

## Cambio Climático: Efectos Esperables en el Funcionamiento Ecológico del Planeta.

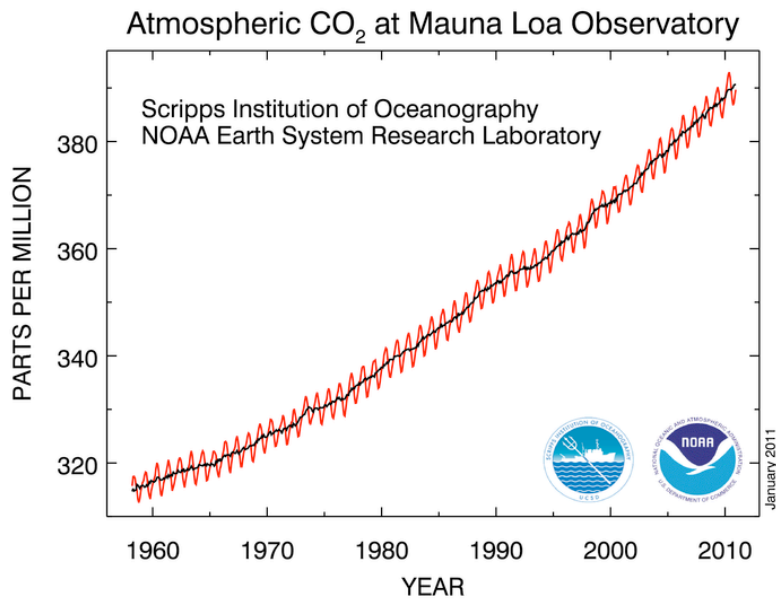
Francisco Javier López Gordillo.  
Profesor de Ecología  
Universidad de Málaga

Para empezar, es necesario afianzar una serie de términos relacionados pero que llevan a confusión: ¿Cambio global, cambio climático o calentamiento global? A menudo se utilizan estos términos indistintamente, y la visión que el público en general tiene de estos procesos es inadecuada. Entendemos por cambio climático aquellas alteraciones en las características climáticas, bien regional o global, que en el marco actual tienen un componente antropogénico significativo, es decir, hablamos de cambio climático para referirnos a las modificaciones en fenómenos climáticos (régimen de lluvias, frecuencia de eventos meteorológicos extremos, sequías, etc) que pudieran estar relacionados con actividades humanas, principalmente, la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero. La acumulación de estos gases en la atmósfera produce un aumento de la temperatura media del planeta, y es ésta, en mayor grado, la que conduce a cambios en el clima. De manera abreviada, la emisión de gases de efecto invernadero aumenta la temperatura; y el aumento de temperatura a escala global (el llamado calentamiento global) tiene la capacidad de alterar patrones climáticos en numerosas regiones del planeta.

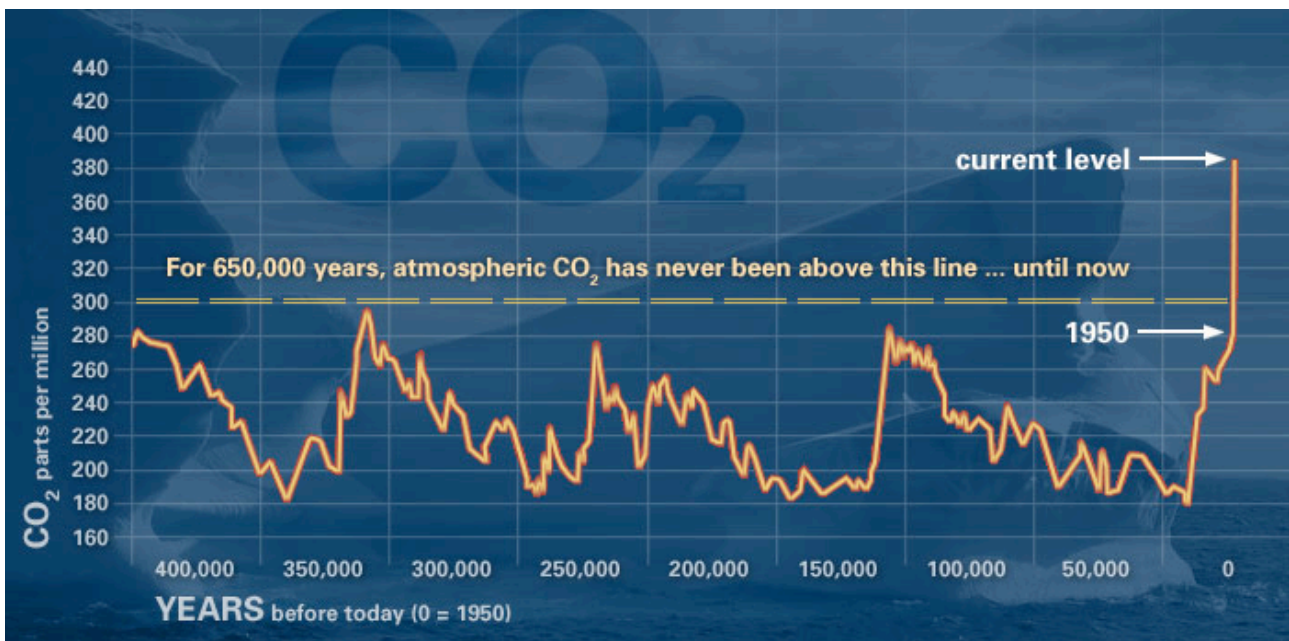
Hablamos de cambio global cuando nos referimos no solo al cambio climático sino a todas las modificaciones en el medio ambiente generadas por la actividad humana: cambio en el uso de suelo, destrucción de hábitats, eutrofización, contaminación, agotamiento de recursos, introducción de especies invasoras, incendios ...

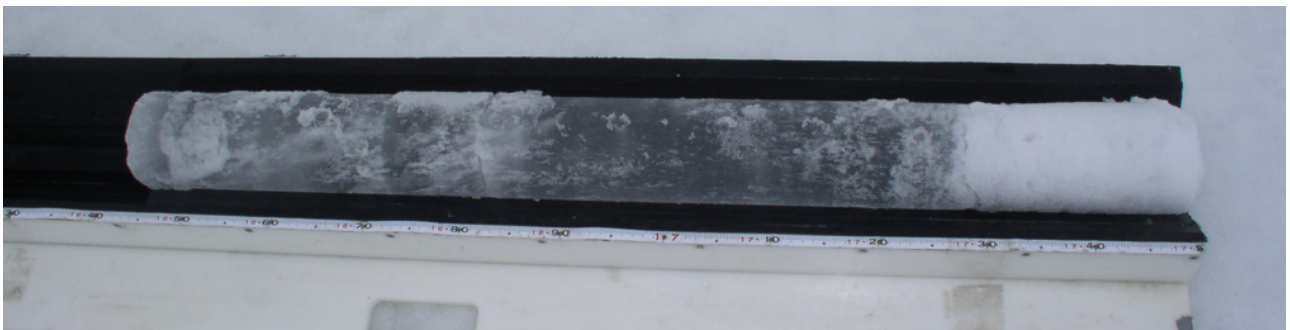
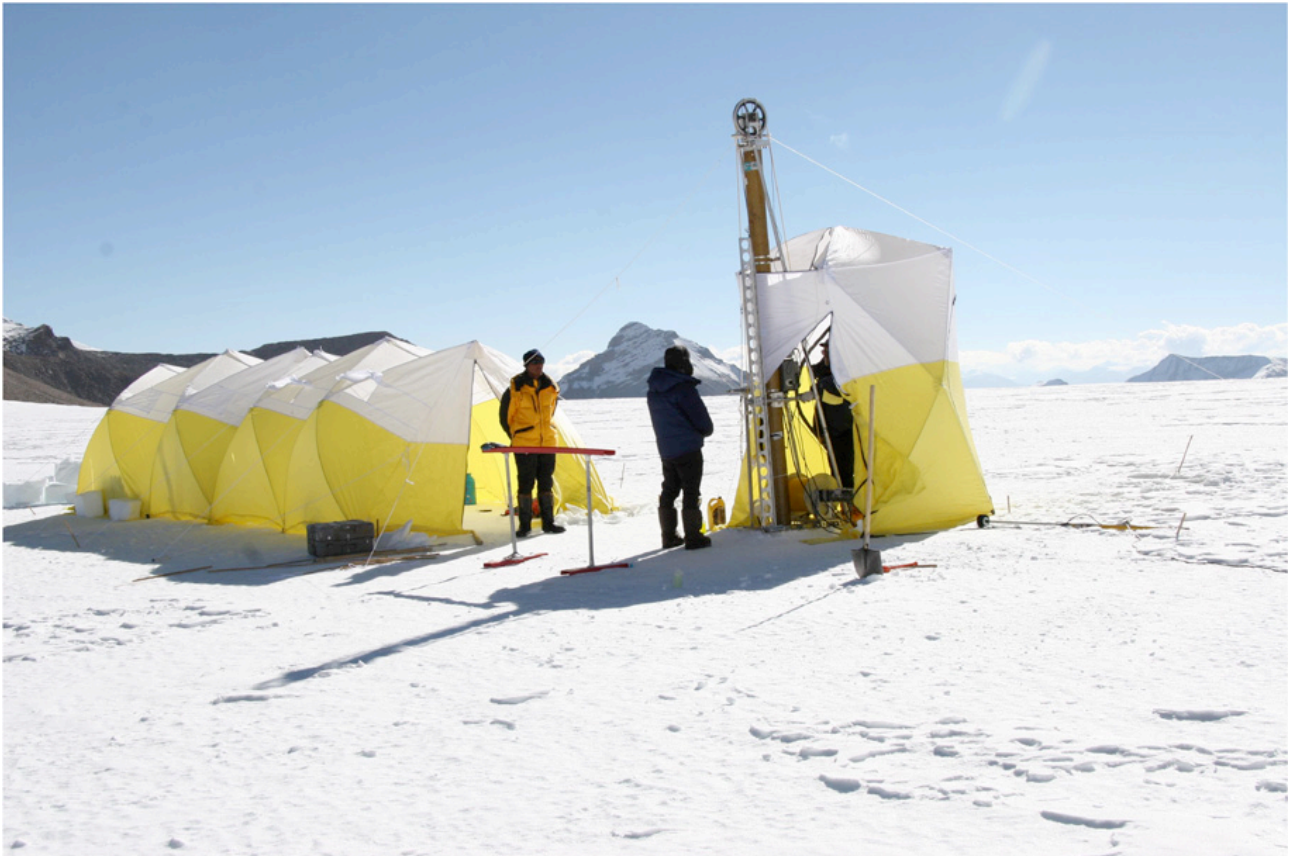
Es oportuno preguntarnos ¿Es culpa nuestra? ¿Somos una especie suficientemente agresiva con nuestro entorno como para provocar tales cambios y poner en peligro la integridad de, si no todos, la mayoría de los ecosistemas de nuestro planeta? ¿Hasta dónde alcanza nuestro poder destructivo? Es muy ilustrativo observar una animación que muestra la actividad planetaria de los aviones durante 24 horas ([http://www.youtube.com/watch?v=\\_NFGD9cglb4](http://www.youtube.com/watch?v=_NFGD9cglb4)). Hay una miríada de evidencias científicas que apuntan a que efectivamente, así es.

¿Cuándo empezó? ¿Es demasiado tarde para rectificar? Empecemos atendiendo a la primera pregunta. Los niveles atmosféricos de CO<sub>2</sub> se empezaron a medir en 1958 en la isla hawaiana de Mauna Loa. En seguida se observó que a lo largo de un año, había una bajada en los niveles en primavera y una subida en otoño. Estas oscilaciones anuales tenían una explicación sencilla. En primavera, todos los organismos que realizan la fotosíntesis están en plena actividad, tomando CO<sub>2</sub> del aire e incorporándolo a su biomasa, es decir, creciendo y multiplicándose. En otoño, buena parte de lo producido (hojas, etc) se descompone, y los organismos heterótrofos (aquellos que se alimentan de otros organismos) hacen que el proceso respiratorio (liberación de CO<sub>2</sub> y consumo de oxígeno) sea superior al respiratorio. Si la naturaleza estuviera en estado estacionario (es incorrecto decir equilibrio), cada año se repetiría el mismo patrón con varia iones interanuales dentro de cierto rango (u os años más, otros menos).

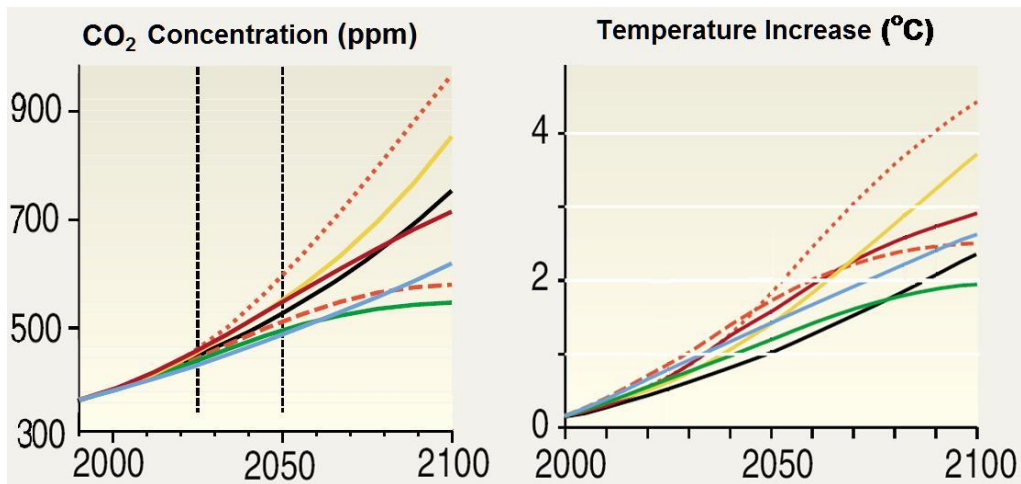


Sin embargo, cuando se observa la concentración de CO<sub>2</sub> a lo largo de los años se obtiene un aumento paulatino y consistente, siempre ascendente y con una progresión que va en aumento, es decir, año tras año el CO<sub>2</sub> aumenta más y lo hace a mayor velocidad. Aun así, el CO<sub>2</sub> no es un gas mayoritario en la atmósfera; a principios de la revolución industrial (finales del siglo XIX) los niveles eran de 280 partes por millón (ppm), y hoy día hemos alcanzado los 387 ppm, con la certeza de que llegaremos a los 400 ppm en los próximos años. Pero ¿Cómo sabemos los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera en tiempos anteriores a las medidas que se empezaron a tomar en Hawai en 1958? No es tan difícil encontrar aire "antiguo" para analizarlo. En los hielos de Groenlandia y, sobre todo, de la Antártida quedaron atrapadas burbujas de aire cuando ese hielo cayó en forma de nieve, más antiguo cuanto más profundo se perfora. En la actualidad, se ha llegado a reconstruir mediante este método la composición de la atmósfera de los últimos 800.000 años... Y en todo ese tiempo nunca se habían superado los 300 ppm, hasta ahora.





El "Panel Intergubernamental de Cambio Climático" elabora informes a partir del conocimiento, las evidencias y las predicciones científicas, respecto al estado del cambio y las consecuencias esperables. Según su último informe, publicado en 2007, se pueden contemplar varios escenarios para finales del siglo XXI en función de si somos capaces de reducir en mayor o menor medida (o si no hiciéramos nada) las emisiones de CO<sub>2</sub>. Así la previsión más optimista cifra para 2100 unos niveles entorno a los 520 ppm, y el más pesimista nos acerca a los 1000 ppm, lo cual tendría un efecto en la temperatura ciertamente alarmante, a pesar de que hablemos "sólo" de partes por millón. A día de hoy, pocos años después de la elaboración del informe, ya sabemos que estamos en un escenario de emisiones de CO<sub>2</sub> peor que el peor de los previstos por el IPCC, debido al aumento en la demanda mundial de combustibles fósiles. Pero no es el CO<sub>2</sub> el único responsable del aumento de temperatura. El metano, un gas compuesto por un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno, y que se produce como consecuencia de una determinada actividad bacteriana de descomposición de la materia orgánica, es 33 veces más potente que el CO<sub>2</sub> captando calor cuando se encuentra en la atmósfera. Su concentración actual es muy baja, pero distintos procesos, ya en marcha, amenazan con aumentar su relevancia y alcanzar un papel decisivo en el grado de calentamiento global.



Una de las principales fuentes de metano está ligada a la actividad humana. La cría extensiva de ganado, sobre todo vacuno, constituye una aportación significativa de metano a la atmósfera mediante las flatulencias de estos animales que van cargadas con el gas, ya que éste es producido en el intestino de estos animales durante el proceso de descomposición del alimento. También hay grandes cantidades de metano almacenadas en el fondo marino, el cual se ha detectado que también aumenta su temperatura, aumentando por tanto la tasa de liberación de burbujas de metano a la superficie, y de ahí a la atmósfera. Este es, por tanto, un proceso de retroalimentación positiva, es decir, que se favorece a sí mismo.



¿Está la vida en peligro, tal como la conocemos? La evolución de las especies produce soluciones nuevas a ambientes nuevos, pero éste es un proceso que requiere mucho tiempo. El cambio es tan rápido, tan abrupto, que si el aumento de CO<sub>2</sub> y de temperatura tiene consecuencias para la pervivencia de los ecosistemas, podría considerarse tan devastador como la caída de un meteorito, o

una erupción volcánica de enormes dimensiones. Así, cabe preguntarse: ¿Cuál es el efecto en los ecosistemas?

La vida ha estado permanentemente sometida a los avatares del entorno en que se desarrolla, e incluso ha pasado varios episodios críticos, donde su existencia ha estado amenazada. Se tiene constancia de 5 grandes extinciones. Desapariciones masivas de especies en un periodo de tiempo relativamente corto debido a vulcanismos u otros fenómenos (como la caída del meteorito que extinguió a los dinosaurios hace 65 millones de años), tal y como evidencia el registro fósil. El cambio global actual ha motivado que los expertos se planteen si estamos ante una sexta gran extinción, debido a la amenaza que la biodiversidad sufre a escala planetaria.

¿Cómo nos afecta el cambio en nuestra vida diaria? Frecuentemente, solemos ser tan cortos de miras que nos preocupamos sólo por lo que ocurra en nuestro entorno inmediato. Sin embargo, si algo caracteriza al cambio global es que su escala es planetaria. Aun así hay zonas que se van a ver más afectadas que otras. La región del planeta que mayor aumento de temperatura va a sufrir es el Ártico, más de 7 grados antes de finales de siglo respecto a los niveles preindustriales, pero no es la única en la que el aumento previsto es más que alarmante. De hecho, la península ibérica está entre las más afectadas, con niveles de afección no muy lejanos a los de la región polar del norte.

El anterior y ahora inexistente Ministerio de Medio Ambiente encargó a un panel de expertos el informe "Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático", disponible en la web del Ministerio de Medio Rural y Marino.

Las previsiones para nuestra región muestran un aumento severo de la temperatura media, veranos más secos y una mayor frecuencia de eventos meteorológicos extremos.

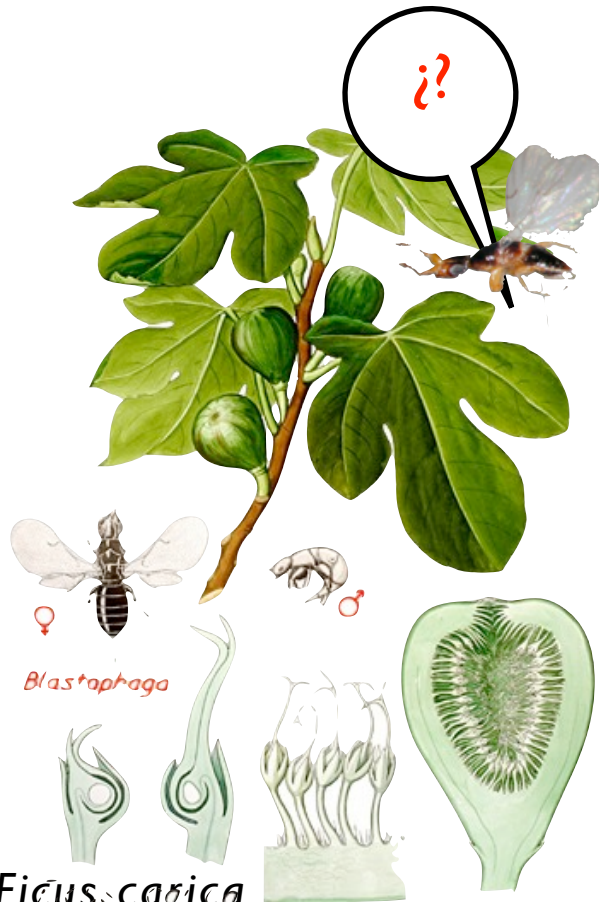
Efectos en el ecosistema terrestre.

Como se ha mencionado anteriormente, el CO<sub>2</sub> es el sustrato para la fotosíntesis. Todos los organismos vivos se componen de C proveniente, en su inmensa mayoría, del CO<sub>2</sub> disponible en el aire y/o disuelto en el agua. La fotosíntesis transforma moléculas sueltas de CO<sub>2</sub> en cadenas de C, los azúcares, que conforman los ladrillos con los que se construyen los organismos, eso sí, en distintas combinaciones y en conjunción con otros elementos como el nitrógeno, el fósforo y el azufre. Así, podría pensarse que un aumento en los niveles de CO<sub>2</sub> es beneficioso para los organismos que, al disponer de más sustrato, crecerán más. Este es el llamado "efecto fertilizador del CO<sub>2</sub>". pero la realidad es mucho más compleja. No todas las plantas son iguales de sensibles ni responden de igual manera al aumento de CO<sub>2</sub>. Podríamos considerar, a modo general, y estando dispuestos a aceptar numerosas excepciones, que las plantas de crecimiento rápido se ven más favorecidas que las de crecimiento lento. Esto en sí supone una grave alteración de los ecosistemas, pues son mayoritariamente las especies de crecimiento lento las que dominan los ecosistemas más maduros, es decir, los que contienen mayor diversidad biológica.

El cambio en el clima afecta directamente a los organismos, ya que estos se han venido desarrollando en determinadas condiciones ambientales. Uno de los efectos más estudiados con respecto al aumento de la temperatura media es el aumento de la llamada "tree line", la línea que dibujan los árboles que crecen a mayor altitud en una montaña, superada la cual, el desarrollo de esos árboles no es viable, en general, por no soportar las temperaturas tan bajas que se localizan a partir de ese nivel. Es la versión biológica de la cota de nieve. Con el aumento de la temperatura media, las poblaciones de árboles se desplazan paulatinamente a altitudes mayores donde se compensa ese aumento de temperatura. El efecto es una reducción en el hábitat de estas especies (y aquellas otras directamente vinculadas con ellas), por cuanto hay menos territorio a mayor altitud.

Otro efecto extendido lo encontramos en las alteraciones fenológicas (floración, reproducción, fructificación). Antes mencionamos que la naturaleza no está en equilibrio, si no en estado estacionario, pero también es cierto que existen procesos acoplados, como la floración de una determinada especie de planta y la aparición de individuos de una determinada especie de insectos que interviene en la polinización de la planta. El adelanto de la primavera y el retraso del otoño han provocado multitud de desacoples de procesos de este tipo. Es cierto que no todas las especies alteran su ciclo vital por alteración del clima; por ejemplo, el castaño tiene su floración controlada

por el fotoperiodo, es decir, por el número de horas de sol al día, lo cual, al menos por ahora, no depende de la actividad humana ni de los cambios que ésta produce.



*Ficus carica*

Pero los organismos no son meras dianas ambientales, también sirven de testigo de los cambios y, aun más influyen en los cambios. Como ejemplo de registro de los cambios, uno de los más usados es la dendrología, es decir, el estudio de la composición y características de los anillos de crecimiento de los árboles. Analizando estos anillos se ha llegado a observar una variabilidad creciente a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, lo cual es indicativo de una variabilidad ambiental progresivamente mayor.



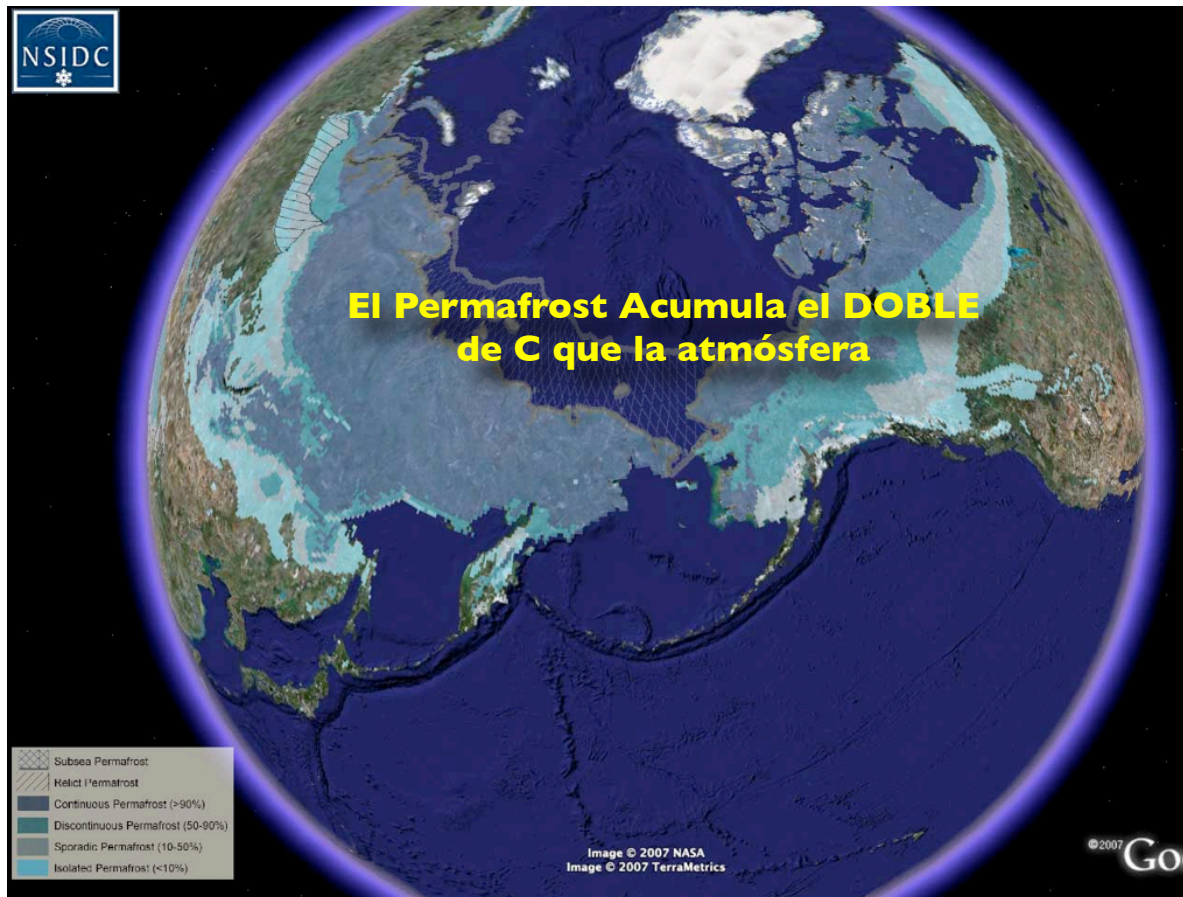
Como ejemplo de cómo influyen los organismos el funcionamiento de la atmósfera están los picos de sierra anuales observados en la concentración de CO<sub>2</sub> primavera-otoño, mencionado anteriormente, y otros como la producción de compuestos orgánicos volátiles (VOC, por sus siglas en inglés). Estos compuestos son moléculas orgánicas pequeñas que se producen durante el metabolismo habitual de las plantas y que escapan a la atmósfera. El aumento de temperatura provoca el aumento en la producción de VOCs, siempre y cuando no haya una situación de sequía.

Estos VOCs juegan un papel determinante en la atmósfera, por cuanto generan aerosoles que alteran el estado oxidativo de la atmósfera y tienen efecto invernadero.

Cuando las predicciones se quedan cortas.

Coo hemos visto anteriormente, las predicciones que se hicieron en 2007 se nos han quedado cortas tan pronto como en 2010. Los modelos de predicción, sin embargo, son cada vez más robustos y fiables ¿Qué es lo que falla, entonces? Conforme el esfuerzo de los científicos aumenta nuestro conocimiento, se ponen de relieve procesos nuevos que anteriormente no se habían tenido en cuenta, y a menudo estos nuevos procesos contribuyen a la retroalimentación positiva del cambio climático. Es lo que se llama "amplificación" climática.

El permafrost es el suelo helado, al menos durante buena parte del año. Cubre casi un 20% de la superficie de tierra del hemisferio norte y acumula el doble de carbono que la atmósfera. Las bajas temperaturas mantienen este C en forma orgánica sin descomponer. Ante el aumento de temperatura previsto, se calcula que a lo largo del siglo XXI se perderá en torno al 50% del permafrost, con la consiguiente descomposición de la materia orgánica que contiene y la liberación en forma de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera. Pues bien, recientemente se ha observado que este fenómeno se está acelerando, ya que el cambio en la vegetación trae consigo nuevas especies de raíces más profundas que, al penetrar en la tierra, favorecen la descongelación y el intercambio con la atmósfera. Era difícil prever esto e incluirlo en los modelos, hay que admitirlo.



El caso más famoso de amplificación y, por tanto, falta de previsión en los modelos lo encontramos en el deshielo del polo Norte y, en menor medida, de la Antártida. El aumento de la temperatura media no sólo disminuye la superficie cubierta por el hielo, sino que además, al haber menos hielo, hay menos radiación solar que, reflejándose en el hielo, vuelve a escapar al espacio. En su lugar, el mar ártico, de color oscuro, absorbe la radiación en lugar de reflejarla, con lo que finalmente aumenta la cantidad de energía calorífica que el planeta se queda para sí. Además, el flujo de agua que corre por debajo de los glaciares también aumenta con el deshielo, haciendo de efecto patín y deslizando el glaciar hacia el mar o hacia altitudes más cálidas con mayor rapidez. Algunos de estos y otros efectos

no se tuvieron en cuenta cuando en el año 2000 se pronosticó que el Ártico se quedaría sin hielo al final de verano para el año 2075. Ahora se estima que esa situación es la que hallaremos entre 2012 y 2015.

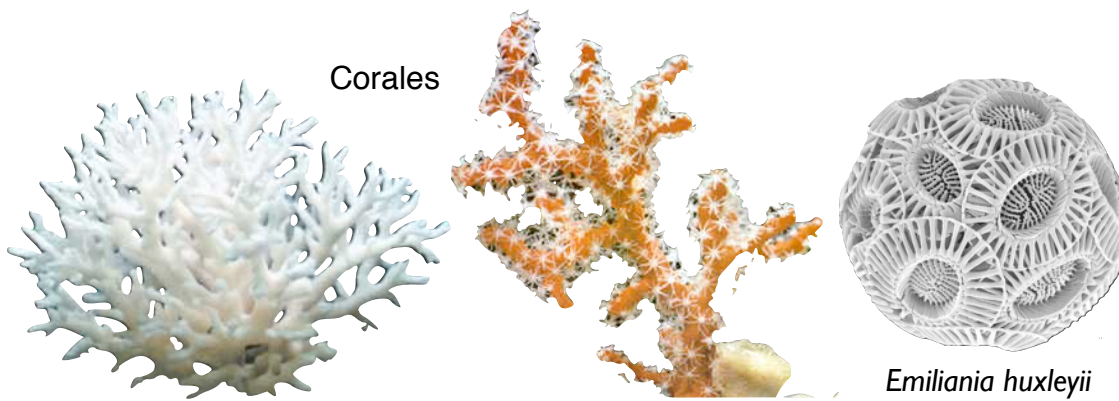


#### Efectos en el Ecosistema Marino

El océano juega un papel fundamental en el cambio global. Entre un 42 y un 50% del  $\text{CO}_2$  que emitimos a la atmósfera es absorbido por los océanos; sin ellos el aumento hubiera sido mucho mayor. De hecho, hay evidencias recientes de que el océano está perdiendo la capacidad de absorber tanta cantidad de  $\text{CO}_2$ , lo cual agravaría la situación en la atmósfera. También almacenan el 80% de la energía calorífica, amortiguando los cambios en temperatura. Pero en el mar también hay seres vivos, organismo que hacen la fotosíntesis y llegan a contribuir en convertir el  $\text{CO}_2$  en vida tanto como las plantas terrestres, en términos cuantitativos. Así que estos organismos, llamados en conjunto "fitoplancton", junto con las macroalgas y fanerógamas marinas de los ecosistemas costeros, son susceptibles de aumentar su crecimiento ante unos niveles de  $\text{CO}_2$  elevados. Pero, como hemos visto anteriormente, no lo harán todas las especies por igual, por lo que se prevén cambios en la composición de especies que finalmente se propagarán por el resto de la red trófica afectando tanto a las reservas pesqueras como a las rutas de migración de cetáceos. En el Ártico ya se ha observado un cambio en la composición de fitoplancton hacia la aparición de especies unicelulares de tamaño más pequeño y composición celular diferente.

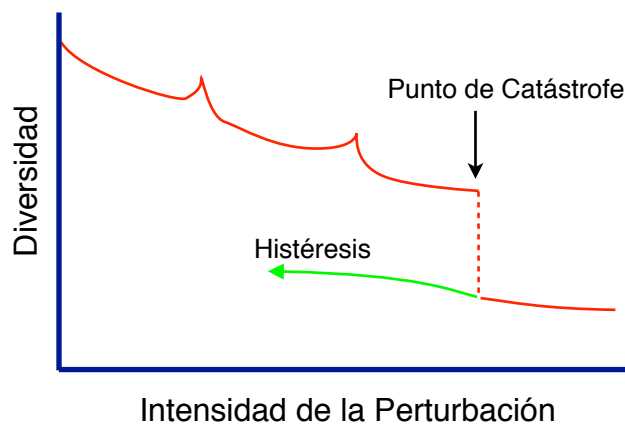
El  $\text{CO}_2$  en el agua de mar no está en forma de  $\text{CO}_2$  como tal, al menos en su mayor parte, ya que reacciona con el agua y forma bicarbonato y, en menor medida, carbonato. El carbonato no es asimilable por fotosíntesis pero sí forma parte esencial de multitud de organismos con concha o esqueletos de carbonato cálcico como los corales entre otros. Pues bien, el aumento de  $\text{CO}_2$  disuelto aumenta la acidez del agua de mar, lo que se conoce por "acidificación oceánica", disminuyendo la cantidad de carbonato disponible, que se convierte en bicarbonato. Esto pone en peligro la subsistencia de organismos con estructuras carbonatadas, no solo pluricelulares, sino también unicelulares, de gran relevancia para los ecosistemas de los que forman parte.





### Hacia Dónde Va la Biosfera.

En conjunto, es seguro que los ecosistemas se verán alterados ante los cambios ambientales previstos. Estos cambios son perturbaciones en el sistema. La figura de abajo muestra el comportamiento que tiene la diversidad biológica de un ecosistema ante un aumento en la intensidad y/o la frecuencia de una perturbación dada. Si la perturbación es baja, el ecosistema es capaz de alcanzar un alto grado de diversidad. Se podría decir que la estabilidad ambiental favorece la diversidad siempre y cuando se den las condiciones necesarias de presencia de nutrientes y agua, espacio disponible, y luz, entre otros. El Amazonas o los bosques de Indonesia están entre los mejores ejemplos. El desierto, o la superficie lunar son ejemplo de sistemas con escasas perturbaciones pero sin las condiciones necesarias para la vida.



Así pues, podemos ejercer una perturbación creciente a un sistema y veríamos como la diversidad va paulatinamente disminuyendo, exceptuando determinados picos en los que se produce una situación nueva que favorece el desarrollo de nuevas especies, como cuando se forma un claro en el bosque por la caída de un gran árbol por viejo, o tras haberle alcanzado un rayo. Ese claro es sustrato para especies que se desarrollan sólo si reciben la luz directa del sol, y no aparecen en la umbría del bosque, por lo que aumenta la diversidad del bosque en su conjunto. Si seguimos aumentando la perturbación, la diversidad sigue disminuyendo hasta alcanzar un punto llamado "punto de catástrofe" en el que el sistema sufre una discontinuidad, colocándose, en poco tiempo, en una situación nueva, mucho más degradada. Esta teoría del comportamiento discontinuo de un sistema (sea o no biológico), se llama "Teoría de catástrofe" y se caracteriza por el hecho de que si se vuelve a la situación inicial de menor perturbación, el sistema ya no se recupera; no vuelve por el mismo camino que le llevó hasta allí, no remonta el punto de catástrofe. A este retorno por otro camino se le llama histéresis. El comportamiento en catástrofe lo observamos, por ejemplo, en un incendio; pero

los expertos han observado este tipo de comportamiento como consecuencia del cambio global en numerosos sistemas. Quizás el más ilustrativo, por intuitivo, sea el del glaciar, que conforme aumenta la temperatura, apenas se le ve retroceder, hasta un punto en el que colapsa de repente y retrocede de manera notable en pocos días. Hay numerosos ecosistemas cercanos a nosotros en los que esto ya ha ocurrido, aunque nos sea más difícil de observar, en parte, porque nos cuesta aceptar que esté ocurriendo en realidad.