

### **Reflexiones sobre el cambio climático**

Con ausencia de sol y las temperaturas más altas de los últimos 138 años, así es cómo Moscú vive la temporada entre la Navidad católica del 25 de diciembre y la Navidad ortodoxa del 7 de enero, asociada históricamente a temperaturas bajo cero.

Pero el tránsito del año 2017 al 2018 no es así. Según los meteorólogos rusos, la ausencia de nieve es resultado de la llegada de una ola subtropical a la meseta central rusa proveniente del mar Negro, que provocó que el 29 de diciembre en Moscú la temperatura mínima se situará en 3,7 grados Celsius, siendo la temperatura más alta en ese día del año desde que se tienen registros. Los meteorólogos rusos han pronosticado unas fiestas de navidad en la capital rusa sin heladas.

En EEUU, el jueves 28/12/2017, las temperaturas descendieron a niveles sin precedentes desde Arkansas hasta Maine y se prevé que se mantendrán así todo el fin de semana y la primera semana de enero del 2018, afectando incluso a Texas y Florida.

El viernes 29/10/2017, las autoridades estadounidenses hicieron un llamamiento a la población a cuidar de los más necesitados y vulnerables, como los ancianos y los que viven solos, advirtiendo sobre los peligros de la hipotermia y la congelación ante el frente de aire gélido que viene desde el centro hasta el noreste de Estados Unidos. En Watertown, en el estado de Nueva York, las temperaturas habían descendido a 35 grados centígrados bajo cero y las máximas no sobrepasaron los 22 grados centígrados bajo cero.

#### *Situación del tiempo en el hemisferio boreal el 30/12/2017*



Fuente: Meteogrup. Elaboración propia

En el mapa mundial de Isobaras del 30/12/2017, del hemisferio boreal comprendido entre los 35° y los 65° de latitud se puede apreciar como la circulación atmosférica está

principalmente influenciada por dos potentes anticiclones, uno situado en el centro occidental de Asia con un núcleo de 1.037 milibares que introduce las corrientes de aire **cálido** desde el sur-oeste de Asia hacia la región de Moscú sobrepasando las mismas los 65° de latitud; el otro anticiclón tiene su centro al sur de Canadá con 1.045 milibares, e introduce aire **frío** desde la región ártica por encima de los 65° a la parte oriental de EEUU hasta los 35° de latitud.

Con esta situación, el 30/12/2017 se produce la paradoja de que Moscú situado en las coordenadas **55°45'21"N 37°37'04"E**, las temperaturas oscilaron entre 1°C y 2°C, mientras que en Nueva York localizado a **40°40'N 73°56'O**, es decir, 15° más al sur que Moscú, las temperaturas ese mismo día oscilaron entre -9 °C y -3 °C.

Esta inusual ola de frío en la costa este de EEUU fue sarcásticamente interpretada por el presidente de EEUU, Donald Trump, negacionista del cambio climático global, en un mensaje el 28/12/2017 en Twitter: *“En el este, podría ser la víspera de Año Nuevo más fría de la que se tenga registro”. “Tal vez nos vendría bien un poco de ese viejo calentamiento global por el que nuestro país, pero no los demás, iba a pagar billones de dólares para protegernos de él. ¡Abríguense!”*

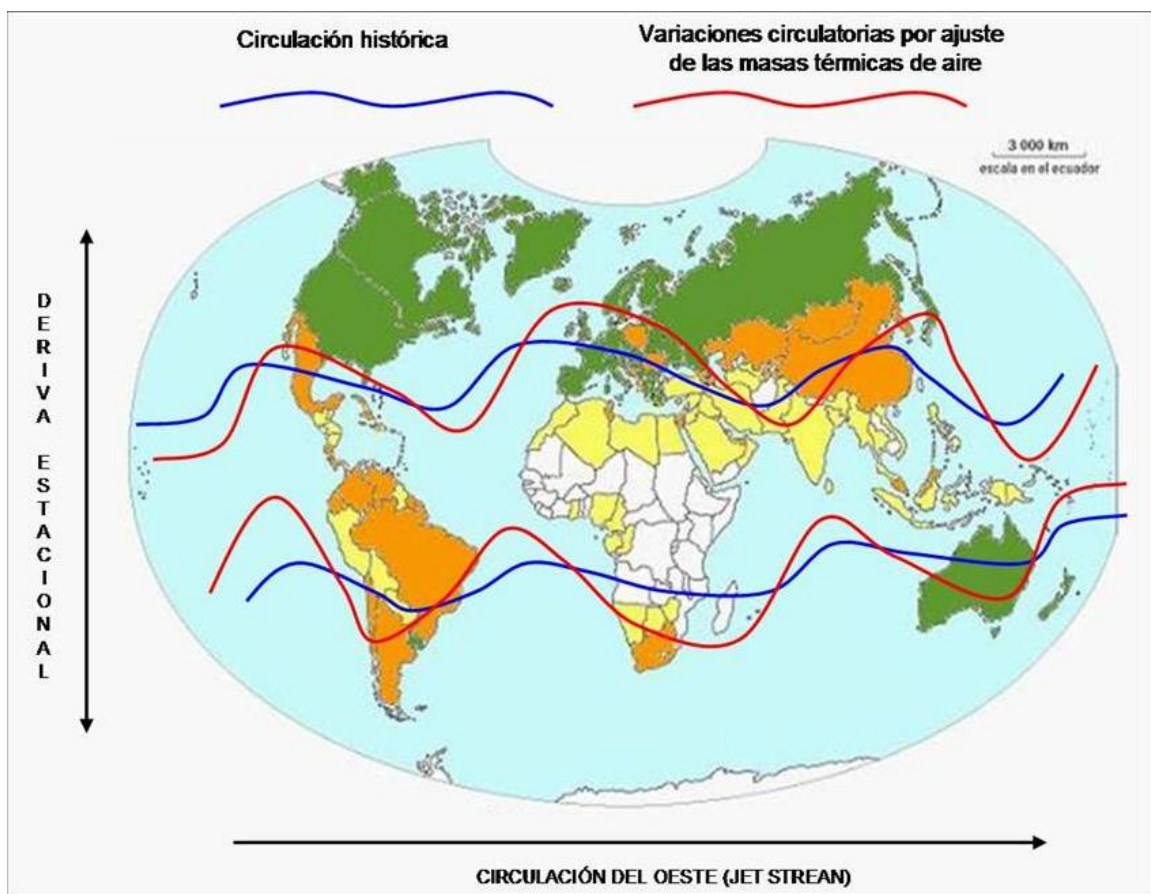
Donald Trump, ha expresado su escepticismo en repetidas ocasiones sobre el cambio climático global, llegando a considerarlo en su campaña electoral una “farsa” inventada por China para perjudicar a las industrias estadounidenses. A principios del 2017 anunció su intención de retirar a EEUU del acuerdo climático de París del 2015, enfocado en el objetivo de frenar las emisiones de gases de efecto invernadero, lo cual realizó posteriormente; en contraposición a las tesis del presidente estadounidense, la Organización Meteorológica Mundial ([OMM](#)) afirmaría el pasado noviembre, que el año 2017 iba camino de ser el más cálido del que se tiene registro.

Sin embargo, esta situación meteorológica de gélidas temperaturas en el centro y este de EEUU, y moderadas en la parte Europea de Rusia, no es nueva. En el comienzo del invierno boreal del 2013-2014, EEUU sufrió también una ola de frío con temperaturas tan bajas que rompieron récords con: -35 °C en Fargo, Dakota del Norte; -29 °C en Madison, Wisconsin, y -26 °C en Minneapolis, Indianápolis y Chicago. En esas mismas fechas las

temperaturas de Moscú también fueron moderadas, mientras que en Argentina el comienzo del verano austral trajo una ola de calor extremo no conocida en Buenos Aires desde que se tienen registros hace cien años.

En el año 2017, además de la desconcertante ola de frío en el este de EEUU y de temperaturas suaves en Moscú al final del año, se han producido también otros meteoros extremos que han tenido su mayor impacto en los países del Caribe que se han visto azotados en septiembre por reiterados huracanes alcanzando los huracanes *Irma* y *María*, categoría cinco, la más alta de la escala.

Los fenómenos meteorológicos extremos se han producido históricamente repetidamente pero en los últimos años la fuerza de algunos de ellos y sobre todo su más acentuada reiteración están confirmando el nexo de unión *entre el cambio térmico climático* y las variaciones en la *circulación general atmosférica*. El calentamiento de las masas de aire que fluyen de oeste a este, separadas por la corriente en chorro ([Jet Stream](#)), estaría provocando un reajuste en la formación de la vaguadas y dorsales en altura, el cual, no se produce gradualmente sino de forma convulsa.

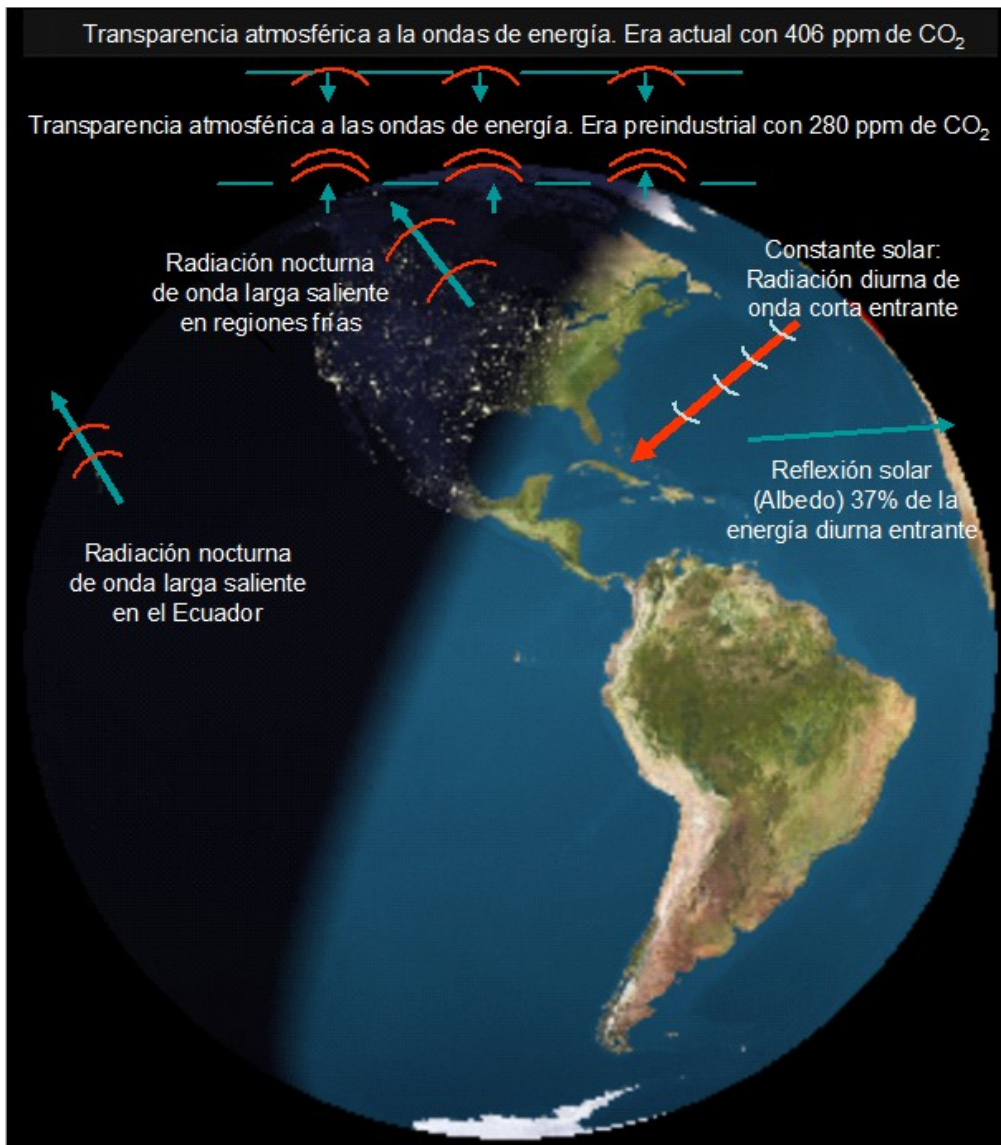


Elaboración propia

El dar crédito a este cambio es importante, pues de ello depende que se tomen medidas preventivas ante el riesgo de sequías prolongadas en las zonas de fuerte influencia anticiclónica, o en la planificación de la construcción de los asentamientos humanos y la ubicación de los mismos en las áreas de influencia ciclónica.

El nexo de unión *entre el cambio térmico climático* y las variaciones en la *circulación general atmosférica*, va a determinar que estas alteraciones duren y se acentúen mientras prosiga el calentamiento global de la troposfera debido a la concentración de los gases de efecto invernadero en el aire atmosférico.

Estos gases producen la retención en la troposfera de la radiación nocturna emitida por la Tierra en longitudes de onda larga hacia el espacio exterior, tal y como se puede ver en la siguiente ilustración gráfica.

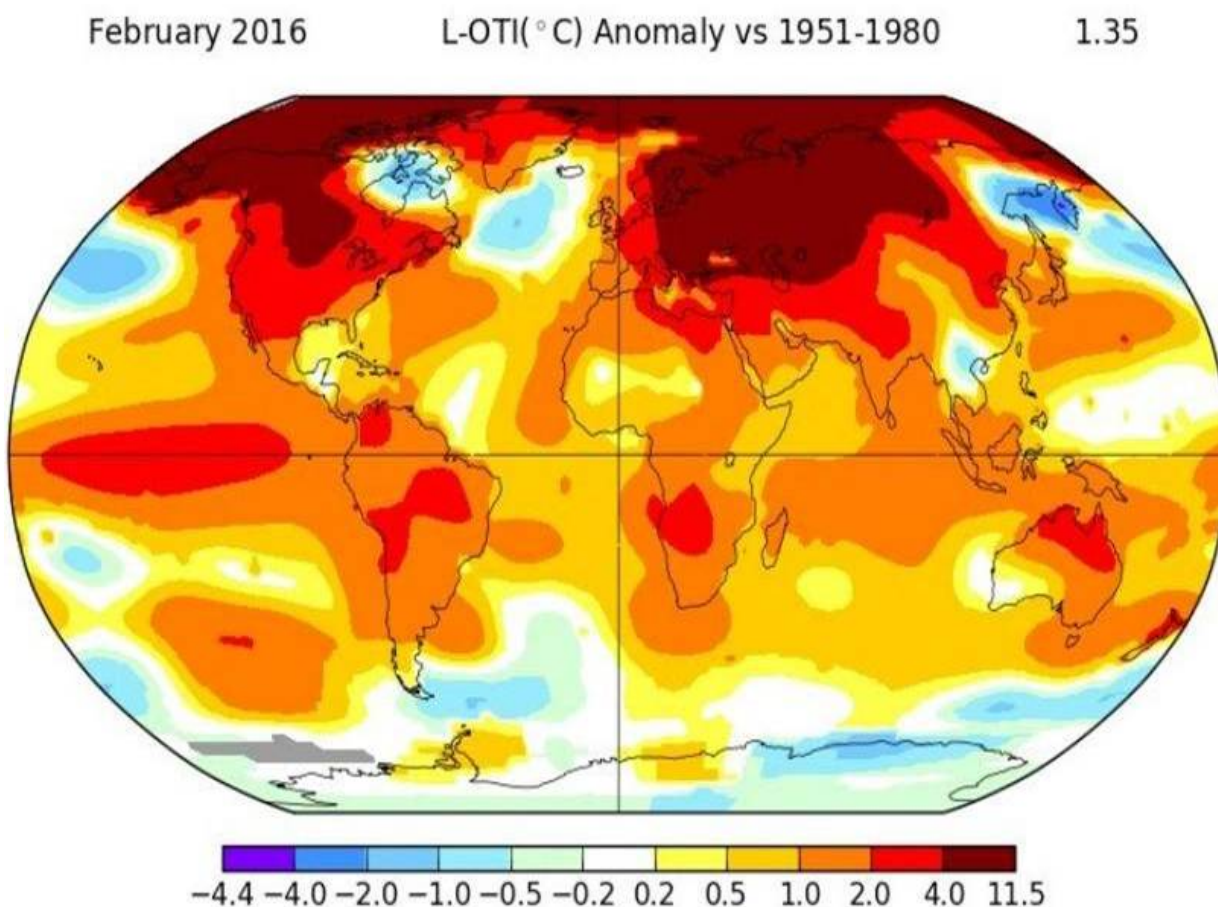


Posición de la Tierra el 30/12/2017. Imagen de elaboración propia.



En la medida que aumenta la concentración de dióxido de carbono y de metano en el aire atmosférico estos gases tejen una red más estrecha a la radiación saliente y el efecto invernadero se acentúa, provocando que la radiación que en décadas precedentes alcanzaba el espacio exterior quede atrapada en la troposfera. De esta manera, sin que exista variación de la constante solar en la radiación de onda corta de entrada diurna, la superficie de la Tierra se calienta porque al perder menos radiación durante la noche se enfría menos.

La longitud de onda larga de la radiación terrestre está en función del menor promedio de temperatura mínima en una relación inversa, es decir a menor temperatura nocturna corresponde una mayor longitud de onda larga. Este fenómeno, produce que la retención relativa de radiación terrestre sea mayor en los ambientes más fríos y con noches más largas, de tal manera que el cambio climático térmico se acentúa en los climas fríos y se suaviza en los templados y cálidos. En ese sentido, el mapa sobre el calentamiento global elaborado anualmente por la NASA es ilustrativo.



Fuente. NASA.

En la imagen de calentamiento global ofrecida por la NASA, correspondiente a febrero del 2016, se puede apreciar como éste afecta principalmente al hemisferio boreal que es el que concentra la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero y dentro del mismo a las regiones más frías.

La repercusión del cambio térmico climático tiene ya una gran importancia, pues afecta a la formación de hielo y a los deshielos, de tal manera que disminuyen las masas de hielo y se acentúan los deshielos, ello produce un retroceso de los glaciares de montaña, y un menor avance en invierno de las masas de hielo marítimas en el Ártico y el Antártico, y un mayor retroceso en verano.

Este fenómeno afectaría también a la disminución de la reflexión de la radiación solar, pues al disminuir la superficie de las plataformas de reflexión de superficies heladas la captación de energía en la troposfera se incrementa lo que puede dar lugar a un aumento de las temperaturas diurnas y la consiguiente alteración de todo el ciclo térmico diario.

Otro aspecto de este cambio es la disminución de las precipitaciones en forma sólida en la alta montaña afectando al régimen de los ríos pluvionivales que adquieren una componente más pluvial y que en el caso de los grandes ríos de las zonas templadas con un gran componente nival puede provocar inundaciones desconocidas.

No obstante, la consecuencia más negativa del cambio térmico climático puede venir en la segunda mitad o hacia el final del siglo XXI si el cambio térmico climático, por tener una mayor incidencia relativa en las regiones más frías, afecta decisivamente al deshielo de las masas continentales heladas, iniciándose una transgresión marina que pueda inundar la mayoría de las playas y ciudades costeras del mundo.

La meta fijada por ([WMO](#)), de no superar en el presente siglo en 2 °C el promedio global respecto de mediados del siglo XX, y que en el mapa de la NASA se situaba ya en el año 2016 en 1,35°C, es un indicador ambiguo pues no permite medir con exactitud el cambio térmico en las regiones más frías del que puede provenir el mayor riesgo para la humanidad de subida del nivel del mar por el deshielo de los glaciares de alta montaña y las masas continentales heladas principalmente de Groenlandia y la Antártida. Esa debiera ser la preocupación máxima, y el indicador que mejor mide la progresión del

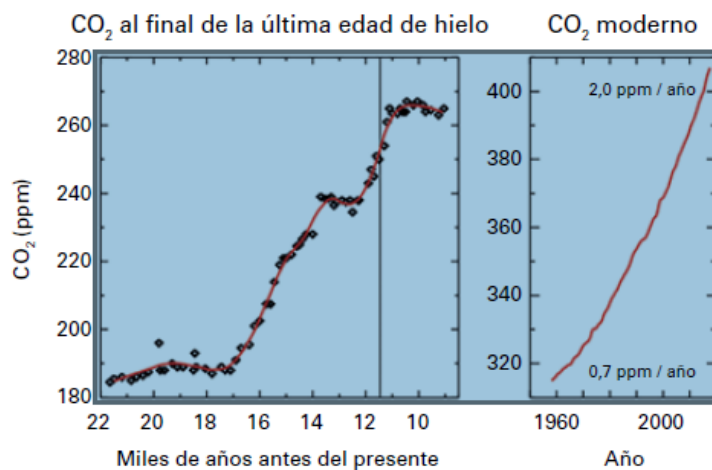
calentamiento global es la medición de las partes por millón (PPM) de los gases de efecto invernadero que se concentran en el aire atmosférico.

El CO<sub>2</sub>, con el 59,80% es el gas que más contribuye al *forzamiento radiativo* respecto de la era preindustrial, seguido del CH<sub>4</sub> (metano) que lo hace con el 19,20%. El incremento del CO<sub>2</sub> en el año 2016 respecto de 1750 fue del 144%, y el del CH<sub>4</sub> del 221,3%.

Variación de la concentración de gases de efecto invernadero desde el inicio de la era industrial					
Gas Invernadero	Concentración 1750	Concentración 2016	Variación 1750 al 2016	(%) Variación 1750 al 2016	Contribución al forzamiento radiativo (%)
Dióxido de Carbono CO <sub>2</sub> (ppm)	280	403,3	123,3	144,0	59,8%
Metano CH <sub>4</sub> (ppm)	0,8	1,77	0,97	221,3	19,2%
Oxido Nitroso N <sub>2</sub> O (ppb)	275	328,9	53,9	119,6	3,8%
Otros					17,2%
<b>Total</b>					<b>100%</b>

Fuente: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Elaboración propia.

En la actualidad, la concentración de CO<sub>2</sub>, en el aire atmosférico no tiene precedentes en la historia de nuestra especie desde el final de la última edad de hielo hace 22.000 años. El incremento del CO<sub>2</sub> en ese periodo de 22.000 años hasta el inicio de la revolución industrial (1750) experimentó un aumento de 100 ppm, pasando de 180 ppm a 280 ppm. En los 266 años desde 1750 al 2016 el incremento fue de 123 ppm, superando a los 22.000 años precedentes, aunque el incremento significativo se producirá a partir de 1960 que registrará en 57 años un incremento de 90 ppm, a diferencia del periodo de 1750 a 1960, que en 210 años aumentó 36 ppm .

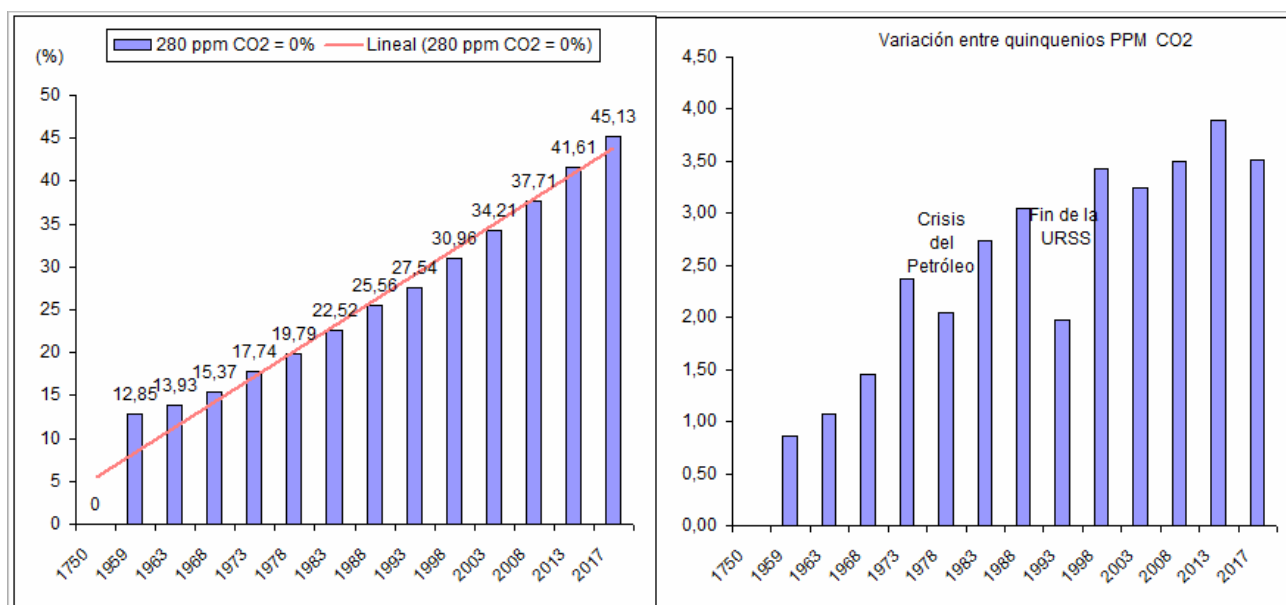


Fuente y gráfico WMO.

Desde el año 1959 se tienen registros diarios de la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire atmosférico registrados por la institución National Oceanic Atmospheric Administration ([NOAA](#)), lo que ha permitido medir su incremento con precisión.

*Incremento del CO<sub>2</sub> en el aire atmosférico por quinquenios tomando como referencia el último año del quinquenio*

Año	PPM CO <sub>2</sub>	280 ppm CO <sub>2</sub> = 0%	Variación entre quinquenios	
1750	280,00	0	0	Promedio quinquenios de 1750 a 1959
1959	315,97	12,85	0,86	
1963	318,99	13,93	1,08	Quinquenio 1958-1963
1968	323,04	15,37	1,45	Quinquenio 1963-1968
1973	329,68	17,74	2,37	Quinquenio 1968-1973
1978	335,40	19,79	2,04	Quinquenio 1973-1978
1983	343,05	22,52	2,73	Quinquenio 1978-1983
1988	351,57	25,56	3,04	Quinquenio 1983-1988
1993	357,10	27,54	1,97	Quinquenio 1988-1993
1998	366,70	30,96	3,43	Quinquenio 1993-1998
2003	375,80	34,21	3,25	Quinquenio 1998-2003
2008	385,60	37,71	3,50	Quinquenio 2003-2008
2013	396,52	41,61	3,90	Quinquenio 2008-2013
2017	406,36	45,13	3,51	Cuatro años 2013-2017



Fuente datos NOAA. Elaboración propia

La progresión en la acumulación del CO<sub>2</sub> en el aire atmosférico, tal y como marca la línea de tendencia en el gráfico de la izquierda, no se ha frenado a pesar de los acuerdos suscritos, como el protocolo de Kioto y la conferencia de París del 2015. Los dos únicos acontecimientos que moderaron esa escalada en el último medio siglo han sido: 1. la crisis del petróleo de 1973 en la que tuvo lugar un importante aumento de los precios del petróleo que produjo una fuerte contracción de la demanda, y 2. el desmantelamiento de gran parte de la industria soviética a principios de la década de los noventa tras el final de



la URSS, que supuso, según fuente de [EIA](#), que el conjunto de los países de la antigua URSS pasaran de emitir 3.820,85 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en el año 1991, a 2.134,39 en 1998, un 45% menos.

La concentración de las ppm de CO<sub>2</sub> en el aire atmosférico constituye el indicador más relevante y preciso para medir el cambio térmico climático, sin embargo, hasta ahora no ha sido considerado por parte de la comunidad internacional para tomarlo como referente principal a la hora de trazarse objetivos para su reducción, en los que habría que tener en cuenta no solamente la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, sino la implementación de sumideros naturales y artificiales para su captura.

La experiencia más exitosa de un acuerdo internacional para limitar la emisión de gases a la atmósfera, ha sido el establecido para la reducción de los clorofluorocarbonos (CFC) con el fin de preservar la capa de ozono, suscrito en el [Protocolo de Montreal](#) de 1987.

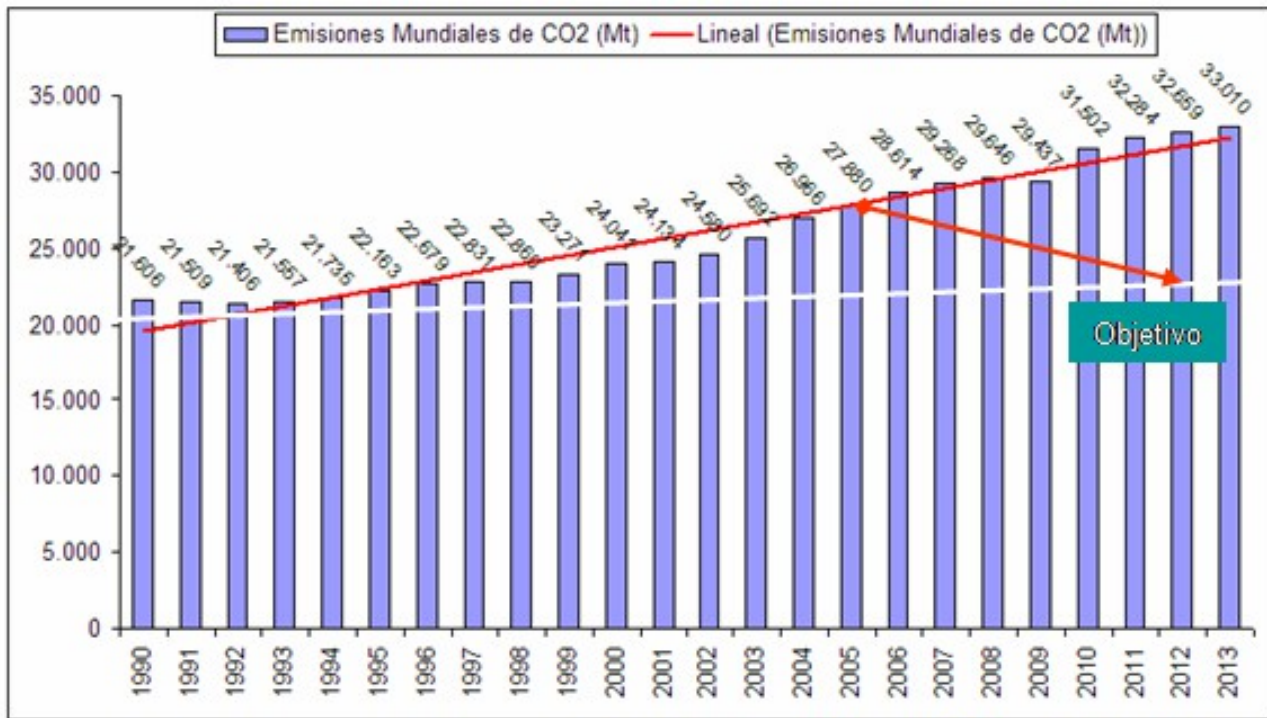
Pero en el caso de combatir la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ha sido diferente. Los obstáculos para avanzar en un compromiso firme no solamente vienen de la ignorancia de los negacionistas del cambio climático, del que el presidente de EEUU, Donald Trump, es su máximo exponente, sino también de quienes se dicen abanderados en la lucha contra el mismo y suscriben todos los tratados al respecto pero posteriormente no los cumplen.

El protocolo de Kioto, fue el principal acuerdo suscrito para la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, y el único hasta ahora que ha estado en vigor (2005-2012), pues los acuerdos de París del 2015, sobre el cambio climático, del que EEUU se ha desvinculado, todavía no se han aplicado.

La implementación del protocolo de Kioto entró en vigor el año 2005 al ser suscrito por las 55 naciones que sumaban el 55% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, sin embargo en el balance final del mismo, se ha demostrado que una cosa es suscribir un tratado y otra cumplirlo.

El Protocolo de Kioto estableció el objetivo para que en el año 2012 las emisiones de CO<sub>2</sub> se hubieran situado en un 5,2% por debajo de las de 1990, pero como se puede apreciar en el siguiente gráfico las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera continuaron incrementándose, y

quedó ampliamente incumplido con una desviación por incremento de emisiones del 59% respecto del objetivo marcado.



Años	Emisiones Mundiales de CO <sub>2</sub> (Toneladas)	Porcentaje de emisiones mundiales de CO <sub>2</sub> (1990 base 100)	Notas:
1990	21.606	100%	
1997	22.831	106%	Firma protocolo de Kioto
2005	27.880	129%	Entrada en vigor protocolo Kioto
2012	32.659	151%	
Desviación del objetivo de Kioto de reducción en un 5,2% respecto las emisiones de CO <sub>2</sub> del año 1990			
	Emisiones (Mt) del año 1990:		21.606
	Objetivo emisiones (Mt) 2012		20.483
	Emisiones (Mt) del año 2012:		32.659
	Desviación en (Mt):		12.176
	Desviación porcentual (+):		59%

Fuente. Energy Information Administration / International Energy Outlook

La conclusión que se puede extraer del incumplimiento de los objetivos del Protocolo de Kioto es que ha sido debido a la estrecha relación entre crecimiento económico y consumo de energía, junto al hecho de que esta energía provenga en más de un 80% de los combustibles fósiles para su conversión en trabajo, que en el vigente sistema competencial mundial, se realiza mediante la externalización de costes en forma de libre emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero. Esta es una realidad que determina que los gobernantes antepongan el desarrollo económico a la limitación de emisiones de gases de

efecto invernadero, y que ha tenido como consecuencia que se produzca en las últimas décadas una liberación masiva de gases de efecto invernadero, principalmente de CO<sub>2</sub>.

El indicador propuesto por China de marcarse objetivos de reducción de emisiones por unidad de PIB, intenta compaginar el necesario desarrollo económico con la implementación progresiva de una economía baja en carbono, lo que en el caso de China le está llevando a la sustitución del carbón por el gas natural como fuente de energía primaria así como el desarrollo de las fuentes energéticas renovables: hídrica, solar y eólica. Sin embargo, a pesar de la celeridad con la que China pretende alcanzar una economía baja en carbono, que le ha convertido en líder mundial en la generación eléctrica mediante estas energías renovables y en el desarrollo de las comunicaciones ferroviarias, su objetivo para el año 2030 es que su sistema energético dependa todavía en un 80%, de los combustibles fósiles.

EEUU, la otra nación junto con China, principales emisoras de gases de efecto invernadero, con la nueva administración republicana y con un presidente negacionista del cambio climático carece de planes de sustitución de las energías fósiles, en tanto estas nuevas energías supongan mayores costes de producción, situándose al igual que hizo con el protocolo de Kioto, y ahora con su salida de los acuerdos de París del 2015, al margen de los compromisos internacionales.

Tras la experiencia del protocolo de Kioto, la desesperanza de hallar una solución al freno de emisiones de CO<sub>2</sub> globales, es más que fundada.

### **Estudios relacionados:**

[El porvenir del Sistema Energético Mundial](#)

[Los probables impactos climáticos, derivados de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero](#)

-----

Javier Colomo Ugarte

Doctor en Geografía e Historia