



El cambio climático. El punto de no retorno

Dr. Bernardo Fontal

Laboratorio de Organometálicos, Departamento de Química, Facultad de Ciencias,
Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela

Noviembre, 2022

El cambio climático es y será el reto mayor y más peligroso al que se ha enfrentado la especie humana y la vida en general del planeta Tierra. El cambio climático define el desafío más importante del siglo XXI que puede marcar la sobrevivencia del 'sistema vida' en un futuro cercano. Es la actividad humana la principal causante de los cambios y es nuestra responsabilidad tomar las decisiones para parar y revertir los cambios que ya están con nosotros y que se van a empeorar si no actuamos de inmediato. Si decidimos continuar con nuestro estilo de vida, llegará el momento en que el sistema climático tomará control de la situación y el proceso se tornará irreversible. Los riesgos potenciales con las consecuencias más adversas para los sistemas humanos y los sistemas ecológicos incluyen aquellos en: la vida; la subsistencia, los alimentos y la alimentación; la salud y el bienestar; lo económico; lo social y lo cultural; las inversiones; la vivienda y la infraestructura; los servicios, los ecosistemas y las especies. Los efectos serán globales y muy rápidos y no habrá lugar donde protegerse o sobrevivir. Este es nuestro único planeta viable y lo estamos destruyendo.

Los indicadores del cambio son bien claros y los vemos todos los días en las noticias: olas de calor, inundaciones, huracanes y tifones, incendios forestales. El clima del planeta Tierra es un proceso caótico que depende de muchos factores interrelacionados. Nuestra principal fuente de luz y calor es el Sol. El calor que llega a la Tierra se distribuye en la atmósfera, la superficie terrestre y principalmente en los océanos. El planeta reemite radiación infrarroja reflejada de la superficie terrestre a través de la atmósfera hacia el espacio exterior y debe llegar a un equilibrio térmico. Es la presencia de ciertos gases de efecto invernadero, que absorben la radiación infrarroja reflejada, modifican la situación de equilibrio y producen el calentamiento global. Uno de los puntos críticos del cambio

climático es la concentración de estos gases invernadero en la atmósfera. Estos gases son: el agua, H_2O , el dióxido de carbono, CO_2 , el metano, CH_4 el óxido nitroso, N_2O , y otros.

CANTIDAD Y EFECTOS DE LOS GASES INVERNADERO EN LA ATMÓSFERA

El agua es el principal gas Invernadero y es responsable de un 70% del efecto invernadero total, varía con la temperatura y la humedad relativa, pero su actuación en la atmósfera es muy dinámica, se forman nubes y llueve o cae nieve. El CO_2 es el siguiente más importante en el efecto invernadero por su alta concentración en la atmósfera, pues es el principal producto de la combustión de combustibles fósiles y de la deforestación e incendios forestales. El CO_2 tiene una vida media entre 100 y 400 años en la atmósfera. El metano se produce en la ganadería, la producción de arroz y la explotación de petróleo y gas natural, quema de biomasa, rellenos sanitarios, termitas y pantanos. Tiene un potencial de impacto de calentamiento 104 veces mayor que el CO_2 , pero permanece en la atmósfera como 11 años, pues es destruido por el radical OH en la atmósfera. El N_2O se produce por la agricultura y la minería y tiene una vida media de 110 años en la atmósfera.

El CO_2 alcanzó 414 ppm en 2020, más alto que cualquier año en los últimos 4 millones de años. Entre el 30 % a 40% del CO_2 se disuelve en el océano. La fotosíntesis convierte 100 a 115 miles de millones de toneladas métricas de CO_2 a biomasa por año. El CO_2 que se disuelve en el océano entra en equilibrio con carbonatos y produce acidificación del océano. El pH de la superficie del océano ha disminuido a pH = 8,05 (más ácido). Esta acidez afecta los ecosistemas oceánicos incluyendo la pérdida masiva de los arrecifes de coral. El metano, CH_4 , ha aumentado a 1866,3 ppb en 2019, el más alto en 800 000 años. El N_2O fue de 332,1 ppb en 2019. La presencia de los gases invernadero hace que la Tierra tenga una temperatura promedio de 14 °C, en lugar de -18 °C sin ese efecto.

AUMENTO DE LA TEMPERATURA GLOBAL

El efecto neto del incremento en gases invernadero en la atmósfera, debido a la actividad humana, es el efecto en aumentar la temperatura global en la atmósfera cerca de la superficie en la tierra y sobre la superficie de los océanos. La temperatura ha aumentado en 1,1 °C (con referencia al promedio entre 1850 y 1900). Se espera un aumento en 1,5 °C en dos décadas o sea para el 2040. El año 2019 fue el segundo año más caliente (primero 2016), 0,98 °C por encima del promedio (1951- 1980). 9 de los 10 años más calientes

desde 2005. La región Artica se calienta tres veces más rápido que el resto del globo desde 1970. Desde el siglo XIX, más del 90% del exceso de calor acumulado en el sistema climático ha sido absorbido por los océanos. La temperatura promedio en el siglo XX fue de 13,9 °C, desde 1900 a 1980 había un record en temperatura cada 13,5 años, desde 1981 hay uno cada 3 años. El aumento en la temperatura global produce el deshielo de los glaciares, de las láminas de hielo de Groenlandia y Antártica y el hielo en el mar como en el océano Ártico. Estos deshielos producen un aumento en el nivel del mar.

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

1) Subida del nivel del mar

El Promedio Global del nivel del mar ha subido 0.235 metros (2020). Si hay un aumento de 3°C en Groenlandia, sube 7 metros en varios milenios. Antártica tiene el 70% de agua dulce mundial, de 1992 a 2006 perdió 50 giga toneladas de hielo por año (0,14 mm se ascenso del nivel del mar). Si se derrite completo subirá 58 metros. La inundación de zonas costeras afectará a muchos habitantes. 640 millones de habitantes viven a menos de 9 metros sobre el nivel del mar. Dos terceras partes de las ciudades con más de 5 millones de habitantes se localizan en áreas litorales bajas. Naciones insulares sufrirán inundaciones.

2) Eventos extremos

A) Olas de calor: Las olas de calor ocurren durante el verano, principalmente en el hemisferio norte, con mayor superficie terrestre. En 2022 (2019 y 2015) gran parte de Europa tuvo temperaturas record y muchas muertes por el calor. El humano tiene una temperatura de 37 °C, por encima se eso, produce hipertermia. Olas de calor en Groenlandia (3 °C por encima del promedio, Julio) derritió 157 giga-toneladas de hielo. 30% de la población (1 de cada 3) (13% del área terrestre) sufrieron de calor. Serán más comunes en el futuro.

B) Incendios forestales: producidos por las altas temperaturas, la alta y prolongada sequías y los rápidos vientos. Arrojan 250 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera. En California, 14 de los 20 incendios forestales más destructivos han ocurrido desde 2007. En el Amazonas ocurrieron 80000 incendios en 2019 (aumento de 77%), 9060 km² destruidos. 99% de los incendios son provocados por el hombre, para la agricultura y

principalmente para la ganadería. En Australia, los incendios del 2019 fueron los más devastadores en la historia, con millones de hectáreas destruidas con todos los ecosistemas. En Siberia el 2019 fue el peor año en la historia para los incendios en la región. Ha destruido 13 millones de hectáreas y derrite el permafrost (tierra congelada).

C) Inundaciones y sequías: Cambios en los patrones de lluvias intensas (produce inundaciones) y de períodos de bajas lluvias (produce sequías y desertificación). Aumento en la intensidad y frecuencia del fenómeno del Niño (debido a aumento en la temperatura del océano Pacífico tropical). Destruye las cosechas, creando hambruna en la población.

D) Huracanes, tifones y tornados: En el océano Atlántico 2019, 18 tormentas, 6 huracanes (tres de categoría más de 3). Tifones: En el océano Pacífico 2019: 52 tormentas tropicales, 29 tormentas con nombre, 17 tifones (4 super tifones). Tornados: Muchos en USA en el callejón de los tornados, pero se han presentado en Irlanda, Gran Bretaña, Australia, Nueva Zelanda, Japón.

PUNTO DE NO RETORNO

El punto de no retorno es la situación del sistema climático en que se ha llegado a un determinado nivel de las diferentes variables que ya 'no tenemos control' de las posibles consecuencias. Esto probablemente ocurrirá cuando los sistemas naturales de cambio se desborden en un proceso de 'retroalimentación positiva'. Esto quiere decir que el proceso se 'autosostiene' o se 'acelera' en forma 'creciente e indefinida'. Las Naciones Unidas y el IPCC han dado su voz de alerta. Hay que reducir el aumento de la temperatura promedio a 1,5 °C. El aumento de 2 °C propuesto en Paris (2019) ya es demasiado. 15.000 científicos han firmado una declaración sobre el 'punto de no retorno' y dan 13 sugerencias para preservar el planeta: establecer reservas naturales, reducir los desperdicios de alimentos, desarrollar tecnologías verdes, establecer incentivos económicos para cambiar los patrones de consumo, cambiar el uso de combustibles fósiles por fuentes energéticas renovables (eólica, fotovoltaica, hidráulica).

Si no se hace la transición a energía limpia (crecimiento al menos de 2% anual) **2035** será el punto de no retorno. Si crece al 5% anual se mueve el punto al **2045. Un aumento de CO₂ a 450 ppm, nos llevará al punto de no retorno.** Debido a la mayor acidez del océano

(por mayor cantidad de CO₂ disuelto) el plancton ha disminuido (es la base de la cadena alimenticia del océano). 6% de los arrecifes de coral ha muerto por el aumento en la temperatura del océano. Un aumento de la temperatura de 4 a 5 °C, los efectos se harán sentir. Aumento en el nivel del mar (200 pies) arrasará ciudades costeras, tormentas serán desastrosas, olas de calor matará miles de personas, incendios forestales sin control, sequías e inundaciones destruirán las cosechas y habrá hambruna.

Aumentos de la temperatura mayores a 2 °C llevará a eventos climáticos extremos y nos llevará al punto de no retorno al empezar reacciones en cadena de retroalimentación positiva. En menos de un siglo los niveles del mar aumentarán de 10 a 60 metros, reduciendo los sumideros de gases invernadero terrestres y marinos, muerte de los bosques, reducción en la cantidad de nieve, pérdida del hielo en los polos y en los glaciares, aumento en el desprendimiento de CO₂ y CH₄ de los mares, la tierra y el permafrost (tierra congelada). Esto empezará la cadena de retroalimentación positiva (*positive feedback*).

HIDRATO DE DIÓXIDO DE CARBONO

Los hidratos de dióxido de carbono son estable por debajo de 2 a 4 °C y presiones a profundidades mayores a 3000 metros, presiones parciales de CO₂ de 18-20 bars. El hidrato de CO₂ es más denso que el agua y se hunde hasta el fondo del océano. Se estiman millones de toneladas de hidratos de CO₂ en el fondo del océano, debajo de capas de hielo en los polos y en el permafrost.

HIDRATO DE METANO

Se trata de una molécula de metano dentro de la estructura del hielo. Es estable a temperaturas bajas y presiones altas y alta concentración de metano. Se asemeja al hielo, pero se enciende al arrimar una llama (fiery ice). Se ha propuesto como una fuente energética. Es la fuente de hidrocarburos más abundante ($2 \times 10^{14} \text{ m}^3$). Produce emanaciones de metano, pero se acelerará con el calentamiento global. Se encuentra en sedimentos en el fondo del mar y en el permafrost. Un litro de hidrato de metano sólido produce 169 litros de metano gaseoso. 90% de hidrato de metano se encuentra en las

profundidades marinas, menos susceptible al calentamiento global. El hidrato de metano es estable por debajo de 500 metros de profundidad y 5 °C. Una descomposición masiva de los hidratos de CO₂ y CH₄ desde sus reservorios marinos y terrestres hacia la atmósfera será catastrófico por la retroalimentación positiva que aumentará la temperatura global. Esto nos llevará a un punto de no retorno. Los depósitos en la arena se asemejan al hielo. Las principales áreas de concentración de los hidratos de metano (además de las profundidades marinas) es en la plataforma continental al borde de los continentes. Allí está hasta profundidades de 500 metros y será muy susceptible al calentamiento del mar.

PERMAFROST (SUELO CONGELADO), TUNDRA

El permafrost es suelo permanentemente congelado en latitudes altas. 24% de la tierra en el Hemisferio Norte es permafrost. El permafrost acumula cantidades masivas de carbón como hidratos de CO₂ e hidratos de metano. Para la mitad del siglo XXI, la superficie del permafrost en el hemisferio norte se reducirá en un 20- 30%. Para 2022, la tundra será una fuente de carbón y no un sumidero. El permafrost puede contener de 7.5 a 400 billones de toneladas de carbón equivalente. Si se libera como CH₄, puede empezar un calentamiento global catastrófico.

COLOFÓN

La vida en el planeta Tierra ha sufrido grandes catástrofes (erupciones volcánicas masivas, altas temperaturas y choque de meteoros gigantes) y ha habido extinciones masivas. La pregunta sería: **¿Puede el sistema vida sobrevivir un fenómeno de calentamiento excesivo y rápido y llegar al PUNTO DE NO RETORNO?**

Gracias por su atención.