humanas.

⁴ Para el caso de España, se ha pasado de un 5% de árboles defoliados en los 80 a un 20% a finales de los 90 (X. Pastor. Ibid)

⁵ De nuevo en España, los abusos de consumo de agua y sobre todo la deforestación son causantes de que más de 20 millones de hectáreas (más del 40% del territorio) de nuestro país sufran procesos de erosión, de ellas 9 millones están en condiciones críticas (Informe "la situación del mundo" del World Watch Institute 1992, tomado en X. Pastor. Ibid). En su día un 94,2% de España estaba cubierta por bosques (WRI 2001), ahora un 51% es potencialmente forestal (la erosión se considera irreversible en muchos casos), pero solamente un 0,3% alberga bosques viejos o seminaturales.

ALGUNOS EFECTOS ECOLÓGICOS DE LA DEFORESTACIÓN Y EL DETERIORO DE LOS BOSQUES SOBRE LA POBLACIÓN HUMANA



∇ D = Efectos negativos para el desarrollo humano

∇ S = Efectos negativos para la salud humana

En el anterior esquema vemos una característica fundamental de cómo funcionan los ecosistemas y su interacción con el ser humano: La complejidad es enorme, existen flujos de acción entre elementos del sistema (llamados de

realimentación) que influyen de un elemento a otro de forma positiva o negativa. Según podemos seguir en el esquema, el bosque tiene una influencia positiva en: la regulación del CO₂ (sumidero del mismo), la biodiversidad, el tratamiento de los residuos, el ciclo de nutrientes, el control biológico, el ciclo del agua, el clima y como fuente de recursos directos para el ser humano. Cuando se pierde el bosque se pueden producir efectos negativos que se cierran en un círculo vicioso (realimentación positiva de efectos negativos); por ejemplo, si se retiene menos el agua por falta de bosque, esta puede correr con más facilidad y fuerza, provocando aguas abajo inundaciones y arrastre, estos a su vez pueden afectar directamente a otros bosques. Las lluvias locales pueden disminuir si falta el bosque incrementándose los problemas de erosión. Además, la fertilidad de la tierra se puede perder, afectando a su vez a la aparición de bosques; la pérdida de biodiversidad puede incrementar el número de plagas que puede afectar a la misma cubierta de árboles (p.e. procesionaria del pino), debilitando a los árboles más de tal forma que son más propensos a la lluvia ácida y a otros contaminantes, absorbiendo menos contaminación y CO₂. A su vez, otros efectos negativos sobre otros ecosistemas o ciclos pueden afectar al bosque (p.e. el cambio climático es afectado por los bosques y afecta a los mismos).

Los bosques: ¿para que nos sirven?	
Bienes Madera y leña Agua Comida y otros productos Recursos genéticos...	Servicios Oxígeno, elimina contaminantes del aire Recicla nutrientes (C, N, P...) Infiltración, purificación, control de las inundaciones, estabilización del suelo Mantenimiento de la biodiversidad Secuestro de CO ₂ Modera extremos climáticos y sus impactos Regenera el suelo Provee empleo Provee hábitat Provee valores estéticos y turísticos...
¿Qué problemas hay? Presiones Conversión y fragmentación Deforestación Lluvia ácida, metales, ozono de superficie Invasión de especies exóticas Sobre extracción de agua Fuegos provocados...	Causas Incremento de la demanda de madera, pasta de papel... Subsidios del gobierno para la extracción de la madera y para construir carreteras Evaluación inadecuada del coste de la contaminación y los servicios que proporciona Pobreza...

El hecho de que las cosas sean tan complejas hace que sea muy difícil analizar los problemas ecológicos y humanos desde una perspectiva analítica y reduccionista.

Debemos acostumbrarnos a que no existan fáciles demostraciones científicas de nivel cuantitativo en estos temas y a que se barajen estudios “científicos” que predican cosas distintas.

Aún así, el hecho del desconocimiento en vez de hacernos ignorar las posibles consecuencias debería hacernos avanzar en el principio de precaución.

Aunque el problema de la pérdida de bosques es de escala global, el ritmo de deterioro y deforestación no es, a lo mejor (no lo sabemos) tan rápido como para producir un colapso medio ambiental del tipo al que vimos con el ejemplo de la Isla de Pascua en el capítulo introductorio. Aún disponemos de un 40% del bosque que hace 10.000 años existía sobre la Tierra. Quizás pues, aún disponemos de un 40% de su capacidad de regulación, quizás suficiente para que el sistema global sea sostenible. Hay otros ritmos que se intuyen más rápidos y peligrosos. El que vamos a ver ahora, el problema de la pérdida de biodiversidad, está de todas formas bastante relacionado con la pérdida de bosques, pero estamos perdiendo biodiversidad en todos los ecosistemas, algunos importantísimos como son los arrecifes coralinos (un 10% está totalmente perdido, un 30% puede perderse en los próximos 10 años y otro 30% más podría hacerlo en 20 o 40 años) y las praderas.

2.2. La pérdida de Biodiversidad

“La biodiversidad: el tema más fundamental”

(J. Lovejoy título de una conferencia ante la Academia australiana de Ciencias en marzo de 1994)

2.2.1. ¿Qué es la biodiversidad?

Solemos pensar en biodiversidad en términos de la cantidad de especies diferentes que tiene un ecosistema o la Tierra misma.

En cambio, los ecólogos hablan de biodiversidad para referirse a la variación genética, de especies, de poblaciones y de ecosistemas. Y cuando tratan su conservación se refieren a todos esos aspectos o niveles simultáneamente. Así, pérdida genética se puede dar en una misma especie por varias razones. Por ejemplo, Europa y muchos países han perdido y están perdiendo diversidad genética en especies vegetales y animales de producción: hay menos razas de ovejas o de gallinas y menos variedades de trigo o cebada. Hay pérdida genética también cuando una especie reduce su población a un número pequeño (cruces de parientes próximos), lo que es causa a su vez de extinción de especies. Hay pérdidas de poblaciones a nivel regional o local; aunque una especie no esté en peligro de extinción como tal, puede haber desaparecido en ciertas zonas; por ejemplo, muchas aves rapaces han desaparecido de centro Europa, aunque en el este europeo sigan siendo relativamente abundantes. Por último, hay pérdida de ecosistemas o claros retrocesos, como en los corales, bosques tropicales, humedales etc., pudiendo afirmar que hemos perdido aproximadamente la mitad de las funciones ecológicas de los ecosistemas primitivos:

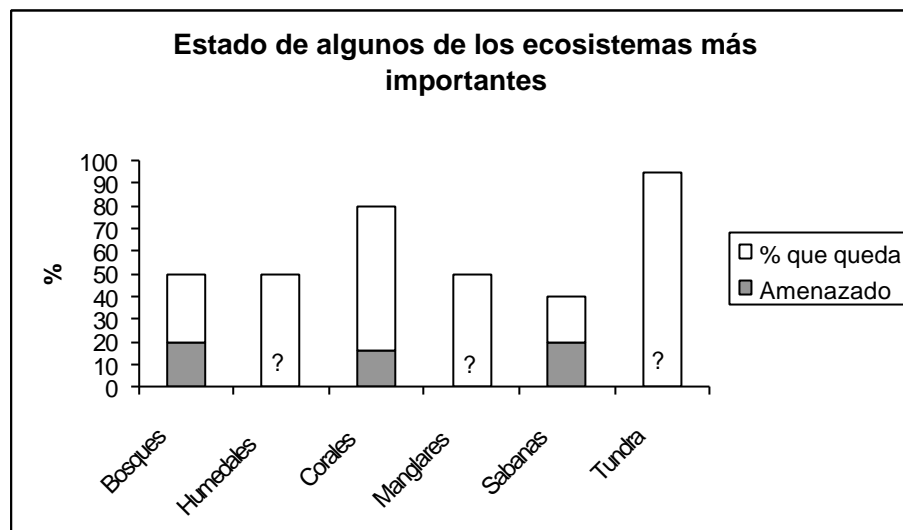


Fig.2.5. Fuente: cálculos propios elaborados a partir de WRI (2000). El porcentaje que queda se refiere a la extensión actual de ecosistemas no disturbados respecto a la que hace 10000 años pudo haber. En conjunto puede que hayamos perdido aproximadamente la mitad de los ecosistemas de más alta biodiversidad⁶.

En general, los distintos tipos de biodiversidad están íntimamente relacionados y la conservación de un tipo o nivel pasa por la conservación de los demás.

Ya hemos visto algunos problemas relacionados con la pérdida de ecosistemas, en el ejemplo de los bosques. Así que aquí nos centraremos principalmente en la problemática de la biodiversidad de especies.

El número de especies de la Tierra es elevadísimo y sujeto a controversia. Según los autores este número está comprendido entre 2 y 100 millones de especies. Y la mayoría de los científicos lo sitúan entre 5 y 15 millones⁷. En general, los estudios de biodiversidad se refieren al número de especies

⁶ El manglar es uno de los ecosistemas más ricos y de más alta biodiversidad. Es un ecosistema tropical que se inunda de agua de mar y en el que el propio bosque retiene el suelo de la erosión marina

⁷ Tan sólo el número de plantas superiores, mamíferos y aves se conoce con aceptable precisión. Para el resto la precisión es tan escasa que se manejan cifras que difieren en varios órdenes de magnitud. Así el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente maneja un número estimado de especies de unos 14 millones pero con una horquilla que va desde los casi 4 millones hasta los más de 110 millones (en el caso de los insectos la horquilla es entre 2 millones y 100 millones, para bacterias entre 50000 y un millón). (Global Biodiversity Assessment. UNEP. Cambridge University Press, 1995).

animales y vegetales, no contando ni hongos, ni bacterias y otros seres vivos simples. De hecho el desconocimiento de estos últimos es aún mayor que el de animales y plantas, no faltando autores que señalan que los seres vivos más simples suponen un elevado porcentaje del total y además, que juegan un papel esencial en la dinámica de los ecosistemas.

CUADRO 2.2. Especulación científica: ¿cuántas especies hay?

Hemos señalado que los cálculos de especies están sometidos a un margen de error muy elevado y rayan la pura especulación científica con los conocimientos que tenemos en la actualidad. Aquí vamos a especular con el número de especies. La especulación científica es una herramienta útil para la reflexión y para la búsqueda de nuevos experimentos científicos:

La biodiversidad, además de huir de los extremos absolutos –desiertos cálidos y fríos– puede huir de los extremos relativos, como las fluctuaciones locales del entorno. Si la biodiversidad supone menos fluctuaciones ambientales (como hace la misma biosfera con el Planeta) entonces un bosque tropical podría ser más biodiverso porque sus fluctuaciones son menores (no hay grandes variaciones de temperatura, ni de humedad, ni estacionales) y al revés, el bosque determina que existan menos variaciones de temperatura y de humedad. Hay que reconocer que las fluctuaciones de por sí en los bosques tropicales son menores que en otras zonas, las de los bosques templados, por ejemplo (en los trópicos la insolación del sol es mucho más constante al no haber casi estaciones). Noches y días casi no varían siguiendo un patrón bastante predecible para los seres vivos.

Imaginemos un sitio como mi sistema digestivo, donde conviven

conmigo cientos de otras especies. Es un sitio que fluctúa poco (temperatura constante) y con un patrón más o menos predecible (tres comidas al día) por lo tanto, según estas ideas, debe tener una alta biodiversidad. O pensemos en los suelos, donde hay menos fluctuaciones que en la superficie del mismo, y por tanto, deberíamos encontrar una alta biodiversidad (que se empieza a sospechar por otras vías).

Pero si pensamos en mi estómago como en un bosque tropical. Imaginemos por un momento la cantidad inmensa de “bosques tropicales” que existen si pensamos en los millones de escarabajos o gusanos diferentes que existen. Cuando hablamos de 15 millones de especies distintas, casi todas insectos, somos ciegos a la biodiversidad microscópica (bacterias principalmente pero no exclusivamente) que llevan esas especies. Supongamos que tan solo un pequeño porcentaje de los cientos de especies que habitan la piel, el aparato digestivo y otros órganos de cada especie que habita el planeta es endémica o única de esa especie. O supongamos que solo un 5% de las poblaciones (de las 3000 millones que se calculan) lleva una especie parásita, comensal o simbiótica única, esto multiplicaría enormemente el número de especies de la Tierra. Al menos, en un factor 10. Hablaríamos de 150 y no de 15 millones de especies. Y quizás estoy siendo conservador...

El número de especies animales inventariadas es del orden de 1,5 millones, y el de plantas de alrededor de 0,27 millones. El número de especies del que se conozca algo más que su clasificación es mucho menor.

De entre los animales, destaca el número de insectos (~un millón) seguido por el de moluscos (al rededor de cien mil) frente a las 3000 especies de anfibios, 4500 de mamíferos, 6000 de reptiles, 9500 de aves y 24000 de peces. El número total de especies hasta los 5-15 millones vendría principalmente de insectos, pues aunque de vez en cuando se descubre alguna nueva especie de vertebrado, su número total seguirá siendo del mismo orden de magnitud.

De entre las plantas, la mayor diversidad se encuentra entre las orquídeas (unos 20000 tipos diferentes).

El ecosistema más rico en especies es, con diferencia, el bosque húmedo tropical. Se calcula que más del 50% de todas las especies (casi todas insectos) (~75%-90% citan algunos) se encuentran en este tipo de ecosistema.

Además del tipo de ecosistema, la biodiversidad de un ecosistema natural depende también del área geográfica del mismo. Y los endemismos (especies únicas ligadas a una localidad geográfica) se producen principalmente por el aislamiento geográfico. Así, en islas se calcula que un incremento de diez veces en el área de la isla supone una duplicación del número de especies⁸ distintas que se encuentran en ella (algunas de las cuales podrán ser únicas).

El aislamiento geográfico es fuente de biodiversidad, ya que la especiación (formación de una nueva especie) depende entre otras cosas de él.

Se desconoce por qué es tan alta la biodiversidad de la Tierra, aunque trataremos de encontrar algunas explicaciones.

2.2.2. “Utilidades” de la biodiversidad

Además de la utilidad científica, podemos hablar de utilidades estéticas, ecológicas, genéticas, sociales, económicas, educacionales, culturales y recreacionales. El ser humano tiene interés por especies carismáticas como el oso panda o el guepardo y por los ecosistemas de elevada biodiversidad; basta recordar los intereses económicos ligados a la industria turística de corales, sabanas africanas, etc. precisamente por su elevada diversidad.

⁸ Esta regla extrapolada a la desaparición de especies (una pérdida del 90% de un ecosistema implica una pérdida de un 50% de sus especies), nos lleva a que una pérdida del 50% del conjunto de ecosistemas supondría una pérdida de casi el 20% de las especies.

Los aspectos económicos, estéticos, culturales y científicos están ligados y son importantes de por sí. Ligados a su vez a ellos está la posible utilidad de la biodiversidad para los propios ecosistemas, pero antes de estudiar este importante aspecto conviene reflexionar si la conservación de la biodiversidad debe referirse única y exclusivamente a la utilidad humana que reportan. Es decir, habría que preguntarse una vez más si los seres vivos tienen derecho a la existencia de por sí o no, esto obviamente está relacionado con aspectos culturales⁹ y de ética personal.

La posible utilidad de la biodiversidad para los ecosistemas, citada antes, se basa en su funcionalidad, sostenibilidad y resistencia al estrés.

Se piensa que una elevada biodiversidad es necesaria o importante tanto para las funciones de un ecosistema como para su mantenimiento y continuación. Los ecosistemas naturales son evolutivos por naturaleza, lo que significa que sus poblaciones, su dinámica, su misma naturaleza e incluso la misma existencia, están sujetas a las leyes del cambio, la sucesión y la extinción; esto no significa que el ser humano no pueda ser una novedad perniciosa para dicha dinámica y existencia de muchos ecosistemas. En los ecosistemas, así como para la vida en general, es imposible fijar unos límites estáticos, ya que los flujos físico-químicos (energía y materia) y biológicos (inmigración, especiación) hacen de éstos unos sistemas alejados del equilibrio y abiertos. Esto dificulta enormemente los estudios científicos.

Es a partir de la década de 1950 cuando se lanza la hipótesis de que una elevada biodiversidad es buena para la funcionalidad, sostenibilidad y resistencia al estrés de un ecosistema. Sin embargo, estas posibles relaciones no se han mostrado nada fáciles de comprobar.

El estado de la cuestión es muy controvertido y aunque la mayoría de los científicos piensa que existe una relación positiva entre aquellas y la biodiversidad, parece que la respuesta del ecosistema a la variable diversidad depende del tipo de ecosistema, de las especies implicadas y de los distintos procesos que ocurran en él.

Se han encontrado ejemplos en que la correlación no es clara, si bien en los últimos años, sí se ha encontrado un aumento de la productividad del ecosistema y de su resistencia en función de la diversidad. (ver por ejemplo: Stuart (1998), Grime (1997), Tilman (1997 y 1994), Hooper (1997), Naem (1994), Bengtsoon (1997) y Johnson (1996)).

Los ecosistemas de más alta productividad ecológica (bajo el criterio de la npp = productividad primaria neta) suelen ser también los de mayor diversidad, así como los que en una valoración económica de sus funciones útiles para los seres humanos, dan un valor más alto:

⁹ ver Cuadro 1.1 del capítulo introductorio referente al valor intrínseco de la vida

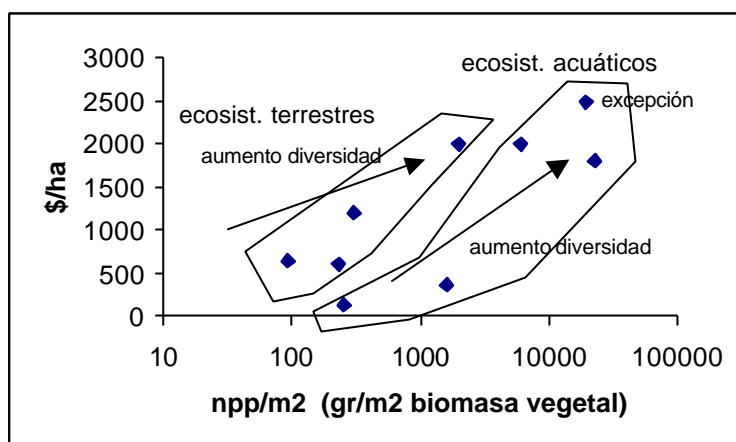


Fig. 2.6. Representamos el valor económico de los ecosistemas más importantes que asigna Constanza (1997) frente a la productividad (npp) de los mismos (medidos en gramos de biomasa vegetal por metro cuadrado); observamos una correlación positiva, y un cierto agrupamiento entre ecosistemas terrestres y acuáticos, así como un aumento de la biodiversidad¹⁰ (salvo una excepción: los pantanos y marismas) al aumentar la productividad. Elaborado a partir de Constanza (1997) y de Smith (2000)

2.2.3. La extinción de especies

La extinción de especies es un proceso natural que se ha venido produciendo durante toda la historia de la vida sobre la Tierra (la esperanza de vida de una especie es de unos 10 millones de años). Pero la tasa de extinción natural no es una función constante en el tiempo, sino que pasa por periodos de extinción normales seguidos por cortos periodos de extinción masiva. Tras un periodo de extinción masiva se recupera la normalidad a la vez que se crea un número de especies nuevas muy superior al normal.

En los últimos 500 millones de años se han producido extinciones masivas con un periodo aproximado de unos 26 millones de años. Estas extinciones masivas pueden tener tasas de extinción mantenidas desde tres veces mayores que la tasa que hemos llamado normal hasta varios miles de veces esta tasa.

En la extinción masiva más importante (la de la transición del pérmico al triásico hace unos 225 millones de años) se calcula que se pudo extinguir más del 80% de las especies vivas.

¹⁰ Al sustituir zonas de productividad ecológica elevada por zonas de productividad baja (e.g. deforestación de bosque tropical por cultivos), estamos perdiendo funciones ecológicas.

Después de una extinción masiva la tasa de creación de especies aumenta por la abundancia de nichos vacíos debidos a la propia extinción, si bien, se necesitan más de 10 millones de años para recuperar el nivel de especies anterior.

Extinciones por causas humanas

“En una generación podemos llevar a la biosfera a una pérdida de tan gran escala que distorsionará la evolución durante al menos 200000 generaciones o 20 veces tanto tiempo como el que el ser humano lleva viviendo como especie”. Norman Myers en Mass extinction and evolution (Science (1997) 278:598)

El ser humano ha sido un factor de extinción de especies desde tiempos prehistóricos. Las técnicas de caza muchas veces pasaban por quemar grandes extensiones de terreno, y al ser humano se le suele poner como un factor más en la desaparición de grandes mamíferos como el mamut o el tigre de dientes de sable.

Algunos ejemplos de extinciones pasadas son significativos:

- Se calculan en unas 2000 las especies de pájaros que se extinguieron en todo el Pacífico en la prehistoria humana (Steadman (1995)).
- En 1810 se estimó en 2200 millones el número de palomas mensajeras norteamericanas, en 1914 murió la última en un zoológico (Dorst (1976)).

La tasa de extinción que se calcula en la actualidad se sitúa entre decenas y miles de veces la tasa normal de extinción; siendo al menos tan alta como las mayores tasas de extinción de la historia de la vida sobre la Tierra. Se sabe que esta tasa de extinción es debida a causas humanas. Los cálculos de extinción son diversos y dependen mucho de los autores. Citemos algunos ejemplos:

- Cada día se extinguen entre 50 y 100 especies animales y una especie vegetal (Salvemos la Tierra (Porritt-1991) y Riquezas sin límite (Ekins-1992))
- En el año 2000 podríamos haber perdido un 10% del total de especies, en el 2025 alrededor del 25% y en el año 2050 un 50% (Porritt-1991)
- Si para el año 2020 se pierden casi todas las selvas tropicales se podrían extinguir entre un 70 y un 95% de todas las especies (la extinción masiva más grande jamás registrada) (Ekins-1992)

- Si las tendencias actuales continúan habrá una extinción masiva tan alta como la de los dinosaurios en las que se perdió un 65% de las especies (P.M.Vitousek 1992: "Global environmental change: an introduction" Annu.Rev.Ecol.Sys.1992:23:1-14)
- El ser humano está provocando un nivel de extinción entre 100 y 1000 veces el nivel normal (Pimm et al (1995))
- Un cálculo sitúa el promedio de extinción de una especie de mamíferos cada 400 años y de una especie de aves cada 200 años. Pero las extinciones documentadas en los últimos 400 años indican que han desaparecido 58 especies de mamíferos y 115 de aves, la mayor parte en islas (WRI 1996)
- Un cálculo propio conservador, basado en pérdidas de bosques y corales y en las pérdidas de poblaciones asociadas a ellos (Hughes 1997) da como resultado que ya se ha extinguido más del 10% de las especies (al menos un 40% de las poblaciones) y que si siguieran las tendencias actuales en los próximos 25 años perderíamos al menos otro 10% (ver también la primera nota a pie de página de este epígrafe 2.2).

Las principales causas de extinción desde 1600 han sido la destrucción del hábitat (36%), la introducción de especies exóticas (39%) y la caza y recolección (23%) (WRI 1996). En el momento presente es la destrucción del hábitat la más importante. Por supuesto, esta clasificación es relativa, puesto que muchas veces son varios los factores que influyen al mismo tiempo. Por ejemplo, la disminución del cangrejo de río en Europa se debe a la excesiva pesca y a la destrucción de su hábitat (deterioro de las riberas de muchos ríos) en primer lugar, y más adelante por la introducción del cangrejo de río americano (que paradójicamente se introdujo para pescar más cangrejos dada la escasez del primero).

- Destrucción del hábitat

La destrucción del hábitat se produce de diversas formas:

Por la pérdida completa de las áreas utilizadas por las especies

Por la degradación (eliminación de vegetación y erosión) que privan a las especies de alimento, refugio y zonas de reproducción

Por la fragmentación, cuando las especies son presionadas a huir a espacios de tierra muy pequeños rodeados de tierras agrícolas u otras.

Se calcula en menos de la mitad de la tierra con vegetación del mundo la que se encuentra en áreas relativamente tranquilas (sin injerencia humana por deforestación, degradación de bosques, densidad de población humana, etc.).

La fragmentación afecta la ecología alterando no solo la biodiversidad y los procesos ecológicos (recordar los efectos de la deforestación y el deterioro de los bosques) sino que, en bosques, altera la dinámica de lluvias y causa incrementos bruscos en la tasa de mortalidad de árboles, haciendo que se pierda una importante cantidad de biomasa (unas $3,5 \text{ tn}\cdot\text{año}^{-1}\text{Ha}^{-1}$, es decir equivalente a la productividad de las plantaciones de árboles) (Laurance (1997))

- Introducción de especies exóticas

Cuando en un área se introducen deliberada o accidentalmente nuevas especies pueden aniquilar la flora y la fauna locales, o bien viviendo a su costa o compitiendo por la comida y el espacio.

La globalización del mundo, iniciada en el siglo XV con la conquista de las américas por los europeos, hace que el aislamiento geográfico se pierda cada vez con mayor rapidez.

La tasa de colonización de especies exóticas se ha visto acelerada por la presencia del ser humano, así:

- Antes de la llegada del ser humano se calcula que el archipiélago Hawaiano era colonizado por una especie extranjera cada 100 000 años, desde la llegada de los europeos (1778) la tasa es de 4 especies por año.
- En las islas Galápagos la proporción era de una especie cada 10 000 años, y a partir de 1535 de una especie cada dos años.
- El 11% de las especies de plantas en Estados Unidos y Australia son exóticas, el 40% en Hawaia y Nueva Zelanda, el 82% en la isla de la Ascensión (Lövei (1997))

- Caza y recolección

La aniquilación de especies ha sido y es todavía una amenaza para la biodiversidad. El ejemplo de las palomas mensajeras que hemos visto es significativo, como lo es la disminución de los grandes mamíferos en todo el mundo (es digno de reflexión el caso del bisonte americano, llevado a la casi desaparición cuando partía de una población de 75

millones -mucho mayor en peso que la población humana actual de Norteamérica-).

Este problema está muy ligado al comercio legal e ilegal de especies protegidas, principalmente de los países del Sur hacia los países del Norte y Asia.

- Cambio climático

Aunque no se sabe con certeza, el cambio climático puede llegar a convertirse en una de las principales causas de extinción de especies durante el presente siglo. Intuiremos porqué cuando analicemos este tema.

CUADRO 2.3.- Algunas preguntas sobre la pérdida de especies

En Burgos existe una raza autóctona de caballo a punto de desaparecer. Hay alguna iniciativa que trata de rescatarlos de la extinción; sin embargo, estos caballos son atacados por los lobos, una especie protegida que está en conflicto con los ganaderos desde hace siglos. ¿Son compatibles el caballo de Burgos y el lobo ibérico? ¿Qué preferimos salvar?

Quizás las preguntas no son las adecuadas (aunque es esta la pregunta que se hacen los ganaderos). ¿Son compatibles el caballo de Burgos y el lobo con los seres humanos? ¿Son compatibles con nuestra forma de vida? Estas preguntas son seguramente más difíciles de contestar, pero van más a la raíz del verdadero problema.

Pero son preguntas que aún nos podemos hacer. Veamos la historia de una pequeña rana (Gould S. (1991)):

Rheobatrachus silus era una rana australiana que se descubrió en 1973 y hoy se cree extinguida –desde 1981 no se ha vuelto a ver-. Esta rana tenía una curiosidad que ha hecho de ella la protagonista de bastante literatura

científica. Su curiosidad era que incubaba los huevos en su estómago, expulsando, ya en forma de ranas, a sus crías por la boca; no se conoce ningún otro vertebrado con este comportamiento. Para muchos científicos, el interés no estaba sólo en el comportamiento de la rana, sino en la dificultad biológica que supone que durante más de dos semanas la rana madre no podía comer y, sobre todo, que los huevos, renacuajos y ranitas secretaban una especie de hormona (prostaglandina) que les protegía de ser digeridos por los jugos gástricos del estómago donde se incubaban. De hecho, alguna empresa farmacéutica mostró interés por *R. silus* pues su prostaglandina habría podido ser útil en el tratamiento de úlceras de estómago...

Para otros científicos la discusión sobre cómo adquirió la prostaglandina la rana era de interés evolutivo. S. Gould explica (pag 354): “una hembra de *Rheobatrachus* debió tragarse sus huevos fecundados (presumiblemente tomándolos por comida) y la presencia fortuita de prostaglandina suprimió la digestión y permitió que los huevos se desarrollaran en el estómago de su madre...”. Para Gould la sentencia clave es que la

prostaglandina se hallaba fortuitamente en la superficie de los huevos. De esta forma la teoría de la evolución neodarwinista no tiene problemas para explicar aparentemente el extraño comportamiento de *R. silus*.

Pero, ¿por qué las ranitas hembras cuando se hicieron adultas –después de que una primera madre se las comiera “fortuitamente”– iban a hacer lo mismo con la siguiente generación? ¿Acaso el

comportamiento era aprendido? ¿O, como es más intuitivo, era un comportamiento programado genéticamente? En este segundo caso, que Gould pasa por alto, ¿Cómo se fijó un comportamiento tan antinatural –comerse a las crías– en los genes?

Si definitivamente *R. silus* se ha extinguido, nunca nos responderá a estas preguntas...

2.2.4. Especies en peligro

Las tasas de extinción junto con las tendencias de extinción actuales nos permiten calcular las tasas de extinción futuras.

Otra forma es estudiar las especies que están en peligro -lo que es imposible para los animales invertebrados-. Las especies mayores de animales como grandes aves, reptiles y mamíferos sí que pueden vigilarse mejor. Puesto que estas especies son singulares en el sentido que necesitan un espacio más amplio que la mayoría de las otras y suelen ser claves dentro de los ecosistemas (a estas especies se las denomina “especies paraguas”), un seguimiento de las mismas nos permitirá hacernos una idea del grado de impacto sobre los ecosistemas que las soportan.

De acuerdo con la IUCN (2000) (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) el número de especies animales amenazadas es muy elevado:

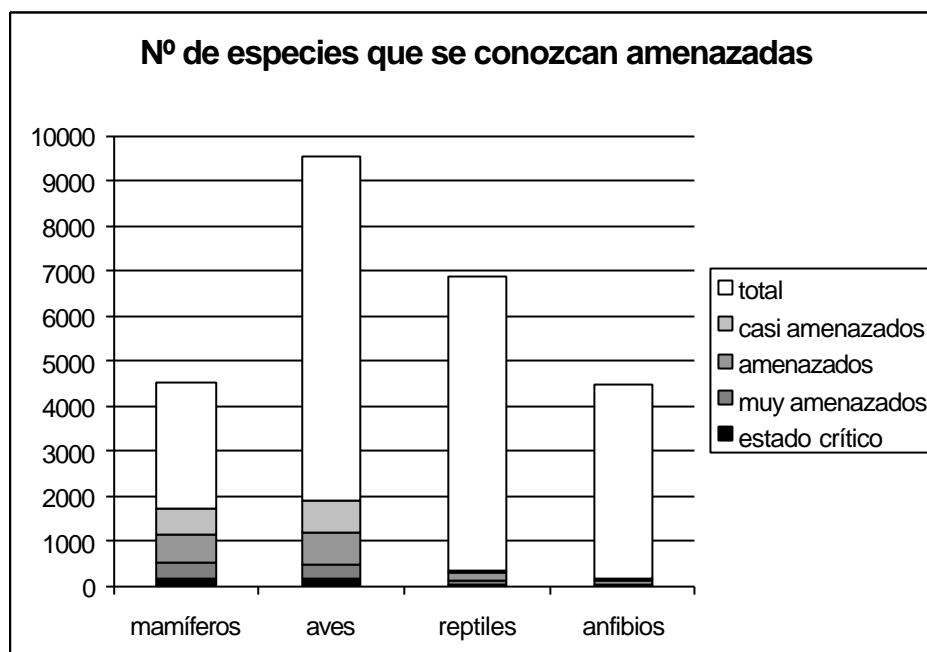


Fig. 2.7. Elaborado a partir de la IUCN (extraído de www.iucn.org y www.redlist.org). Prácticamente de todos los mamíferos ha sido investigado su estatus de amenaza, a las aves se las controla aceptablemente bien, sin embargo solo un pequeño porcentaje de reptiles y anfibios son investigados, de ahí su proporción de amenaza relativamente baja (se sospecha de hecho que en el caso al menos de los anfibios la situación puede ser aún peor que la de los mamíferos). El porcentaje de plantas de las que se sepa su estatus es también muy pequeño, del de invertebrados no sabemos casi nada.

Se controlan poco más de 10000 especies por un conjunto de más de 500 científicos.

El incremento en los conocimientos sobre el número de especies en peligro al igual que nos ha llevado a percibir un peor estado del que solo unos años antes creíamos que había, nos lleva también a pensar que el número de especies extinguidas es muy superior a las probadas en los últimos 400 años. ¿Podría ser que ya podamos hablar de extinción masiva?

2.2.5. Otras diversidades

Puede parecer que nuestros alarmantes cálculos de extinción ponen en peligro la supervivencia misma de la vida sobre la Tierra. Aunque los ecólogos

no tienen suficientes conocimientos para afirmar o desmentir lo anterior, la mayoría piensa que esto no es así, por dos razones principales:

1º La vida sobre la Tierra ha soportado tasas de extinción de quizás más del 80%, posiblemente porque (Nee, 1997) el árbol de la vida (si se quiere, la información biológica) sobrevive en un 80% con una extinción del 95%.

2º La distorsión ecológica por pérdida masiva de especies terminará afectándonos a los seres humanos de tal forma que sería nuestra civilización la que se extinguiera antes que la vida, y por tanto la causa de extinción desaparecería¹¹. Es decir, la vida es más fuerte que el ser humano; lo que es obvio, pues nosotros necesitamos de la biosfera y la biosfera ha estado sin nosotros durante 3000 millones de años.

Quizás más importante ecológicamente que la pérdida de especies sea la pérdida de poblaciones ya citada¹².

Las poblaciones son las que configuran y hacen funcional un ecosistema, y las poblaciones se están extinguiendo a un ritmo muy superior al de especies (quizás hemos extinguido ya más de un 40% de las poblaciones y se podrían estar extinguiendo al ritmo de 16 millones anualmente, Hugh (1997)). Ya hemos visto los beneficios que extraemos de un bosque; la mayoría de ellos los asociamos directamente a la cubierta de árboles, pero el bosque, como cualquier otro ecosistema, es una entidad compleja de una gran variedad de poblaciones y especies que queda perturbado en su funcionalidad ecológica¹³ cuando se perturban sus poblaciones. Un bosque maduro no es lo mismo que una replantación de pinos o eucaliptos, ni mucho menos.

Otra forma de biodiversidad que estamos perdiendo a pasos agigantados son las variedades de cultivos agrícolas y de razas ganaderas. Desde el invento de la agricultura los agricultores tradicionales se han ido encargando de recoger y plantar una gran cantidad de distintas variedades de la misma especie que cultivaban. Algunos ejemplos son dignos de mención (Tuxill 2000):

¹¹ Aunque pueda parecer paradójico, tras el accidente nuclear de Chernobil, algunas poblaciones de animales se están recuperando en la zona. La razón es que, a pesar de las mutaciones y perjuicios de la radiactividad, la falta de presencia humana (aún más peligrosa pues) lo está permitiendo. Basta darse una vuelta por los cientos de pueblos abandonados de Castilla y León y otras comunidades para apreciar este efecto de despoblamiento humano.

¹² Si bien la primera es irreversible y la segunda no lo tiene porqué ser, hay un elemento que perturba nuestras conciencias probablemente mayor en que extingamos una especie precisamente por su carácter de irreversibilidad

¹³ Recordemos: caza, madera y leña, purificación y control del flujo del agua, fertilidad del suelo, control de plagas, regulación de los ciclos biogeoquímicos, fuente de semillas agrícolas y de productos farmacéuticos, valores culturales, estéticos y turísticos...

- Las comunidades de la amazonia peruana cultivan más de 60 plantas diferentes
- En Afganistán los agricultores hace menos de un siglo cultivaban más de 100 variedades de trigo
- En la India oriental cada agricultor tradicional siembra hasta 10 variedades diferentes de arroz simultáneamente en sus tierras.

Pero a raíz de la llamada Revolución Verde iniciada a mediados del siglo XX y acelerándose desde entonces (y aún previsiblemente más si triunfara la Revolución Biotecnológica) las pérdidas son ingentes:

- En EEUU más del 90% de las variedades cultivadas hace un siglo han desaparecido.
- En Europa se han extinguido 750 variedades de razas ganaderas desde principios del siglo XX. Un tercio de las 770 que quedan están a punto de desaparecer.

Por último veamos otra forma de diversidad en peligro:

Ya hemos señalado que la globalización es causante indirecta de la pérdida de especies (al traer consigo el trasvase de especies exóticas), quisiera señalar aquí otra pérdida de diversidad que esa globalización está causando (aunque no es la única razón) y es la extinción cultural (y muchas veces, étnica). Baste señalar que existieron entre 10000 y 15000 lenguas simultáneamente en el mundo y que hoy sobreviven aproximadamente 6000. De éstas, la mitad ya no se enseñan a los niños, por lo que es probable que se extingan en el próximo siglo. (Hal Kane 1998).

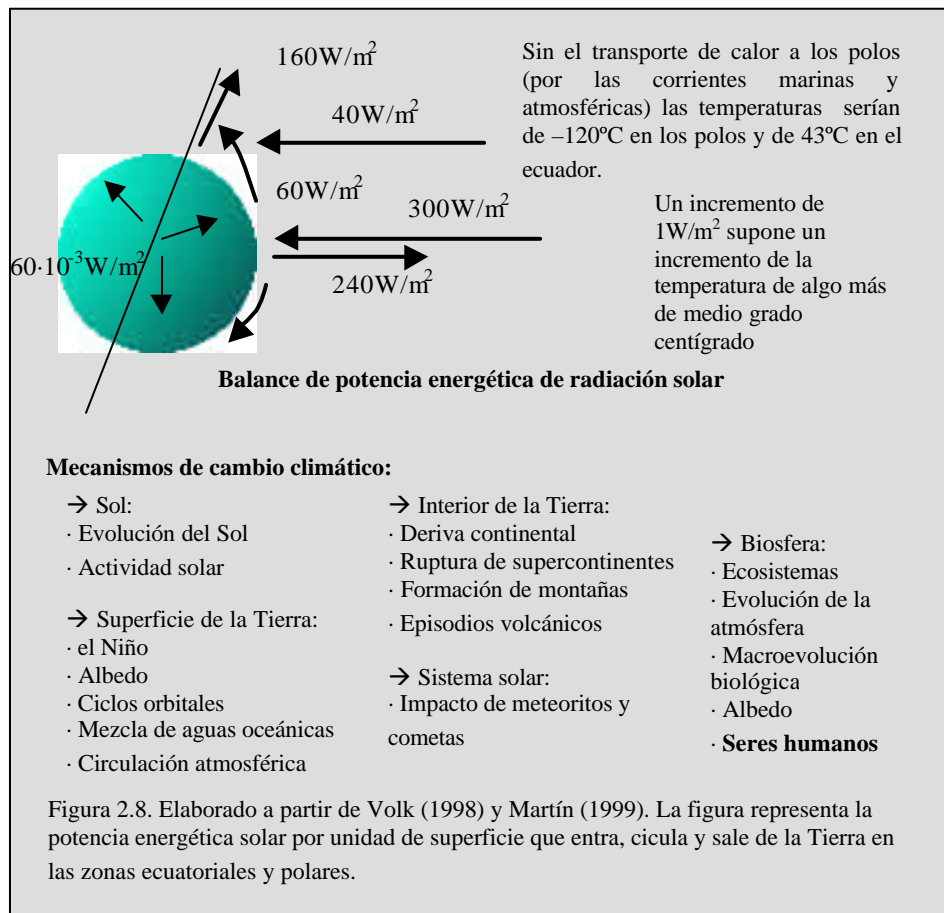
2.3 El cambio climático

“Todos nuestros sueños, nuestras máquinas de hilar sueños de masas,/ palacios, cabañas, cada cubil,/ parecen, cuando la inundación venga,/ solamente castillos en la arena o en el aire”

Gerrit Komrij. Presentado por el gobierno holandés en la reunión de la Haya (COP-6) de las Naciones Unidas sobre cambio climático

2.3.1. La Física del efecto invernadero

La Tierra absorbe radiación solar y la emite a su vez al espacio, creándose un balance energético¹⁴ equilibrado. Sin la atmósfera, se calcula que este balance quedaría estabilizado dando una temperatura media de -19°C en vez de los $+15^{\circ}\text{C}$ que observamos.



¹⁴ El balance que se da realmente es de la *velocidad* con que se absorbe y se emite la energía, es decir, un balance de potencia.

Temperatura de la superficie de la Tierra antes de la aparición de la vida: 65°C
Temperatura actual sin la presencia de la vida y el vulcanismo 70°C
Temperatura actual sin la presencia de la vida 50°C
Temperatura actual de la Tierra 15°C
Temperatura de la Tierra si no hubiera atmósfera -19°C

Según Volk (1998)

Los gases que atrapan y ralentizan el flujo energético del sol son los que todos conocemos como gases de efecto invernadero. Los gases de mayor importancia para la absorción de ésta radiación son, por orden de importancia, el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O) y una serie de compuestos químicos industriales tales como los clorofluorocarbonos (CFC's) y otros gases destructores de la capa de ozono y sus sustitutos.

Con diferencia, el vapor de agua es el más común de los gases invernadero, con una concentración en la atmósfera de casi el 1%, comparada con el casi 0.04% para el CO₂.

Si bien para cada gas, una mayor concentración en la atmósfera supone un mayor efecto invernadero, las cosas en realidad son mucho más complicadas. Así, primero, no es lineal (proporcional) la relación que existe entre concentración y efecto invernadero: la capacidad de absorción de la radiación depende del tipo de gas, de su tiempo de vida medio (tiempo de permanencia) en la atmósfera y de su concentración y relación con otros gases. Segundo, existen otros efectos de los gases sobre parámetros que influyen en la dinámica de balance de la radiación como es el albedo¹⁵; así, un aumento del vapor de agua tiene un efecto contrario al efecto invernadero, al producirse mayor número de nubes, que suelen ser más blancas y reflejar más luz al exterior que la superficie de la Tierra. Tercero, además de estos gases existen otros elementos que influyen directa o indirectamente en el balance radiativo, tales como la capa de ozono (al desaparecer tiende a enfriar la Tierra) o los hielos concentrados en los glaciares y los polos, que al estar retrocediendo disminuyen el albedo, lo que tiende a su vez a aumentar la temperatura.

El ser humano está perturbando este balance radiativo al aumentar las concentraciones en la atmósfera de casi todos los gases invernadero (salvo el vapor de agua, para el que se *supone* que nuestra contribución, en lo que respecta a este tema, es despreciable).

¹⁵ El albedo es un número entre 0 y 1 que indica la fracción de radiación o luz que un cuerpo refleja directamente. Un cuerpo perfectamente blanco tiene un albedo de 1 y uno totalmente negro de 0. El albedo de la Tierra es 0,3 (Martín (1999))

Este cambio en la atmósfera se cree que está provocando ya un cambio climático global y en cualquier caso se está prácticamente seguro que se producirá en el siglo que viene.

Se sabe ya que en el siglo XX la temperatura media sobre la Tierra aumentó unos 0.6°C y se calcula que durante el presente siglo podría subir entre 1,4 y 5,8°C más (IPCC 2001).

Los modelos prevén que el cambio climático global provoca un aumento de la frecuencia de tormentas, ciclones, lluvias torrenciales, olas de calor etc. así como en su intensidad y su extensión geográfica. Efectos que, unidos al aumento medio del nivel del mar (previsto en 9-90cm), supondrían fuertes amenazas para las regiones costeras, especialmente para algunos países insulares y de clima monzónico.

Estos efectos ya se han hecho sentir por las compañías aseguradoras¹⁶, las cuales han observado (a su costa, pues muchas han quebrado en la última década) un aumento de los daños por catástrofes climáticas:

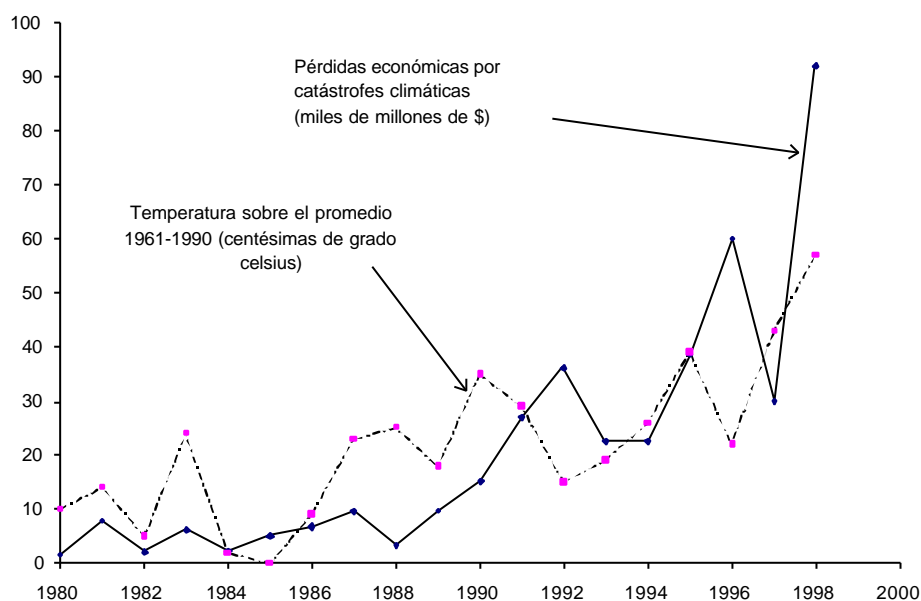


Fig. 2.9. Elaborado a partir de WRI 1999

¹⁶ Aproximadamente el 60% de las principales compañías aseguradoras del mundo han firmado una declaración en la que instan a los gobiernos del mundo a que avancen en la reducción de las emisiones de CO₂ (La situación en el mundo, Informe del Worldwatch Institute, 1998, pag.341)

El problema es que la ciencia actual no puede asegurar con toda certeza que todos estos efectos, y otros como la desaparición de glaciares en todo el mundo, la reducción de las capas de hielo polares y la disminución de la profundidad del permafrost¹⁷, sean debidos a causas humanas o sean fluctuaciones naturales.

Veamos, antes de ver cómo podría influir el ser humano en el clima, una perspectiva histórica de los cambios climáticos que ha habido sobre la Tierra.

2.3.2. Los cambios climáticos en el pasado

La vida sobre la Tierra se ha adaptado a lo largo de su existencia a fuertes cambios de la temperatura, de la concentración de CO₂ y otros gases y del nivel de los mares. De hecho, en el pasado ha habido cambios de este tipo mucho mayores que los cambios más catastróficos que se puedan prever en la actualidad. Así, por ejemplo, la concentración de CO₂ hace 400 millones de años era más de diez veces la actual (nosotros la podríamos poner al doble de la concentración actual), (Vitousek 1992); hace unos 12000 años, en la última transición glaciario-interglaciario la temperatura se modificó entre 4 y 10°C en el Atlántico Norte, y algunos estudios indican que esta transición se pudo producir en un periodo tan corto como 20-50 años (Taylor 1997).

En este sentido el cambio que estamos provocando y quizás su tasa o ritmo de cambio (más importante desde el punto de vista ecológico), no son procesos que no se hayan visto sobre la Tierra y a los que la vida no se haya terminado adaptando. Sin embargo, el que el ritmo de cambio que estamos provocando sea tan alto podría tener profundas repercusiones ecológicas que el ser humano sufriría y los ecosistemas domesticados por él, también.

2.3.3. Ecología del cambio climático

Las variaciones en el clima que podemos estar provocando suponen un clima localmente más extremo en casi todas las regiones. Estas fuertes variaciones en el clima provocarían entre otros efectos (IPCC 2001 y 1995):

¹⁷ Suelo o subsuelo permanentemente helado de regiones subpolares típicas del ecosistema tundra (en Rusia y Alaska principalmente)

- Las temperaturas máximas y mínimas aumentarán así como el número de días cálidos en casi todas las áreas terrestres. En verano las sequías serán más severas y el riesgo de inundaciones aumentará.
- Se incrementarán las intensidades de los ciclones tropicales
- Los patrones de lluvias pueden cambiar. A nivel global, se espera un ciclo de evaporación-transpiración acelerado. Esto significa que llovería más, pero también que la lluvia se evaporaría antes, dejando los suelos más secos durante la estación de crecimiento de las plantas. A su vez, las siguientes lluvias, sobre un suelo más seco, correrían con mayor velocidad, provocando mayor erosión, y a la postre, los suelos tendrían menor capacidad de retención del agua.
- Las zonas climáticas y agrícolas se moverían hacia los polos. En latitudes medias, un calentamiento de 1-3.5°C movería estas zonas entre 150 y 550 kilómetros. La sequedad de los veranos podría reducir la productividad de los campos de cultivo de las latitudes medias, donde precisamente se encuentran las zonas más importantes de grano. Por otro lado, otras zonas subpolares, podrían beneficiarse de este incremento de temperatura (Canadá, Escandinavia, Rusia, Japón, Chile y Argentina).
- El deshielo y la expansión térmica del mar, provocaría la subida del nivel del mar, esta perjudicaría a las áreas costeras bajas y a las pequeñas islas. La subida del nivel del mar, junto al incremento de la intensidad de las tormentas podría suponer la pérdida de humedales costeros y manglares.
- Incremento de la concentración del CO₂ que podría variar la capacidad fotosintética de las plantas, probablemente aumentando el crecimiento de las mismas (efecto de fertilidad del CO₂ que varía mucho con las especies de plantas). A su vez, el que unas plantas se beneficiasen más que otras provocaría una variación en el equilibrio y distribución de las plantas y por tanto un cambio en los ecosistemas; de hecho cada vez que ha habido un fuerte cambio de la concentración del CO₂ en el pasado sobre la Tierra ha habido una fuerte transición evolutiva y de distribución de las plantas (Willis 1996).
- La corriente marina oceánica atlántica podría debilitarse; a partir del 2100 podría colapsar irreversiblemente.
- Incremento de plagas de insectos y su distribución

- Pérdida de un 85% de los humedales de España y Grecia (en España ya han desaparecido el 65% de los humedales).
- Incremento de las migraciones de especies; especialmente delicada es la de los árboles (lo pueden hacer, según especies, a ritmos de 150-500 m/año, ajustada seguramente para poder responder por migración a una fase glaciario-interglaciario (Huntley 1991)). Sin embargo, en muchos casos esta migración natural sería imposible por las barreras artificiales humanas: una reserva natural por ejemplo, ¿no puede emigrar por el carácter de aislamiento geográfico que la define!
- Incremento de la aparición de especies exóticas con la consiguiente pérdida de biodiversidad.

En definitiva, a parte de daños a la agricultura y de daños locales para el ser humano, quizás lo más problemático sea precisamente los fuertes cambios en los ecosistemas que pueden provocarse; además, estos cambios antropogénicos persistirán durante muchos siglos.

CUADRO 2.4. Reflexiones sobre la adaptación humana

A lo largo de su historia, el ser humano se ha ido adaptando a los cambios climáticos; la respuesta rápida fue la emigración y la lenta fue el cambio de su morfología (el bipedismo y la inteligencia se asocian, en parte, a un cambio climático y ecológico). En la actualidad, sería difícil una respuesta rápida al estilo de la emigración (ya lo intentan a diario por condiciones, digamos “ecológicas”, miles de pobres de los países del Sur). Según el IPCC 2001, el cambio climático podría provocar la inundación de un 17,5% de Bangladesh. ¿Dónde irán las gentes que habitan el sur de Bangladesh convertidas en potenciales inmigrantes ilegales? Sólo en Bangladesh (Egipto, Maldivas y otros muchos países insulares tendrán parecidos problemas) estaríamos hablando de una población mayor que la

de toda España que se quedaría sin tierras por un problema causado principalmente por la quema de combustibles fósiles en los países ricos.

Una cierta paradoja hay en la transición climática que estamos causando: como seres humanos nos adaptamos al cambio climático por emigración, luego por tecnología (abrigo) para terminar siendo nosotros los que provoquemos dicho cambio. Para Ortega y Gasset una cualidad intrínseca del ser humano es la adaptación del medio natural mediante tecnología, pero aquí se señala un paso más allá pues ya no nos limitamos a cambiar la naturaleza localmente sino que lo hacemos globalmente: ¡Somos creadores inconscientes de una nueva naturaleza! ¡Una naturaleza aún más difícil de “domesticar a nuestras necesidades”!

2.3.4. Perspectiva actual del problema

En la siguiente tabla vemos las variaciones de concentración de los principales gases de efecto invernadero que estamos provocando:

Concentración atmosférica global de gases invernadero						
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	HFC-125	SF ₆
	partes por millón			partes por billón		
concentración preindustrial	278	0.700	0.275	0	0	0
concentración 1992	356	1.714	0.311	268		
cambio medio (% por año)	0.4	0.6	0.25			
cambio absoluto (%)	28%	145%	13%			
tiempo de vida medio (años)	50-200	12	120	50	33	3200
potencial de efecto invernadero en 100 años	1 (definición)	21	310	>1200	3200	23900

Elaborado a partir del IPCC: Intergovernmental Panel of Climate Change, *Climate change 1995: the science of Climate change* (Cambridge University Press, Cambridge, 1996)

Vemos que los cambios relativos y absolutos son importantes. El potencial de efecto invernadero es el peso que tiene cada gas sobre su capacidad relativa al CO₂ para atrapar radiación bajo la hipótesis de un horizonte temporal determinado (en este caso 100 años), si el horizonte temporal cambia, entonces el potencial de efecto invernadero cambia debido a que el tiempo de vida medio de los gases es distinto.

Los gases más importantes para regular el efecto invernadero tienen fuentes substanciales naturales además de las fuentes “humanas” y a su vez, existen sumideros naturales importantes para que desaparezcan de la atmósfera esos mismo gases; no existen sumideros hechos por el ser humano, salvo la replantación de árboles, aunque si ha habido descabelladas o muy discutibles propuestas, como sembrar de hierro los océanos para aumentar el plancton, la fotosíntesis del mismo y así la absorción marina de CO₂.

En la siguiente tabla podemos comparar las fuentes y sumideros naturales con las fuentes humanas:

Fuentes y sumideros de gases invernadero					
	Fuentes		Sumideros (absorción)	Δ anual atmosférico	Factor invernadero (concentración * potencial)
Gas	Natural	Humana			
CO ₂ (10 ⁶ Tn de carbón)	150 000	7100	154 000	3100-3500	3100-3500
CH ₄ (10 ⁶ Tn de gas)	110-210	300-450	460-660	35-40	735-840
N ₂ O (10 ⁶ Tn de gas)	6-12	4-8	13-20	3-5	930-1550

Elaborado a partir de IPCC: *Climate change 1995: the science of climate change* (Cambridge University Press, Cambridge, 1996)

Vemos reflejada en la tabla que las fuentes humanas de CH₄ y N₂O son del mismo orden o incluso mayores que las fuentes naturales; desde la perspectiva de la vida, una sola especie (y sus apéndices como las vacas) están influyendo en el flujo de gases biológicos (estos gases son productos del metabolismo de los seres vivos) más que el resto de todas las demás especies.

Vemos también, lo que es muy importante, que la absorción natural es mayor que las fuentes naturales, de tal forma que la naturaleza está absorbiendo buena parte de las fuentes humanas (más del 50% del CO₂ y alrededor de un 90% del CH₄ que emitimos).

Cuando el IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change, el más extenso conjunto de científicos, auspiciados por las Naciones Unidas, estudiando el cambio climático) afirma que deberíamos reducir en un 60% los niveles de emisión de CO₂ respecto al nivel de 1990 para no perturbar el sistema climático, está pensando en que los sumideros naturales podrían absorber esos niveles de emisión. Aquí el lector me gustaría que se hiciese la siguiente reflexión: si redujésemos a la mitad las emisiones de CO₂ ¿llegaríamos a la sostenibilidad? Es decir, el sistema, fuente natural + fuente humana → sumidero natural, ¿podría permanecer indefinidamente? ¿Qué pasaría si los océanos disminuyeran su capacidad de absorción al irse “llenando”?

2.3.5. El futuro: previsiones y “esfuerzos”

Los niveles de emisión de CO₂ van a seguir aumentando probablemente en las próximas décadas, sin embargo, aunque se estabilizaran al nivel que

teníamos en 1990, la concentración de CO₂ seguiría aumentando y no se estabilizaría en siglos, duplicándose en alrededor de un siglo (hasta 700 partes por millón (ppm) en el 2100 frente a las 360 ppm de la actualidad).

El IPCC estima que para estabilizar la concentración a los niveles actuales deberíamos recortar las emisiones de CO₂ un 60% y que se mantuvieran éstas en un futuro. Además hay que destacar que cuanto más se demore el inicio de los recortes, más rápidos costes en la emisión se necesitarán más adelante (lo que, por cierto, han propuesto algunos sectores industriales (Nature 1996)) y aún más, cuanto más demora exista, mayores serán los requerimientos de abatimiento para estabilizar las emisiones a un nivel deseado.

Hoy por hoy, la discusión de cómo y cuánto se debe y se va a recortar en las emisiones de CO₂ está totalmente mediatizada por los factores económicos y políticos (y, lástima, no por factores ecológicos y humanos).

En general, estimaciones de los costes de recortar y permanecer a los niveles de emisión de 1990 van desde el optimista -0.5% (ahorro) hasta un 2% del producto interior bruto (PIB) de los países de la OCDE. A largo plazo, algunos estudios sugieren que incluso reducir en un 50% las emisiones puede ser posible sin incrementar los costes del sistema energético total (estudios que suponen llevar adelante una política adecuada de eficiencia -ver más adelante las consideraciones sobre el factor 4-).

En los países del Sur, aunque potencialmente es posible mejorar muchísimo a través del uso eficiente de la energía, la falta de recursos de capital y de tecnología adecuada (que estos países demandan y se acuerdan en los foros internacionales de las Naciones Unidas, pero que nunca obtienen¹⁸) y el esperado crecimiento económico, enorme en países como India y China, hacen casi imposible revertir el proceso en dichas regiones.

¹⁸ Un ejemplo: el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) acordó una transferencia de 125000 millones de \$ anuales del Norte al Sur, sólo para ayudar a los pobres a proteger su medio ambiente; en los años que siguieron recibieron unos 5000 millones anuales, un 4% de lo aconsejado.

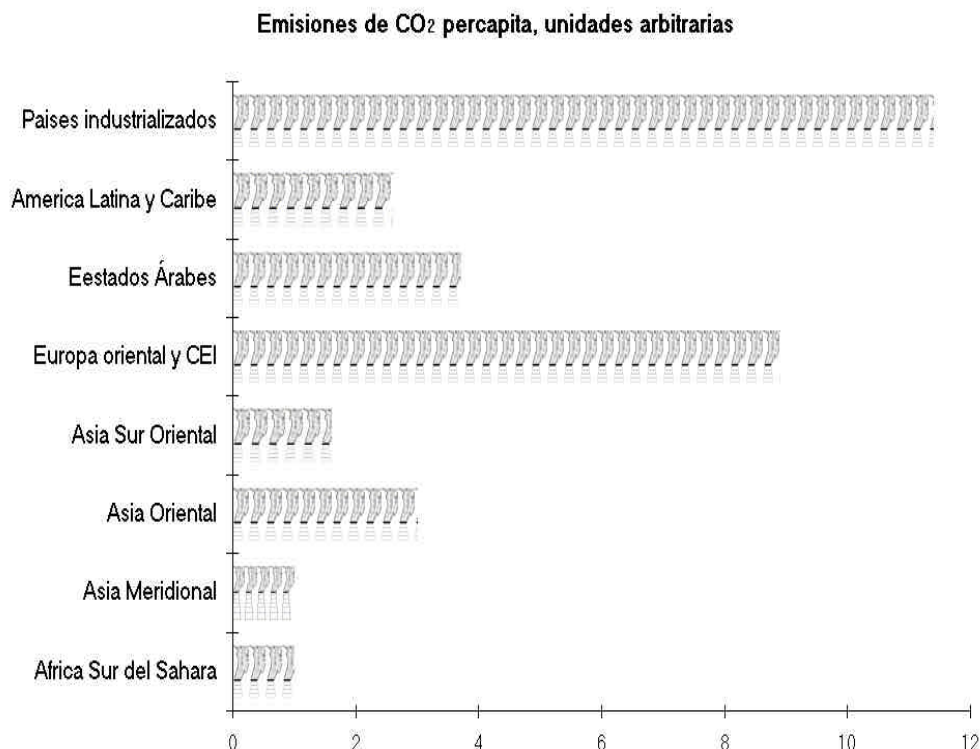


Fig. 2.10. Son con mucho, los países occidentales los causantes del nivel actual de gases invernadero y de su nivel en un futuro próximo: a nivel absoluto, USA es responsable de casi el 22% del total de emisiones, China de casi el 12%, Rusia de un 9.4%, Japón de un 5% y la UE de un 13%. A nivel relativo, más significativo, es la tasa de emisiones per cápita la que marca la diferencia: USA = 19.1 toneladas/año, los países de la OCDE = 11.5, mientras que China se sitúa en 2.3 toneladas/año y la India en 0.88. Fuente WRI 2000

Aunque el crecimiento económico de China es enorme y superará seguramente en menos de dos décadas el nivel absoluto de emisión de USA, nunca llegarán chinos o indios a emitir por persona tanto como los norteamericanos (si así lo hicieran la concentración de CO₂ estaría aumentando al doble de ritmo que lo hace ahora).

Por tanto con todo esto, parece obvio que deben ser los países del Norte (básicamente, Norteamérica, Europa, Japón y Australia) los primeros en recortar sus emisiones.

Además de los costes económicos asociados con la actualización tecnológica (o las tasas a la emisión de contaminantes) existen estudios que

tratan de calcular los beneficios económicos derivados de evitar las catástrofes naturales (inundaciones, sequías...). Estos estudios prevén “beneficios” de un 1-1.5% del PIB en países desarrollados y de un 2-9% en los países del Sur; entre estos últimos, las naciones islas y otras de clima monzónico podrían evitar aún daños mucho mayores (irreparables).

Otro beneficio indirecto del recorte de las emisiones sería las mejoras en la calidad del aire¹⁹. Así, un estudio de los beneficios económicos derivados de la calidad del aire (principalmente para la salud humana, pero hay otros asociados a la calidad de los bosques y a la productividad agrícola) en la India, podría exceder el coste de los gastos tecnológicos para recortar las emisiones.

Por otro lado, estudios en Europa y en USA estiman también que estos beneficios indirectos podrían suponer entre un 30 y un 100% del coste de abatimiento.

Más difícil es evaluar (si tiene sentido evaluar económicamente todo) los beneficios económicos derivados de la no distorsión de los ecosistemas.

Así pues, incluso desde una perspectiva pesimista, los perjuicios económicos globales de no recortar las emisiones son mayores que los perjuicios económicos por los gastos de abatimiento.

Desde una perspectiva humana y ecológica no merece la pena ni discutir lo que hay que hacer (¿podemos condenar a poblaciones como la de Bangladesh y la de las islas Malvinas, y a un montón de especies, poblaciones y ecosistemas naturales!).

Pero, si incluso desde una perspectiva económica es racional recortar las emisiones rápidamente ¿por qué no se hace?

2.3.6. La Convención sobre el Cambio Climático de Kioto

La convención política más importante hasta ahora sobre cambio climático tuvo lugar entre el 1 y el 10 de Diciembre de 1997.

La propuesta de los científicos en la convención fue conseguir la estabilización de los gases de invernadero en la atmósfera a un nivel que pueda prevenir la interferencia antropogénica de forma que pueda ser peligrosa al provocar un cambio climático; esto supone -bajo un principio de precaución- reducir los gases de efecto invernadero en un 60% respecto a las emisiones de 1990²⁰. Según el IPCC (2001 y 1995) pueden darse distintos tipos de escenarios de estabilización en los que la concentración final de CO₂ sería igual o superior

¹⁹ Recuérdese por ejemplo que junto al CO₂ se suele emitir colateralmente otros gases como los responsables de la lluvia ácida.

²⁰ Algunos colectivos ecologistas proponían la reducción en un 20% ya para el 2005

a la actual. En todos ellos existe un riesgo elevado (según el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (Azar 1997)) para la humanidad, debido a los incrementos previstos de temperatura.

Frente a los científicos la propuesta de recortes de los grandes sectores industriales fue esperar unos años para recortar, más tarde, con más intensidad (es decir, que el esfuerzo lo haga la siguiente generación).

Estas propuestas se llevaron a Kioto, pero cada país o grupos de países llevaron propuestas diferentes. La menos conservadora de todas fue la propuesta europea, que propuso reducir en un 15% las emisiones de gases invernadero (CO₂, N₂O y CH₄) respecto a los niveles de 1990 para el año 2010.

USA y Japón propusieron estabilizar a los niveles de 1990 las emisiones para el 2010, si bien, Estados Unidos propuso añadir a la lista los hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre, tomando como base los niveles de 1995.

Se intentó negociar -propuesta de Estados Unidos- la compra-venta de derechos de emisión o mejor aún de recorte. Pero algunos países del Sur (algunos vieron negocio pero otros vieron injerencia) y la UE se opusieron a esta medida, posponiéndose el tema para otra convención.

El protocolo de Kioto²¹, en resumen, dio como resultado que la UE se comprometiera a una reducción del 8% de los 6 gases citados respecto al nivel de 1990, y para la fecha 2008-2012 deberá haberse reducido ya un 5%.

Hipócritamente, aunque la UE se opuso a la compraventa de los derechos de emisión u obligación de recorte, es precisamente lo que ha venido a hacer internamente. Así, Irlanda, Portugal, Grecia y España²² podrán aumentar sus emisiones porque serán compensados por el resto de países como Alemania (que reducirá en más de un 15% sus emisiones).

Canadá y Japón se comprometieron a reducir un 6% y EEUU un 7%, mientras que Australia aumentará un 8% su nivel de emisión respecto al año base 1990.

Si bien pueden contemplarse estos recortes como un primer paso, está claro que estamos muy lejos del nivel de reducción requerido para un “desarrollo sostenible”.

²¹ Como tal, no significa que los países vayan a cumplir las propuestas, deben primero ratificarse en los congresos de cada país.

²² El caso de España es digno de mención: se nos permite un aumento del 17% de las emisiones, siendo la décima potencia económica mundial. Los países del Tercer Mundo no quisieron ni oír hablar de futuros recortes y estabilizaciones conociendo lo que iba a hacer España. En cualquier caso, este mecanismo de poner en el mercado derechos de emisión se ha contemplado en las convenciones posteriores a Kioto y se pondrá en marcha.

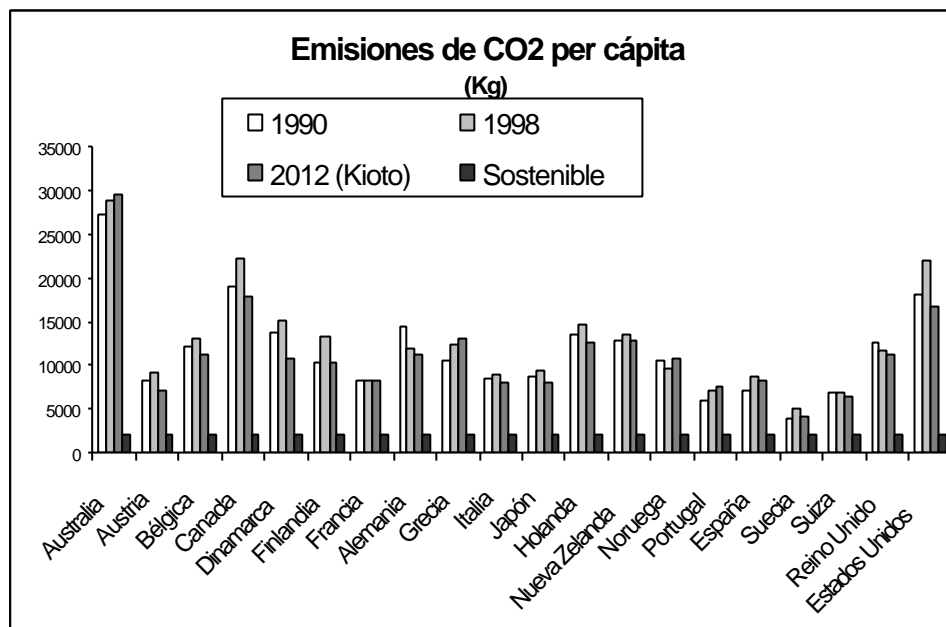


Fig. 2.11. Fuente: UNFCCC 2000 y elaboración propia. Las emisiones sostenibles son las que equitativamente podemos hacer sin distorsionar el clima según el IPCC.

2.3.7. Convenciones después de Kioto

(ver página web www.unfccc.de/index.html)

Las últimas convenciones sobre cambio climático tuvieron lugar en Buenos Aires (1998), Bonn (1999), la Haya (2000), Bonn (2001), Marrakech (2001) y Nueva Delhi (2002); en diciembre de 2003 en Milán. En estas últimas conferencias se ha destacado la obviedad de que se necesita saber con precisión las fuentes y sumideros de cada país para atajar el problema, lo que ha traído a renglón seguido la discusión de cómo habilitar la financiación necesaria para llevarla a cabo (si los países más avanzados tecnológicamente no tienen al día sus inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero, uno puede intuir como estarán los de la mayoría de los países).

Surgió después el problema eterno de la transferencia de conocimientos y tecnología a los países empobrecidos, y por último, y quizás enormemente peligroso y lamentable, se discutió de cómo habilitar los mecanismos de

adaptación al cambio climático. Es decir, se ha empezado a asumir el cambio climático como un proceso irreversible y por tanto las discusiones se centran en cómo adaptarnos a él (de nuevo, transferencia de conocimientos y tecnología hacia países que no han creado el problema). Una vez más, los que más esfuerzos tendrán que hacer para adaptarse para el mal que llegará serán los países empobrecidos, muchos de los cuales precisamente sufrirán con especial virulencia ese cambio climático.

En la Convención de Nueva Delhi el primer ministro de la India señaló que: “Las sugerencias recientes de que se inicie un proceso para aumentar los compromisos de mitigación del cambio climático de los países en desarrollo más allá de lo que ya se estipulaba en la Convención; está fuera de lugar por varias razones. Primero, porque las emisiones de gases de efecto invernadero por habitante de los países en desarrollo es sólo una mínima parte del total mundial, y son inferiores en orden de magnitud a las de numerosos países desarrollados. Segundo, porque los ingresos por habitante de los países en desarrollo constituyen una parte pequeña de los de los países industrializados. Y tercero, porque, a igualdad de poder adquisitivo, las intensidades de gases de efecto invernadero de las economías de los países en desarrollo son bajas, y en cualquier caso no superiores a las de los países industrializados” (ver epígrafe 5.2). Como conclusión, el orador señaló que “la cultura de la India encarecía a la Conferencia a que considerara al mundo entero y todo lo que contenía, los seres vivos y los objetos inanimados, como una familia que coexistía de manera simbiótica, y expresó la esperanza de que este principio fundamental inspirara las deliberaciones de la Conferencia”. Por otro lado, EEUU y otros países están presionando para obtener ese compromiso de mitigación de los países pobres como una de las condiciones para ratificar Kioto.

Es tremendamente significativa la lista de los países que en mayo del 2002 habían ratificado Kioto, de estos 54 países sólo dos países (La República Checa y Rumania²³) estaban contemplados en los anexos totalizando unas emisiones del 2,4%, mientras que para que el protocolo entre en aplicación se necesitan las ratificaciones de países totalizando al menos un 55% de las emisiones de CO₂. Un año después (28 de abril de 2003) y por el impulso de la Cumbre de Desarrollo Sostenible de Johannesburgo en septiembre de 2002, había 108 ratificaciones con un 43,9% de las emisiones. Se necesita que o Estados Unidos o Rusia ratifiquen el protocolo para que se ponga en marcha 90 días después. Estados Unidos se niega por ahora a hacerlo y Rusia ha prometido hacerlo.

²³ Estos dos países tienen francamente fácil cumplir con su compromiso de reducción (de un 8% respecto a las emisiones de 1990) pues debido a la crisis económico social de los 90, sus emisiones hoy ya son mucho menores: en 1998 la República Checa tenía unas emisiones un 23% menores y en 1994 Rumania un 40% menores que en 1990

Bibliografía: bosques

- D.C. Nepstad et al. : Nature 1999, “Large-scale impoverishment of amazonian forests by logging and fire”, 398:505-508
- FAO (2001): “The global forest resources assessment 2000. Summary report”. (extraído de www.fao.org el 16 de mayo del 2001. En concreto de ftp.fao.org/unfao/bodies/cofo/cofo15/x9835e.doc)
- PNUD (1998): Informe sobre Desarrollo Humano PNUD 1998. Mundi-Prensa
- World Watch Institute (1998): El estado del mundo 1998...
- World Watch Institute (2000): Signos vitales 2000. Pag. 64. Gaia, Bakeaz
- WRI (1996) :World Resources 1996. WRI
- WRI (2000) : World Resources 2000-2001. People and Ecosystems. UNDP, UNEP, WB, WRI.
- WRI (2001): Emily Matthews: “Understanding the FRA2000”. (extraído de www.wri.org el 16 de mayo del 2001)
- WWF (2001): “The Forest Industry in the 21st Century” (extraído de www.panda.org el 16 de mayo de 2001)

Direcciones web estables para actualizar:

www.wri.org

www.fao.org

www.panda.org

Bibliografía: biodiversidad

- Bengtsoon (1997) et al.: "The value of biodiversity" TREE vol 12:334-336
- Dorst (1976): "Antes de que la naturaleza muera" Omega. Barcelona 1987
- Ekins (1992) et al.: "Riquezas sin límite" Edaf. Madrid
- Gould (1991): "Brontosaurus y la nalgá del ministro". Círculo de lectores.
- Grime (1997): "Biodiversity and Ecosystem Function: the debate deepens" Science, vol 277: 1260-1261
- Hooper (1997) and M Vitousek: "The effects of plant composition and diversity on ecosystem processes" Science vol 277:1302-1303
- Hughes (1997) et al: "Population diversity: its extent and extinction" Science vol 278:689-692
- IUCN (2000): Red list tables. En www.redlist.org
- Johnson (1996) et al.: "biodiversity and the productivity and stability of ecosystems" TREE vol 11:372-377
- Kane (1998): "Signos vitales" 1998/99. Informe del Worldwatch Institute. Baeaz y Gaia, pag.136
- Laurance (1997) et al.: "Biomass collapse in amazonian forest fragments" Science vol 278:1117-1118
- Lövei (1997): "Global change through invasion". Nature vol 388:627
- Naeem (1994) et al.: "Declining biodiversity can alter the performance of ecosystems" Nature vol 386: 734-737
- Nee (1997) and R May: "extinction and the loss of evolutionary history" Science vol 278:692-694
- Pim (1995) et al.: "The future of biodiversity". Science vol 269:347-350
- Porrit (1991) et al.: "Salvemos la Tierra" Aguilar. Madrid
- Smith R.L y. T.M. Smith. (2000): Ecología. Addison Wesley. pag. 364
- Steadman (1995): "Prehistoric extinctions of pacific island birds: biodiversity meets zooarchaeology" Science vol 267:1123-1131
- Stuart (1998) et al: "Ecosystem consequences of changing biodiversity" Bioscience vol 48 nº 1 January 1998.
- Tilman (1994) and J. Downing: "Biodiversity and stability in grasslands" Nature vol 367:363-365
- Tilman (1997) et al.: "The influence of functional diversity and composition on ecosystem processes" Science, vol 277: 1300-1302
- Tuxill (2000): "La biodiversidad Campesina" World Watch Institute. En www.worldwatch.org
- Vitousek (1992) et al.: "Global environmental change: an introduction" Annu. Rev. Ecol. Sys. Vol 23: 1-14
- WRI (1996) :World Resources 1996. WRI
- WRI (2000) : World Resources 2000-2001. People and Ecosystems. UNDP, UNEP, WB, WRI.

Páginas web para consulta y actualización:

www.iucn.org Unión internacional para la conservación de la naturaleza

www.redlist.org La lista roja de especies amenazadas de la IUCN

www.wri.org World Research Institute

www.unep.org Plan de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

www.unep-wcmc.org World conservation monitoring centre

www.biodiv.org Convention on Biological Diversity

www.panda.org WWF

Bibliografía: cambio climático

- Azar (1997) and Rodhe H.: "Targets for stabilization of atmospheric CO₂" Science vol 276:1818-1819
- Harte J. (1988): Consider a Spherical Cow, pag. 257. University Science Books. California)
- Huntley (1991): "How plants respond to climate change: migration rates, individualism and the consequences for plant communities" Annals of Botany 67 (supl. 1):15-22
- IPCC (1995): "Climate change 1995: the science of climate change" Cambridge Univ. Press. 1996. "Summary for Policymakers: The Economic and Social Dimensions of Climate Change, IPCC Working Group III (1995)". "Summary for Policymakers: Scientific-Technical Analysis of Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change, IPCC Working Group II (1995)" "Summary for Policymakers: The Science of Climate Change, IPCC Working Group I (1995)" en www.unfccc.de
- IPCC (2001) (Intergovernmental Panel of Climate Change): Third Assessment Report. Ver www.ipcc.ch
- Martín (1999): "Cambios climáticos: una aproximación al sistema Tierra". Mundo Vivo. Libertarias. Madrid
- Nature (1996): "Industry warms to "flexible" carbon cuts" Nature 1996, vol 383:657
- Taylor (1997) et al.: "The Holocene-younger dryas transition recorded at Summit, Greenland" Science vol. 278: 825-827
- UNFCCC (2000), Climate Change Secretariat: "National Communication from parties includes in Annex I to the Convention: Greenhouse Gas inventory data from 1990 to 1998" document FCCC/SBI/2000/11, ver www.unfccc.ch y cop6.unfccc.int
- Vitousek (1992) et al.: "Global environmental change". Annu. Rev. Ecol. Sys. 13:1-14
- Volk (1998): "Gaia toma cuerpo: fundamentos para una fisiología de la Tierra". Cátedra. Madrid. 2000
- Willis (1996): "Plant evolution and the ancient greenhouse effect" TREE vol 11:277-278
- WRI (2000): World resources 2000-2001. World Resources Institute

Direcciones web estables para actualizar:

www.ipcc.ch
www.unfccc.int

