

Curso: LOS IMPULSORES DEL CAMBIO EN OCÉANOS Y COSTAS
La maquinaria de la biosfera.

El *Sistema* Biogeoquímico Global: Ciclos del C,N,P
Se adjunta doc con figuras

El dióxido de carbono (CO₂) y el Ciclo del Carbono (C)

Prof Adj de Ciencias Ambientales

Gustavo J Nagy

29/04/2020

Todos los datos son mostrados en miles de millones de toneladas CO₂ (GtCO₂)

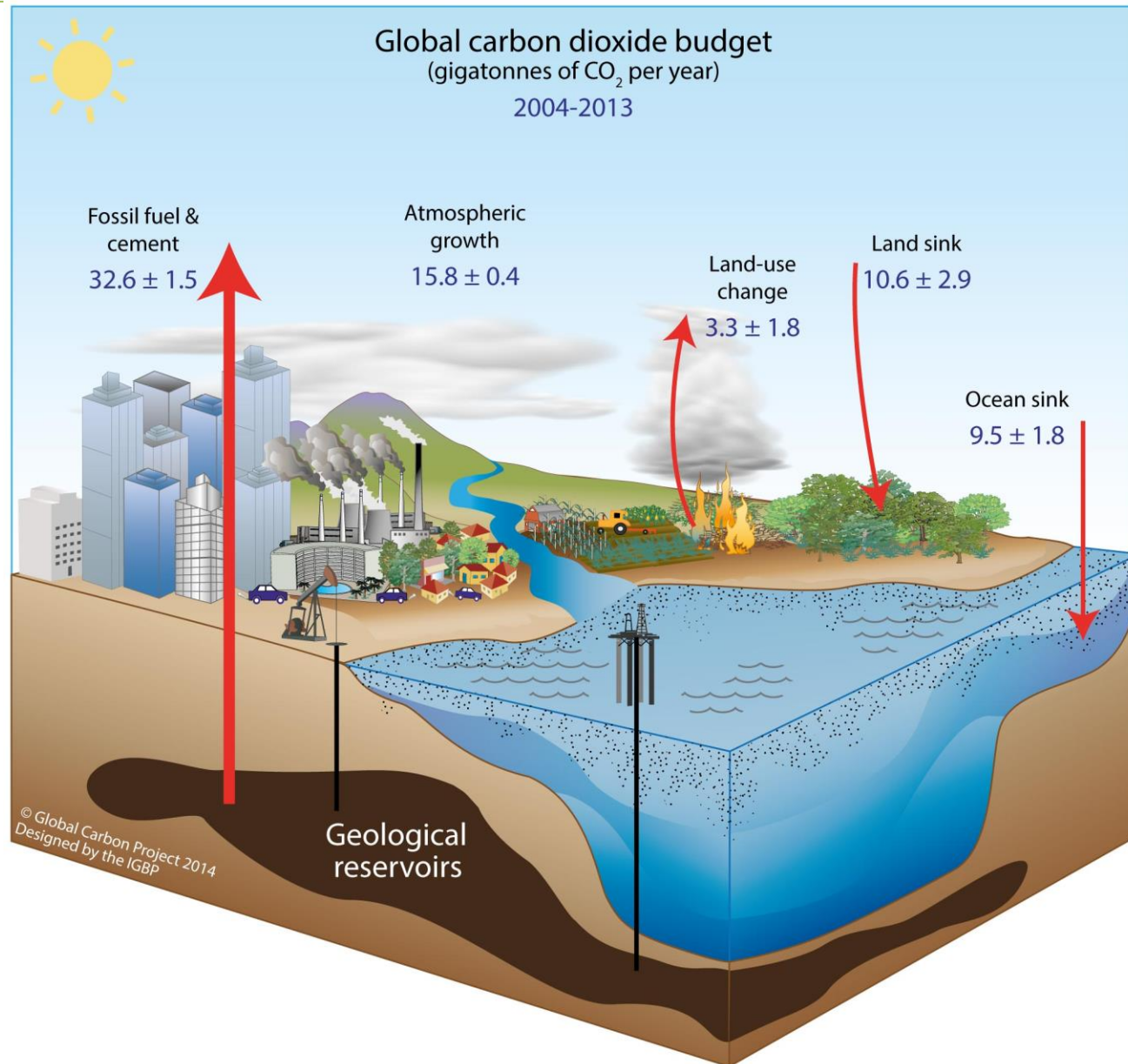
1 Gigatonelada (Gt) = 1 mil millones de toneladas = 1×10^{15} g = 1 Petagramo (Pg)

1 kg carbono (C) = 3.664 kg dióxido de carbono (CO₂)

1 GtC = 3.664 1 mil millones de toneladas de CO₂ = 3.664 GtCO₂

Anthropogenic Perturbation of the Global Carbon Cycle: Caused by anthropogenic activities, averaged globally for the decade 2004–2013 (GtCO₂/yr)

Data: CDIAC/NOAA-ESRL/GCP



Source: [CDIAC](#); [NOAA-ESRL](#); [Le Quéré et al 2014](#); [Global Carbon Budget 2014](#)

Conceptos clave y Simbología

Fuente primaria: Global Warming: The Complete Briefing, Sir John Houghton, 5th Ed (2015), Cambridge University Press (UK).

- El dióxido de carbono (CO_2) provee el medio dominante de transferencia natural entre los Reservorios |R| naturales del Carbono (C), lo que se llama “El Ciclo (reciclaje) del C” (@ C) (Fig. 3.1.) VER FIGS EN PDF ADJUNTO
- La vida usa el C al respirar y tomar oxígeno (O_2) de la atmósfera |A| y liberar el C tomado de los alimentos los cuales se queman y liberan (\nearrow) O_2 a la |A|.
- Tanto la fotosíntesis (FS) que toma C y la respiración de materia orgánica (CH_2O) (r) ocurren también en los océanos (O).
- El aumento (>) de |CA| anual es $\approx 4 \text{ PgC /año}$ ($1 \text{ PgC} = 10^5 \text{ g}$ o Giga Toneladas Gt /a). El |CA| es $\approx 589 \pm 240 \pm 10 \text{ Gt}$, donde +/- son las medias de los flujos (\rightarrow) anuales de origen antropogénico (actividad humana) de la década 2000-2009, por lo tanto una perturbación del Ciclo del C (Δ Ciclo C).
- Los grandes reservorios son la Atmósfera |A|, Océano |O| y Tierra |T| (suelos + biosfera terrestre-BT).
- La Biosfera es la suma (Σ) biosfera terrestre (BT) + biosfera oceánica (BO).

Conceptos clave y Simbología

- $\approx 1/5$ del C total es reciclado (\leftrightarrow) cada año por la BT y los procesos fisicoquímicos del Océano.
- Interface $A \leftrightarrow O$. La $\sum |CA| + |CO|$ es $\gg |CA|$. La \nearrow de sólo 2% $|CO| \uparrow 100\%$ el $|CA|$.
- A las escalas temporales que nos conciernen el C \nearrow a la A, CO_2 no es destruido sino redistribuido entre $|R|$ por lo cual el CO_2 es diferente de otros GEI que son destruidos químicamente en la $|A|$.
- Tiempo de \leftrightarrow "Turnover" desde < 1 año a varias décadas (capa O Superficial y BT) a milenios (O Profundo o Suelos profundos).
- El CO_2 tiene una vida media (τ) en la $|A|$ de ≈ 4 años, por lo cual un $\uparrow 50\% |CA|$ es removido en ≈ 30 años, un 30% en siglos y un 20% en milenios. Se usa una cifra estimada grosera de ≈ 100 años como vida media del $|CA|$.

Conceptos clave y Simbología

- **Antes de la perturbación humana del Ciclo del C en 1750 (pre-1750) los \leftrightarrow de C eran casi constantes y la $|CA|$ era $\approx 280 \pm 20$ ppm (partes por millón).**
- **Post-1750 se $\nearrow \approx 600 \times 10^3$ Gt al $|CA|$ por la quema de combustibles fósiles (QCF), $\uparrow 43\%$ el $|CA|$ llegando a niveles $>$ que en los últimos 650.000 años.**
- Fig. 3.1 en adjunto doc
- Por ej. En Marzo 2017 la concentración atmosférica era
- <https://www.co2.earth/> March 2017 **407.05 parts per million (ppm)**, Mauna Loa Observatory, Hawaii (Scripps), Preliminary data released April 3, 2017.

Monitoreo del CO₂ atmosférico | CA |

- La medición precisa de | CA | se inició en Mauna Loa (Big Island, Hawaii) en 1959.
- Muestra que entre 1995-2010 \uparrow a una tasa de ≈ 2 ppm/año, $>$ a la previa de ≈ 1.5 ppm/año en la década de 1990 (1990s) lo cual $\uparrow + 4$ Gt C el | CA | cada año.
- Se conoce \approx cuanto carbón, petróleo y gas se queman/año para calefacción, energía, transporte, industria. Esta QCF \uparrow | CA | $\approx 2.5\%$ /año entre 2000-2010. Otra parte proviene del Δ de Uso del Suelo-UdS (Deforestación tropical parcialmente equilibrada por la reforestación) (Fig. 3.3.).
- Para la década que terminó en 2011 en ≈ 9 Gt/a (QCF + Δ UdS) de los cuales $\approx 75\%$ por QCF
- Dado que el \uparrow | CA | fue sólo 4 Gt C/a (o sea un 40% fue \nearrow A), el 60% restante fue absorbido (sink) por | O | y Tierra | T | actuando como sumideros de C.
- ≈ 95 de de la QCF se da en el Hemisferio Norte (HN) o sea que hay + C (≈ 2 ppm) en el HN que en el HS y \uparrow en paralelo al \uparrow de las \nearrow C.

- $\approx 80 \text{ Gt CO}_2/\text{a}$ $A \leftrightarrow O$ siendo el equilibrio tal que si $\uparrow 10\% |C_A| \rightarrow \uparrow 1\% |C_O| \rightarrow$ (un 10%), lo cual se da en la capa superficial ($\approx 100\text{m}$) del O ($A \leftrightarrow O_{\text{Superficial}}$) (regida por procesos fisicoquímicos de difusión de primer orden a favor de gradiente de $[A \leftrightarrow O_{\text{Superficial}}]$).
- Por lo tanto la mayoría del 60% es absorbido rápidamente. La absorción del C en el O_{Profundo} es \gg lenta (100s-1000s años). Este proceso lento del O_{Profundo} se conoce como “Bomba de Solubilidad del CO_2 ” (regida por procesos fisicoquímicos de solubilidad -en agua marina- gobernados por la temperatura, salinidad y presión).
- Por lo tanto, a pesar de su gran capacidad y rapidez del proceso $A \leftrightarrow O$ y el tamaño del $|CO|$, como sólo un % menor del CO_2 está en él, a escalas temporales cortas sólo el $O_{\text{Superficial}}$ interviene en el turnover del C.
- Se cree que el $\uparrow^\circ \text{C}$ y la \downarrow de la tasa de $A \leftrightarrow O$ y el $@ \text{C}$ del $O_{\text{Superficial}}$, $\downarrow \text{CO}_2 A \leftrightarrow O$.
- La actividad biológica del $|O|$ juega un rol importante pues la BO tiene un \uparrow Turnover ($@\text{BO}$).
- La producción de BO (PBO) es un $\sim 30\%$ de la PBT. Un % menor del C del Plankton oceánico sedimenta al O_{Profundo} saliendo del $@\text{C}$ por 100s-1000s años. Esto se conoce como **“La Bomba biológica del CO_2 ”**.

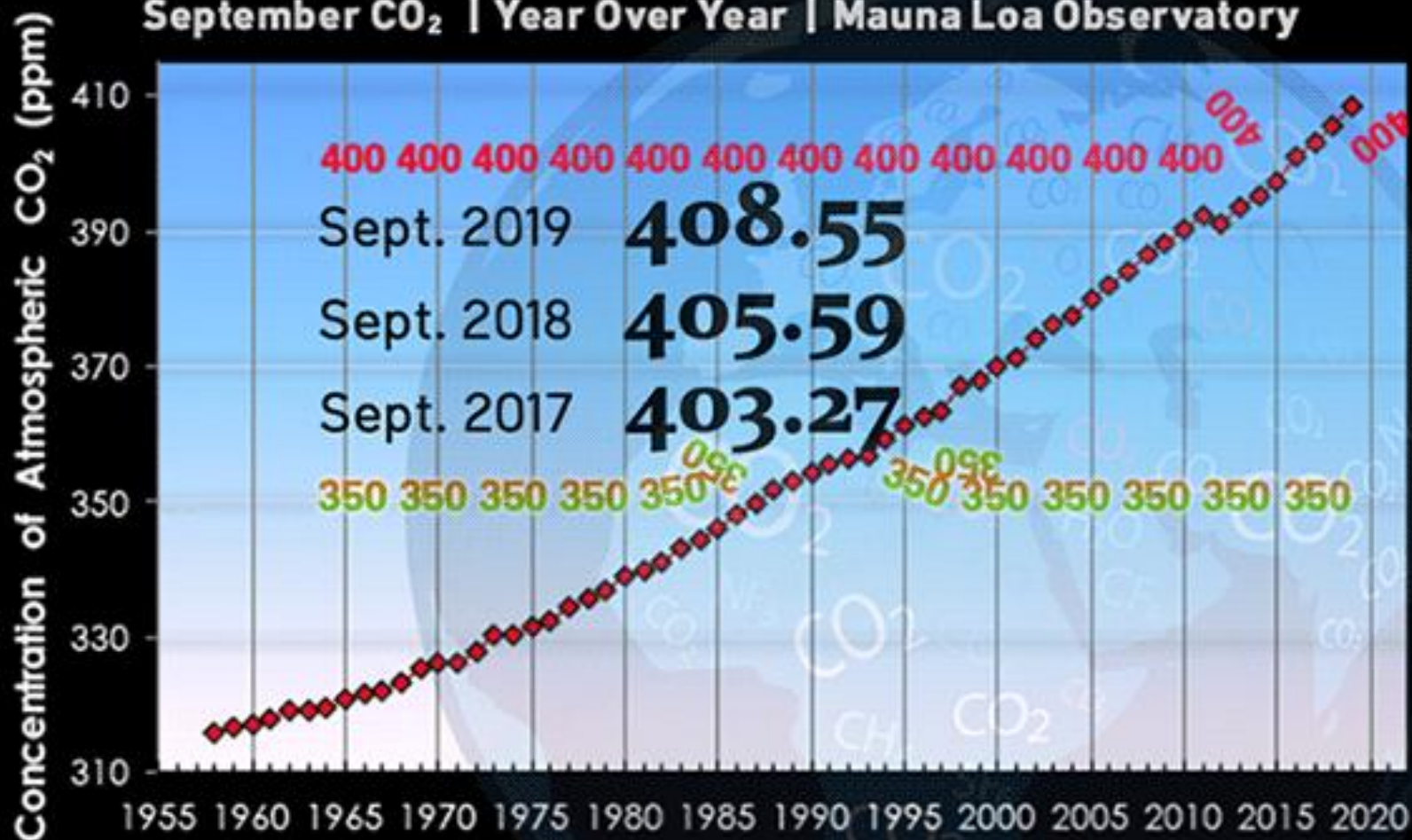
Concentraciones de CO₂ Marzo-Abril 2019 y 2020

- **Daily CO₂**
- Apr. 21, 2020: 416.28 ppm
- Apr. 21, 2019: 413.63 ppm
- **March CO₂**
- Mar. 2020: 414.50 ppm
- Mar. 2019: 411.97 ppm
- **February Temperature**
- 2nd Warmest Feb. since 1880: 2020 !!!!
- Coolest Feb. since 1880: 1893 & 1905
- Nota: Desde el inicio del Impacto en la actividad económica debido a la pandemia Coronavirus las emisiones han bajado temporalmente. Esto también pasó luego de 1989 con el desplome de la URSS.

September 1958 - September 2019

Atmospheric CO₂

September CO₂ | Year Over Year | Mauna Loa Observatory



CO₂-earth

Featuring Scripps data of October 7, 2019

- Se usan modelos computarizados para estimar el \leftrightarrow de $|CA| \leftrightarrow |CT| \leftrightarrow |CO| \leftrightarrow |CA|$.
- Estos modelos se han usado para estimar dispersión del $^{14}C \nearrow |O|$ post test nucleares en los 1950s, mostrando una buena simulación, lo que es una de las validaciones de los modelos.
- De aquí se estima que $2.0 \text{ Gt C} \pm 0.7 \text{ Gt C}$ del $C \nearrow |A|$ /a termina en $|O|$ ($A \leftrightarrow O \text{ C02} \approx 2.0 \pm 0.7 \text{ Gt C/a}$). Las observaciones de la distribución de otros isótopos del C en $|O|$ y $|A|$ lo confirman.
- Más información sobre la partición $|CA| |CT| |CO|$ se obtiene siguiendo las tendencias medidas $|CA|$ con la razón Oxígeno/Nitrógeno en $|A|$ (preciso). Esto se debe a que los $A \leftrightarrow BT$ de $C02$ y $O2$ es \neq a $A \leftrightarrow O$ de $C02$ y $O2$.
- En BT la FS de $CH2O \rightarrow \searrow C02 \nearrow O2$ y la $rCH2O \rightarrow \nearrow C02 \searrow O2$.
- En $|O| \rightarrow |CA| \searrow |CO|$ ya que es disuelto en $H2O$, siendo removidos el C y O en las moléculas.

Nota aclaratoria

Recordar que:



y que

$$\text{pH} = -\log |\text{H}^+|.$$

- Esto se interpreta para 1990-2000 en la fig. 3.5 consistente con los datos del balance de los 1990s (y de la tabla 3.1).

-

Recordar que:



y que

$$\text{pH} = -\log |\text{H}^+|.$$

Por lo tanto, > CO₂ acidifica el océano (certeza)

Tabla 3.1. Componentes del presupuesto (balance) anual medio del carbono para los períodos 1981-89, 1990-99, 2000-09 y 2002-11 en GtC/año. Un flujo (-) de la tierra o el océano a la atmósfera equivale a una ganancia (+) en C de estos reservorios El rango de incertidumbre representa al intervalo de confianza 9 (de Tabla 6.1, IPCC WGI, 2013).

	1980-89	1990-99	2000-09	2002-11
Emisiones	5.5 +/- 0.4	6.4+/- 0.5	7.8+/- 0.6	8.3+/- 0.7
↑ CO_{2A} 	3.4 +/- 0.2	3.1 +/- 0.2	4.0+/- 0.2	4.3+/-0.2
A↔O CO₂	-2.0 +/-0.7	-2.2+/- 0.7	-2.3+/- 0.7	-2.4+/-0.7
T↔A CO₂	-0.1 +/-0.8	-1.1+/- 0.9	-1.5+/-0.9	-1.6+/- 1.0
Particionado así:				
Δ UdS	1.4 +/- 0.8	1.5+/- 0.8	1.1+/- 0.8	0.9+/- 0.8
Sumidero residual terrestre	-1.5+/- 1.1	-2.6+/- 1.2	-2.6+/- 1.2	-2.5+/- 1.3

- El flujo global total $|CT| \rightarrow |CA|$ (Tabla 3.1) representa el balance de un flujo neto debido a ΔU_dS que ha sido (+) y $\nearrow C$ y un residuo que es (-) (sink / sumidero de C).
- Las estimaciones de ΔU_dS (Tabla 3.1) son dominadas por la deforestación tropical ($\nearrow C$) con un $\searrow C$ por la forestación en áreas templadas del HN y otras formas de manejo del suelo.
- Los procesos que aportan al residuo de C (Residual C Sink) son:
 - i) Fertilización por $|CO_2A|$ "Efecto fertilizador por $\uparrow |CO_2A| \rightarrow \uparrow B$ algunas plantas terrestres.
 - ii) Fertilización con Nitrógeno por el uso (abuso) de fertilizantes.
 - iii) Algunos cambios del Clima (por ej. $\uparrow ^\circ C$ o precipitaciones).
- Las magnitudes de estos cambios no se estiman directamente y son inciertas - sólo se estiman como Σ de los procesos, el cual se hace - indirectamente - a partir del requerimiento para equilibrar el balance global (presupuesto) del Carbono (Tabla 3.1).

- Una guía para la absorción del C desde la atmósfera por la B_T es la $|CO_{2A}|$ que muestra un ciclo regular intra-anual (estacional) de ≈ 10 ppm en Mauna Loa.
- $CO_2 \searrow B_T$ durante el verano boreal por la FS y crecimiento vegetal y \nearrow durante la respiración de CH_2O en el invierno.
- En el HN se observa $\downarrow |C_A|$ en el verano, siendo mayor la ΔCO_2 estacional debido a que la B_T es \gg en HN que en HS.
- Los modelos de absorción de C por la B_T están enmarcados por este rango de Δ .
- La fertilización (F) por $|CO_{2A}|$ es un feedback biológico porque $\uparrow |CO_{2A}| \rightarrow F \rightarrow \uparrow$ Absorción $|CO_{2A}|$ y vice versa.

- Existen feedbacks (+) que acelerarían el $\uparrow^{\circ}\text{C}$ global.
- Aunque no se conocen sus magnitudes se estiman como grandes. Se les llama **Feedback del Ciclo Global del C**.
- El CO_2 provee el $>$ potencial radiativo de las especies del C y entre los GEI. La fórmula de su cálculo es: $R = 5.3 \ln (C/\text{CO})$
- R: Forzante radiativa del C,
- C: $|\text{CO}_2\text{A}|$,
- CO: $|\text{CO}_2\text{A}|_{\text{pre-1750}}$ (280 ppm).

Feedbacks (mayores) en la atmósfera y biosfera

- A medida que los GEI CO_2 y CH_4 son \nearrow a la $|A|$ por las actividades humanas, feedbacks biológicos y otros ocurren en la Biosfera como aquellos inducidos por los cambios climáticos.
- Estos aumentan (+) o disminuyen (-) el efecto.
- Hay 2 feedbacks principales y mejor estimados:
- (+) “Plankton multiplicador en el Océano”.
- (-) “Fertilización por CO_2 ”.

Feedbacks (menores?) en la atmósfera y biosfera

- Hay otros 4 pero mal cuantificados:
 1. Efectos del $\uparrow^{\circ}\text{C}$ sobre la r de CH_2O , especialmente por los micrios del suelo que $\uparrow \text{CO}_2$ y su \nearrow . La evidencia se ve durante los eventos de corto plazo “El Niño” y en el evento frío post erupción del Pinatubo (en Filipinas, 1991). Los efectos fueron importantes pero no se conocen a largo plazo.
 2. Reducción del crecimiento o muerte en selvas (Amazonas) por efectos del cambio climático presente. Se espera que este (+) \uparrow con el CC futuro.
 3. Incendios en bosques $\nearrow\text{C}$ debido a las condiciones más secas y/o calientes debido a la muerte de CH_2O debido a ii (2)).
 4. Liberación del CH_4 de pantanos y de R sedimentarios en latitudes altas formado en millones de años por la r de CH_2O . Aunque la mayor parte es profunda, hay ya evidencia de la acción de este mecanismo en el ártico y permafrost. El $\uparrow^{\circ}\text{C}$ actúa como (+) en pocas décadas.