

Se denomina cambio climático antropogénico a los efectos que producen sobre el clima las diferentes actividades humanas. En este campo se incluyen los efectos del pasado, antes de la industrialización, y los de la época actual, tras la industrialización.

Sabemos que afectan al clima, pero la cuestión es cómo y cuánto. No sabemos hasta qué punto el hombre ha cambiado y cambiará el curso del clima.

1. CAUSAS.

El efecto de la Humanidad sobre el cambio climático comenzó con la deforestación. Más tarde, las emisiones de gases y las detonaciones nucleares agravaron la situación hasta llevarla al punto actual.

1.1. Deforestación.

La deforestación es un proceso que destruye la superficie forestal. Principalmente, está causado por la tala de árboles para la industria maderera y para la obtención de suelo con el objetivo de practicar la agricultura o ganadería.

La tala de árboles es una práctica antigua. Comenzó hace 8.000 años, cuando los seres humanos comenzaron a talar pequeñas cantidades de árboles. La agricultura se fue extendiendo, lo que implicó una mayor acción humana para conseguir que la luz solar llegase hasta el suelo. Se empezó a utilizar la técnica de rozar y quemar, para que la ceniza enriqueciese la tierra. El hombre fue mejorando sus herramientas y sistemas. Estos avances hicieron que el bosque fuera talado donde la agricultura prosperase.



IMAGEN IV. Zona talada en la selva amazónica.

En los últimos tres siglos se ha incrementado de manera considerable. En los siglos XVIII y XIX se daba principalmente en el Hemisferio Norte, pero en el siglo XX, se ha comenzado a realizar en el Hemisferio Sur, especialmente en el

Amazonas y otras selvas tropicales (Ver **IMAGEN IV**).

1.1.1. Situación actual.

En África, se han ido perdiendo unas 4 millones de hectáreas de bosque al año durante los últimos 15 años, lo que supone un tercio del área deforestada en todo el mundo. La causa principal es el uso de las áreas deforestadas para la agricultura permanente.

La región de Asia y el Pacífico tiene el 18,6% de la superficie forestal mundial. Su diversidad de ecosistemas es extraordinaria: bosques tropicales, bosques templados, manglares costeros, montañas, desiertos, etc. El número de hectáreas de bosques en el año 2005 era de 734 millones, 3 millones más que en el año 2000. Esto se debe, principalmente, a la gran repoblación forestal que se llevó a cabo en China, que encubre la importante tasa de deforestación de otros países. La principal causa de deforestación en esta región es la expansión de los cultivos a gran escala.

Asia occidental es la región con menos bosques del mundo, tan solo un 4% de su superficie. Alrededor del 75% de la región es desértica. La vegetación es muy variada, desde matorrales hasta pequeños manglares. Los países más ricos invierten en forestación y creación de zonas verdes, por lo que se espera que la superficie forestal aumente como viene haciéndolo desde 1990. En cambio, en los países con conflictos armados la ordenación forestal se ha desestabilizado. Las guerrillas tienden a incendiar los bosques para hacer salir de ellos a sus enemigos.

En Centroamérica y Sudamérica se encuentra el 22% de la superficie forestal mundial y la mayor selva tropical del mundo: la selva amazónica. Muchas de estas zonas se encuentran ocupadas por comunidades indígenas, que en algunas ocasiones, tienen la propiedad legal de los bosques. Entre 1990 y 2005 se han perdido casi 64 millones de hectáreas de bosque, lo que supone un 7% de su superficie forestal y, entre 2000 y 2005, más de un tercio de la deforestación mundial. La explotación maderera ilegal es la principal causa de deforestación.

América del Norte contiene un 17% de la superficie forestal global. Hay una gran variedad de ecosistemas forestales debido a las diferentes condiciones climáticas. La tasa de bosques se mantiene estable en esta región. La variación anual media de esta tasa sólo fue del 0,01% entre 2000 y 2005. La mayor parte de la deforestación se da en México, debido a la expansión de la agricultura y la explotación maderera.

Finalmente, Europa cuenta con una cuarta parte de las zonas boscosas del mundo, sobre todo en Rusia. Casi todos los países europeos tienen leyes que protegen las zonas verdes de la deforestación y fomentan la plantación de árboles. Las amenazas

más importantes son de índole natural, como incendios, plagas y tormentas. Entre 2000 y 2005, la superficie forestal europea aumentó en 3 millones de hectáreas.

1.1.2. Agentes de la deforestación.

La palabra “agentes” se refiere a las personas, entidades, organismos o proyectos que contribuyen a la tala de árboles.

Los agentes más importantes son los agricultores que practican la roza y quema, ya que limpian la zona forestal para plantar sus propios cultivos. Otros agentes de importancia considerable son los ganaderos. Éstos utilizan las tierras taladas para sembrar pastizales para alimentar al ganado.

Los agentes secundarios son los madereros, los dueños de plantaciones forestales, los recolectores de leña, los mineros, los petroleros y los planificadores de infraestructuras.

Este fenómeno se agrava con la lluvia ácida y con los incendios forestales.

1.1.3. Incendios forestales.

Los incendios forestales son nefastos para la biodiversidad y el cambio climático. Son la propagación libre e ilimitada del fuego, y su acción consume toda la vegetación que encuentra por su paso.

La mayoría están causados por la acción humana, aunque algunas veces pueden deberse a causas naturales, como la caída de rayos. Las imprudencias o la intención de una persona están detrás de la mayoría de los incendios forestales.

La mayor secuela que dejan es la erosión y deforestación de la zona (Ver **IMAGEN V**). El suelo queda expuesto frente a las lluvias y las altas temperaturas, lo que provoca pérdidas de nutrientes y cambios en su composición química.



IMAGEN V. Paisaje tras un incendio forestal.

1.2. Emisiones humanas.

Las emisiones humanas no comenzaron con la industrialización. En las eras preindustriales ya se emitían gases a la atmósfera debido a diferentes actividades como la quema de árboles (CO_2) y la ganadería (CH_4). Aun así, no está del todo claro que estas emisiones hayan contribuido al cambio climático de esa época, por lo que son fuente de debate científico. Lo que sí que está claro es que fuera cual fuera su influencia, era menor que la de los gases actuales.

Las emisiones actuales se pueden dividir en dos grupos:

1.2.1. Aerosoles antrópicos.

Son minúsculas partículas que quedan suspendidas en el aire. Su origen es la quema de combustibles fósiles y los incendios de bosques y sabanas. El comportamiento radiativo de cada partícula depende de su tipo, tamaño y forma, por lo que es difícil saber cuál es su repercusión global en el clima. Una de las consecuencias del aumento de estos aerosoles entre las décadas de los 60 y los 90 es el llamado “oscurecimiento global”.

1.2.1.1. Aerosoles sulfatados.

Los combustibles fósiles siempre contienen impurezas de azufre. Las actividades humanas emiten a la atmósfera unos 60 millones de toneladas de azufre aproximadamente, en forma de SO_2 . El año 1989 fue especialmente grave, se vertieron aproximadamente 70 millones de toneladas.

Los barcos también emiten SO_2 y NO_x , que afectan sobre todo a las áreas oceánicas del Hemisferio Norte y hacen aumentar el albedo. Se calcula que las emisiones de SO_2 por parte de la navegación marina alcanzan el 5% de las emisiones globales, y las emisiones de NO_x llegan al 10%.

Una vez en el aire, el dióxido de azufre se junta con el agua que hay en la atmósfera y forma ácido sulfúrico (H_2SO_4). Este ácido sulfúrico se disuelve en las gotas de agua en forma de iones sulfato. El resultado son nubes amarillentas que reflejan la luz solar y hacen que disminuya la insolación en la superficie de las áreas contaminadas.

Las nubes sólo duran unos cuantos días en la troposfera. Suelen precipitar en forma de lluvia ácida (Ver **IMAGEN VI**). La lluvia ácida es un efecto que se produce especialmente en regiones industrializadas, no se reparte por igual en todo el planeta.

Los aerosoles también pueden ayudar a la “glaciación” de las nubes y a reducir su tamaño medio. Provocan un efecto contrario al del calentamiento global, es decir, un enfriamiento.

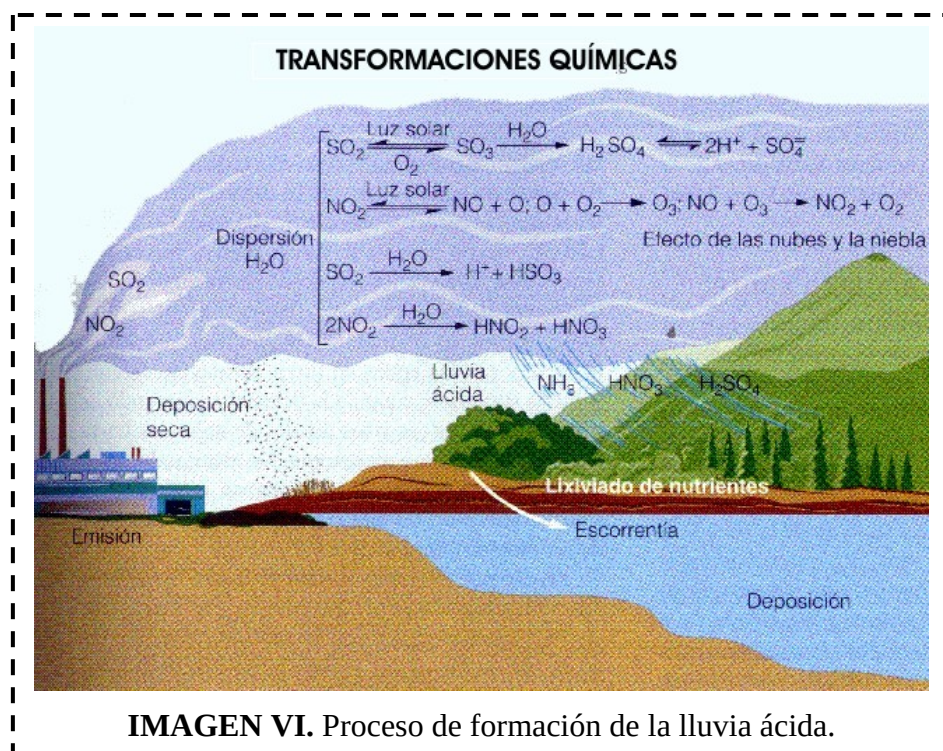


IMAGEN VI. Proceso de formación de la lluvia ácida.

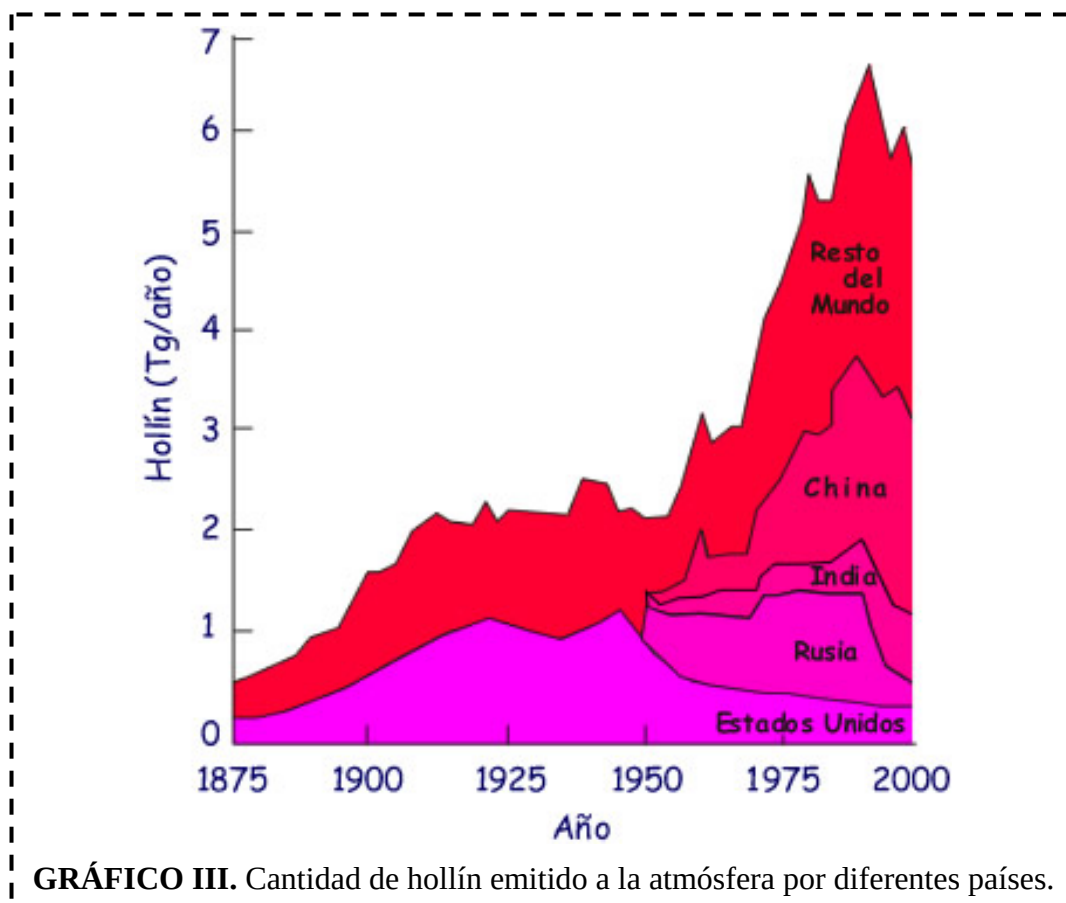
1.2.1.2. Hollín o carbonilla.

Otro aerosol antrópico es el hollín, también conocido como carbonilla (black carbon). Se produce en los incendios de bosques y maleza, así como en la mala combustión de combustibles fósiles (carbón y petróleo) y de biomasa o biofuel (madera, carbón vegetal, estiércol seco).

El elemento principal del hollín es el carbono elemental. Estas partículas flotan en el aire y crean un velo que cubre frecuentemente algunas regiones del mundo altamente pobladas, como el norte de India y el nordeste de China.

A lo largo del siglo XX, en los países industrializados, la contaminación atmosférica por esta causa ha descendido. La desaparición de las estufas y los calentadores domésticos a base de carbón ha influido notablemente. Por el contrario, en países como China e India, se ha comenzado ahora a tomar medidas en este asunto, por lo que la contaminación atmosférica allí es aún elevada (Ver **GRÁFICO III**).

El efecto global del hollín es el de calentamiento de la troposfera, debido a que absorbe la luz que le llega directamente desde el sol o reflejada en el suelo. También puede ensuciar las superficies cubiertas por hielo y nieve.



1.2.2. Gases invernadero.

Los gases de efecto invernadero o gases invernadero son todos los gases que contribuyen al efecto invernadero. Los principales están presentes en la atmósfera de forma natural, pero la cantidad puede verse alterada debido a la actividad humana. También entran en juego algunos gases artificiales, producto de la industria.

Estos gases contribuyen al efecto invernadero de forma mayor o menor, dependiendo de su estructura molecular. Algunos gases son más eficaces en el efecto invernadero, como el SF_6 , pero debido a su escasa concentración, apenas contribuyen al efecto invernadero.

Los gases invernadero más importantes son: el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O), el ozono (O_3) y los clorofluorocarbonos (CFC) (Ver **CUADRO I**).

El factor que más contribuye al efecto invernadero natural es el vapor de agua. Sin embargo, la actividad humana no influye de manera directa en su concentración atmosférica.

Descripción	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	O ₃	CFC
Concentración en 1750	280 ppm	700 ppb	270 ppb	Sin datos	0
Concentración en 1998	365 ppm	1.745 ppb	314 ppb	10 ppm	268 ppt
Permanencia en la atmósfera	De 5 a 200 años	12 años	120 años	Sin datos	De 65 a 110 años

CUADRO I. Gases de efecto invernadero en los que influye la actividad humana.

1.2.2.1. Dióxido de carbono.

El dióxido de carbono es actualmente responsable de más del 60% del efecto invernadero antropogénico. Este gas se encuentra en la atmósfera de forma natural, pero la combustión de carbón, petróleo y gas natural libera el carbono que tienen almacenado a gran velocidad. Las emisiones anuales actuales de este gas suponen el 1% de la masa actual de dióxido de carbono en la atmósfera.

Además, este dióxido de carbono que provoca la actividad humana irrumpe en el ciclo natural del carbono. Entre la atmósfera, los océanos y la vegetación terrestre se intercambian miles de millones de toneladas de carbono anuales. Los intercambios están equilibrados con precisión, pero en los últimos 200 años se ha alterado mucho el ciclo natural.

1.2.2.2. Metano.

El nivel de metano ya ha aumentado en un factor de dos y medio a lo largo de la era industrial. La agricultura (especialmente los arrozales inundados y la cría de ganado) es la fuente más importante de este gas. El vertido de desechos y las posibles fugas en la extracción de carbón y gas natural son agravantes de la situación.

Para eliminarlo, se tienen que producir ciertas reacciones químicas difíciles de predecir. Sin embargo, el tiempo que permanece en la atmósfera es mucho menor que el del dióxido de carbono, tan sólo 12 años, mientras que el CO₂ permanece durante un tiempo mucho más prolongado. La consecuencia de esto es que el metano contribuya en un 20% al efecto invernadero antropogénico, porcentaje que queda lejos del 60% del dióxido de carbono.

1.2.2.3. Óxido nitroso.

Los niveles de este gas se han elevado un 16%, y al igual que el metano, debido a una agricultura más intensiva. Cabe destacar que su fuente de emisión principal es

natural: lo producen los microbios del suelo en los procesos de nitrificación y desnitrificación. Otras fuentes antropogénicas son la combustión y los escapes de gases.

Su efecto invernadero es 320 veces más efectivo que el del dióxido de carbono. Va desapareciendo en reacciones fotoquímicas, que a su vez pueden ser causante de la destrucción de la capa de ozono.

1.2.2.4. Ozono.

Cuando nos referimos a él como un gas de efecto invernadero, hablamos del ozono que se encuentra en la troposfera, es decir, el ozono troposférico. Se forma por reacciones químicas que se llevan a cabo gracias a los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles (COV) que derivan de la quema de combustibles. Cuando está en concentraciones altas, causa daños importantes a la salud e impide el crecimiento y desarrollo de plantas y árboles.

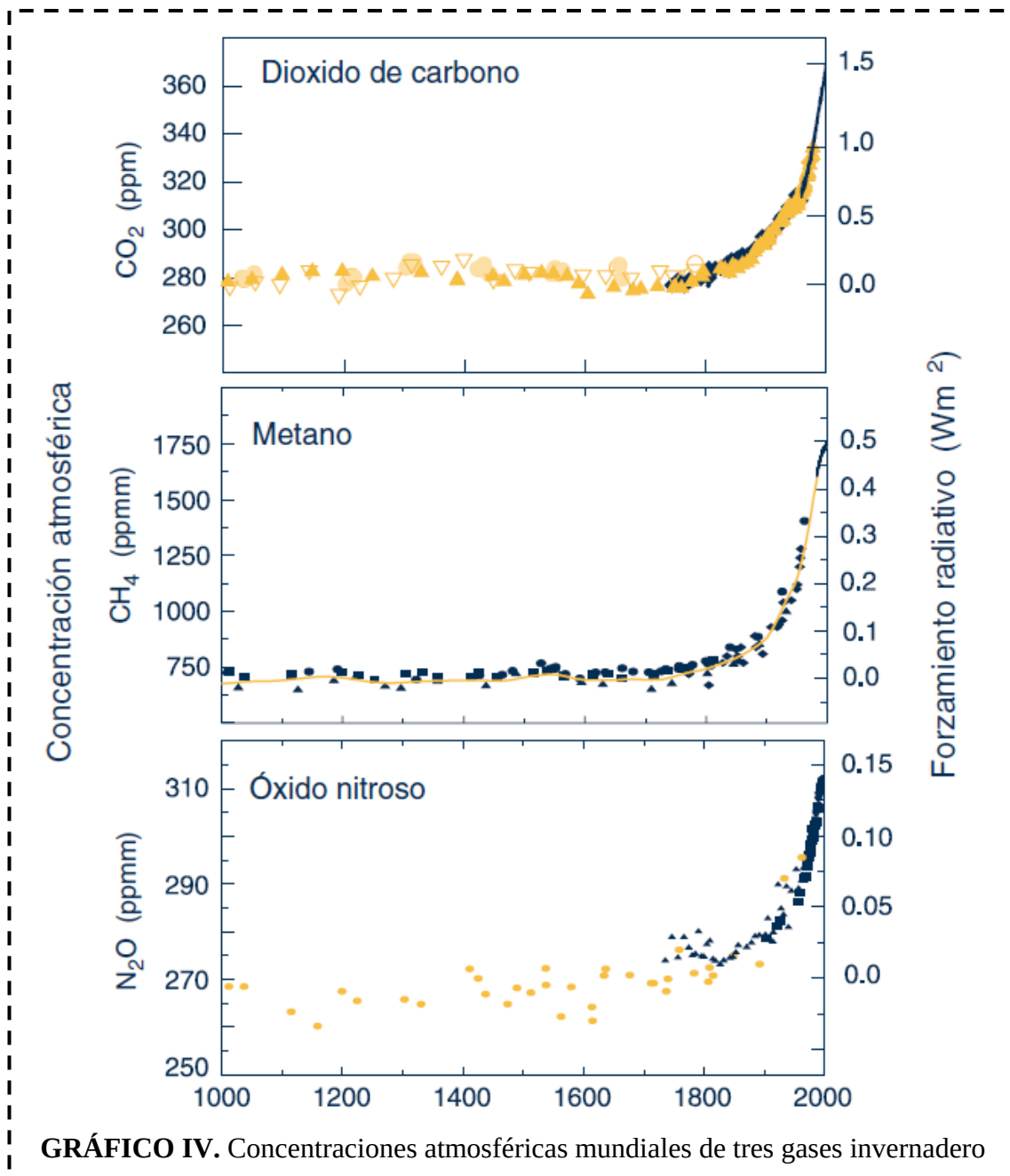
El ozono estratosférico es el que absorbe las radiaciones ultravioletas letales que llegan del sol y no influye en el efecto invernadero. El peligro reside en que este ozono puede descender a la troposfera, con las consecuencias ya descritas.

1.2.2.5. Clorofluorocarbonos.

Son moléculas sintéticas formadas por cloro, flúor y carbono. Estos gases son bien conocidos por el daño que provocan en la capa de ozono. Su origen es exclusivamente industrial y tienen poder tóxico. Cada molécula contribuye 3.500 o 7.300 veces más (dependiendo del isótopo) al efecto invernadero que una molécula de CO₂.

Su producción y uso fue prohibido en el protocolo de Montreal. Sus sustitutos temporales son los HFC y los HCFC, que son menos nocivos para el ozono, pero contribuyen al efecto invernadero del mismo modo.

En las últimas décadas, la concentración en la atmósfera de estos gases se ha disparado (Ver **GRÁFICO IV**).



1.3. Detonaciones nucleares.

En la década de los 70, dos científicos rusos (Kondratyev y Nikolsky) plantearon la teoría de que las pruebas nucleares atmosféricas afectan de algún modo al clima terrestre. Se observó que las bolas de fuego que surgían en la estratosfera calentaban el aire lo suficiente como para que el nitrógeno y el oxígeno reaccionaran y formasen óxidos de nitrógeno (NO_x). Las primeras bombas nucleares de apenas 20

kilotones no eran capaces de llegar a esto, pero las bombas termonucleares surgidas en los años 50, sí.

Por cada megatón de energía, la bola de fuego asciende entre 35 y 40 kilómetros, y se forman unas 3.000 toneladas de óxidos de nitrógeno. Teniendo en cuenta que la troposfera llega hasta los 10 kilómetros, está claro que cualquier bomba de hidrógeno puede contaminar la estratosfera.

Entre los años 60 y 80 fue cuando más detonaciones nucleares se realizaron (Ver **GRÁFICO V**), en plena Guerra Fría. Estas detonaciones pueden explicar el descenso de temperatura media que tuvo lugar en esa época (Ver **GRÁFICO VI**).

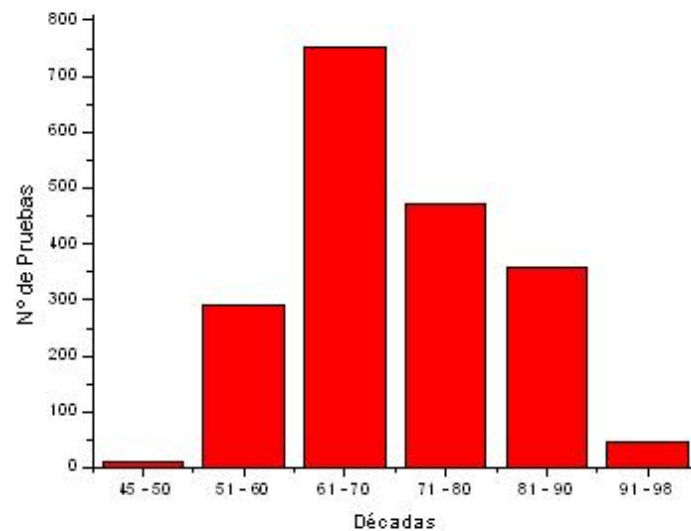


GRÁFICO V. Número de pruebas nucleares realizadas entre 1945 y 1998

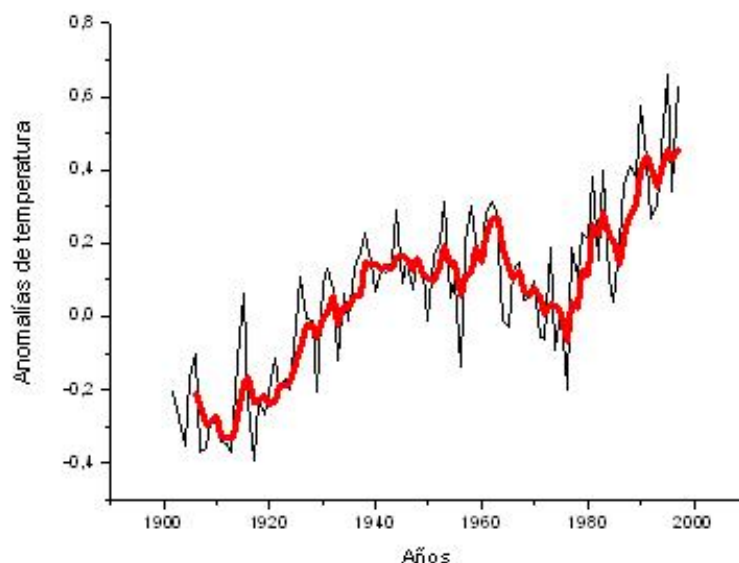


GRÁFICO VI. Temperatura media durante el siglo XX.