

**CIENCIAS APLICADAS A  
LA ACTIVIDAD  
PROFESIONAL  
(4º ESO)**

**LA  
CONTAMINACIÓN  
DEL AIRE**

**IES ESTUARIA (HUELVA)**

---



**CONTENIDOS:**

AGENTES CONTAMINANTES DE LA ATMÓSFERA.

EL EFECTO INVERNADERO. GASES DE EFECTO INVERNADERO.  
CONSECUENCIAS DEL EFECTO INVERNADERO.

CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO.

LA DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO.

LA LLUVIA ÁCIDA.

IDEAS CLAVE.

LECTURAS.

ACTIVIDADES.



## INTRODUCCIÓN

Como sabemos, la atmósfera es una capa gaseosa de aproximadamente 10.000 km de espesor que rodea a la Tierra. Está compuesta fundamentalmente de gases, pero también hay en ella partículas sólidas y líquidas en suspensión, atraídas por la gravedad terrestre. En la atmósfera se producen todos los fenómenos meteorológicos que afectan a nuestro planeta y es, junto con la litosfera y la hidrosfera, una de las capas terrestres con la que los seres humanos tenemos contacto directo. La litosfera es la capa sólida superficial de la Tierra y la hidrosfera está constituida por el agua presente en la superficie de la Tierra en estado líquido o sólido (hielo o nieve).

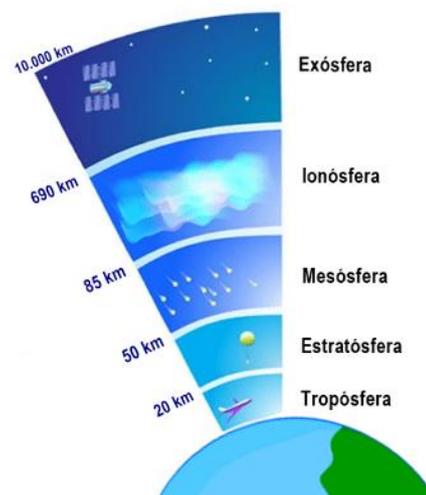
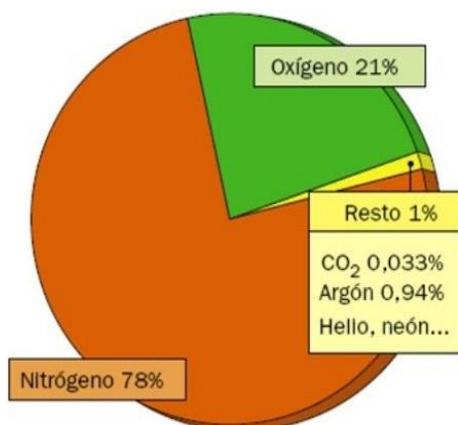
La atmósfera, como capa más externa, es la primera en recibir la radiación procedente del Sol. Además, la atmósfera recibe todas las emisiones gaseosas que se producen en la superficie de la Tierra, tanto las de origen natural como las antropogénicas, esto es, las causadas directamente por la actividad del ser humano.

La presencia en la atmósfera de agentes físicos, químicos o biológicos indeseables (contaminantes) procedentes de emisiones en concentraciones tales que puedan afectar al confort, salud y bienestar de las personas, es lo que se denomina contaminación del aire o contaminación atmosférica. Las alteraciones producidas por el ser humano han aumentado muy significativamente a partir de la revolución industrial, incrementando el impacto que ejercemos sobre el entorno natural y, por lo tanto, la contaminación de origen antropogénico.

Cuando el medio afectado por la presencia de contaminantes se produce contaminación del aire o contaminación atmosférica. En este tema trataremos los episodios de contaminación atmosférica más importantes en la actualidad: el efecto invernadero y, como consecuencia, el cambio climático; la destrucción de la capa de ozono y la lluvia ácida.

## AGENTES CONTAMINANTES DE LA ATMÓSFERA

La atmósfera ha evolucionado, al igual que la Tierra, a lo largo de distintas etapas. Su composición también ha ido cambiando, de modo que en la actualidad el 99,95% del volumen de los gases presentes en la atmósfera son nitrógeno (78%), oxígeno (21%) y argón. El nitrógeno y el argón son considerados gases inertes, dado que su cantidad es constante, mientras que la de oxígeno es variable.





La **contaminación atmosférica** es un problema generado por la actividad humana que se agravó considerablemente a partir de la revolución industrial. Su alcance puede ser muy distinto, ya que puede darse a **pequeña escala** (contaminación del aire en interiores), de forma **local** (por ejemplo, en una ciudad), a escala **regional** (afectando a una extensión que puede ser una región, una comarca o un país) o a escala **global**, afectando a todo el planeta.



En función de su origen, los contaminantes presentes en la atmósfera se pueden dividir en contaminantes primarios y contaminantes secundarios.

- Los **contaminantes primarios** son aquellos que son emitidos de forma directa a la atmósfera, como por ejemplo el monóxido de carbono (gas muy tóxico) o el dióxido de carbono que se producen en las combustiones de combustibles orgánicos (carbón, gas natural, petróleo, madera, etc.)
- Los **contaminantes secundarios**, por el contrario, no son emitidos directamente a la atmósfera, sino que se forman en ella a partir de reacciones químicas en las que intervienen contaminantes primarios y otras sustancias que inicialmente no son contaminantes del aire. Estos contaminantes secundarios pueden llegar a ser, en muchos casos, más importantes que los primarios. Como ejemplos de contaminantes secundarios pueden citarse el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que se forma a partir de dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ , un contaminante primario) o el ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) que se forma a partir de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ , contaminantes primarios). Otro de los contaminantes secundarios más importantes en la troposfera es el ozono, que se forma a partir de uno de los componentes mayoritarios de la atmósfera e indispensable para la vida de la mayoría de los seres vivos: el oxígeno.

Por otra parte, según la naturaleza de las sustancias contaminantes presentes en la atmósfera, pueden clasificarse los contaminantes del aire en:

- **Gases y vapores.** Algunos de los contaminantes más comunes en la atmósfera son gases o vapores, como el **monóxido de carbono** ( $\text{CO}$ ), el **dióxido de azufre** ( $\text{SO}_2$ ), los **óxidos de nitrógeno** ( $\text{NO}_x$ ), algunos **compuestos orgánicos volátiles** ( $\text{COVs}$ ) y **contaminantes orgánicos persistentes** ( $\text{COPs}$ ) – como ejemplos de estos últimos pueden citarse aldehídos, benceno, algunos hidrocarburos aromáticos policíclicos ( $\text{PAHs}$ ), dioxinas y furanos, entre otros. También podría citarse en este grupo el **ozono**, que si bien se da de forma natural y constituye en la estratosfera la capa de ozono, tan importante para el desarrollo de la vida en la



Tierra, se considera un contaminante atmosférico cuando se encuentra presente en la troposfera, siendo en este caso bastante perjudicial.

- **Partículas.** Las partículas sólidas presentes en el aire pueden afectar a las personas de forma directa o indirecta. En el primer caso las partículas pueden tener efectos nocivos sobre la salud, por ejemplo, penetrando en los pulmones y bloqueándolos, de forma que se dificulta o se evita el paso del aire, produciendo problemas respiratorios. Este efecto es causado principalmente por las partículas de tamaño más pequeño, dado que las mayores quedan habitualmente retenidas en la nariz y en la garganta. De forma indirecta, las partículas actúan como adsorbentes (por ejemplo, el hollín) y acumulan cantidades de otros compuestos suficientemente grandes como para resultar tóxicas. Un caso característico se da en la formación de un tipo de niebla o smog llamada tipo Londres, que es una forma de contaminación del aire originada a partir de la incorporación del humo a la niebla.

Otras formas de contaminación atmosférica pueden ser:

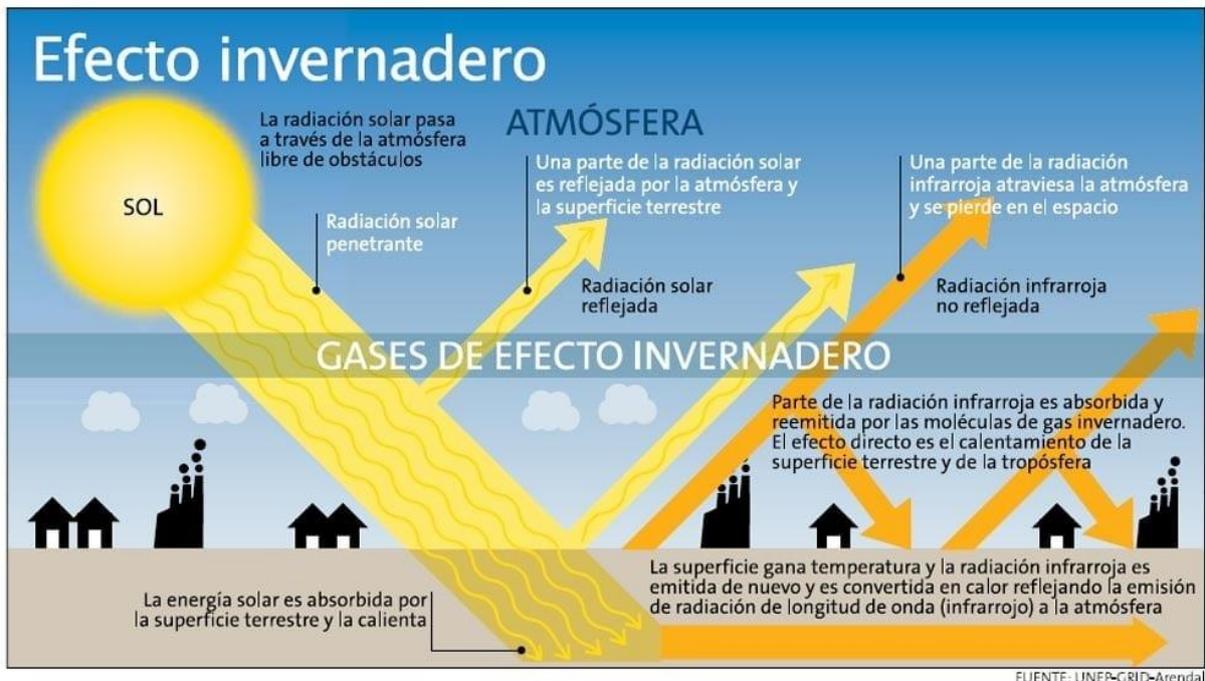
- **Instantánea**, en el caso de episodios aislados.
- **Continua**, para fuentes de emisión permanentes en el tiempo.
- **Puntuales**, localizadas en un único punto.
- **Difusas**, que presentan un frente disperso de contaminación.
- **Móviles**, como por ejemplo un vehículo.
- **Estacionarias**, como por ejemplo una fábrica.





## EL EFECTO INVERNADERO

El llamado “efecto invernadero” consiste en la **elevación de la temperatura del planeta** provocada por la acción de un determinado grupo de gases (denominados gases de efecto invernadero, GEI), algunos de ellos producidos masivamente por el hombre, que absorben la radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra tras haber sido calentada por la radiación solar, “atrapando el calor”, ocasionando que **se caliente la superficie de la Tierra y la parte de la atmósfera que está más cerca de la misma (la troposfera)**. Gracias a este efecto invernadero es posible la vida en la Tierra, ya que, de no ser por ello, las temperaturas medias rondarían los  $-88^{\circ}\text{C}$ .



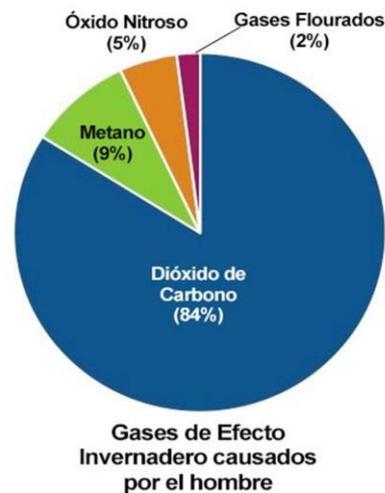
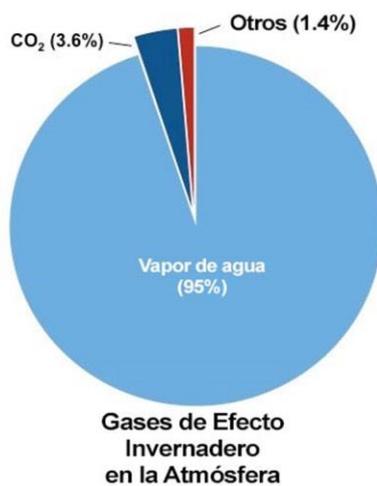
Llamamos **gases de efecto invernadero (GEI)**, o simplemente gases invernadero, a aquellos que, estando presentes en la atmósfera, contribuyen a crear el efecto invernadero. Según su origen, los gases de efecto invernadero pueden clasificarse en:

- **Naturales.** Los gases de efecto invernadero producidos de forma natural se encuentran generalmente en la atmósfera en concentraciones bajas (aunque estas se pueden ver aumentadas debido a la actividad humana, que puede dar lugar a estos mismos gases). En este grupo, los más importantes son el vapor de agua y el dióxido de carbono y, en menor medida, los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), el metano y el ozono.
- **Antropogénicos.** Producidos por las actividades humanas. Algunos de ellos, como el vapor de agua, el dióxido de carbono, los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), el metano y el ozono, se producen también de forma natural, como se comentó anteriormente. Otros, como el hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), los clorofluorocarbonos (CFCs), los hidrofluorocarbonos (HFCs) o los perfluorocarbonos (PFCs) tienen un origen exclusivamente antropogénico.



Si bien muchos de los gases de efecto invernadero son de origen natural, desde la revolución industrial y, debido principalmente al uso intensivo de los combustibles fósiles en las actividades industriales y el transporte, se ha producido un importante aumento en las cantidades emitidas a la atmósfera. La característica de estos gases de efecto invernadero es que **retienen el calor**, por lo que cuanto mayor sea la concentración de estos gases en la atmósfera, menos calor se podrá escapar.

Esto se agrava con la existencia de otros problemas generados también por la actividad humana, como la deforestación, que han disminuido la capacidad de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono, principal responsable del efecto invernadero ya que es el que más se emite hoy día.



El **vapor de agua** (H<sub>2</sub>O) es el **mayor contribuyente al efecto invernadero natural** y es el que está más directamente vinculado al clima y, por consiguiente, menos directamente controlado por la actividad humana. Esto es así porque la evaporación depende fuertemente de la temperatura de la superficie (que casi no es modificada por la actividad humana, si consideramos grandes extensiones).

El **dióxido de carbono** (CO<sub>2</sub>) contribuye a que la Tierra tenga una temperatura habitable, siempre y cuando su concentración se mantenga dentro de un intervalo determinado. Sin dióxido de carbono, la Tierra sería un bloque de hielo, pero, por otro lado, un exceso impide la salida de calor al espacio y provoca **un calentamiento excesivo del planeta**. Su origen en la atmósfera es tanto natural (respiración, descomposición de materia orgánica, incendios forestales naturales), como antropogénico (quema de combustibles fósiles, quema de biomasa, actividades industriales, etc).

Aunque el vapor de agua es el gas con una contribución mayor al efecto invernadero, es el dióxido de carbono el más emitido, tanto de forma natural como debido a la actividad humana. Por este motivo, el impacto del CO<sub>2</sub> sirve como referencia en la evaluación del potencial de otros GEI a la hora de causar efecto invernadero.



GEI	GWP*	Vida en la atmósfera (años)
CO <sub>2</sub>	1	Cientos
CH <sub>4</sub>	25	12
N <sub>2</sub> O	298	114
CCl <sub>3</sub> F	4600	(200)
CF <sub>4</sub>	7390	50000
CHF <sub>3</sub>	14800	264
SF <sub>6</sub>	22800	3200

\* El Potencial de Calentamiento Global (GWP, Global Warming Potential), cuyo valor es la unidad para el CO<sub>2</sub>, es un parámetro que se utiliza para medir la cantidad de energía total que absorbe un gas en un período de tiempo concreto comparado con el CO<sub>2</sub>.

El **metano** es una sustancia que se presenta en forma de gas incoloro, a temperaturas y presiones ordinarias. El 60% de sus emisiones en todo el mundo es de origen antropogénico, principalmente de actividades agrícolas y otras actividades humanas. Aunque también se origina a partir de la descomposición de residuos orgánicos, extracción de combustibles fósiles, etc.



Los **óxidos de nitrógeno** (NO<sub>x</sub>) son compuestos gaseosos liberados al aire desde el escape de vehículos motorizados (sobre todo diesel y de mezcla pobre), de la combustión del carbón, petróleo o gas natural, y durante procesos tales como la soldadura por arco, galvanoplastia, grabado de metales y detonación de dinamita.



El **ozono** ( $O_3$ ), a temperatura y presión ambiente, es un gas incoloro, que en grandes concentraciones puede volverse azulado, y que desempeña un importantísimo papel en la atmósfera. El ozono estratosférico actúa como un filtro que no deja pasar hasta la superficie de la Tierra las radiaciones ultravioleta perjudiciales para el ser humano. Sin embargo, si el ozono está presente en la zona más baja de la atmósfera (troposfera), puede provocar, en concentración suficiente, daños en la vegetación y problemas respiratorios a las personas.

Los **clorofluorocarbonos**, denominados también CFCs, son derivados de los hidrocarburos y que, debido a su alta estabilidad físico-química han sido muy usados fundamentalmente como líquidos refrigerantes y como propelentes para aerosoles. La fabricación y empleo de los clorofluorocarbonos fueron prohibidos por el protocolo de Montreal, debido a que atacan la capa de ozono mediante una reacción fotoquímica. Los CFCs tienen un altísimo potencial de retención del calor en la atmósfera; una tonelada de CFCs producirá, en los 100 años siguientes a su emisión a la atmósfera, un impacto de calentamiento global más de 4000 veces superior al que tendría la misma cantidad de dióxido de carbono ( $CO_2$ ).

Contribución de los principales GEI al efecto invernadero	
GEI	Contribución (%)
Vapor de agua + nubes	36-72
$CO_2$	9-26
$CH_4$	4-9
$O_3$	3-7

Como ya hemos visto, el efecto invernadero no nada malo para la vida en la Tierra sino todo lo contrario (sin efecto invernadero no sería posible la vida en nuestro planeta); lo malo es su progresivo aumento. Conforme las actividades del ser humano se van incrementando, vamos viendo cómo aumentan las emisiones de gases de efecto invernadero y cómo **cada vez aumentan más las temperaturas medias del planeta**. Esto puede tener consecuencias muy negativas tanto para el medioambiente como para el ser humano y su forma de vida.

Algunas de las posibles principales consecuencias del efecto invernadero son las siguientes:

- **Calentamiento global**, es decir, **aumento de la temperatura media del planeta**. Es la consecuencia más importante del efecto invernadero y la desarrollaremos en el punto siguiente del tema.





- **Deshielo de los casquetes polares.** Entre un tercio y la mitad de todos los glaciares del mundo y una gran parte de los casquetes polares se fundirán si no se reducen de manera considerable las emisiones de gases de efecto invernadero. Los glaciares y los casquetes polares no recuperarían su grosor después del verano, debido a la disminución de las precipitaciones en forma de nieve y el adelantamiento de las primaveras.



- **Aumento del nivel de mares y océanos.** El nivel medio del mar aumenta conforme se produce el deshielo de glaciares y casquetes polares, provocando que muchas zonas habitadas en la actualidad quedarán completamente sumergidas.





- **Sequías.** El aumento de las temperaturas supondría una disminución de las precipitaciones, así como una mayor evaporación y, por lo tanto, el aumento de las sequías en nuestro planeta.



- **Condiciones climáticas extremas.** El efecto invernadero también está trayendo consigo el aumento de fenómenos meteorológicos extremos como tormentas, tempestades, tifones y huracanes, que provocan graves inundaciones en otras zonas del planeta. Lloverá menos días y más torrencialmente. De igual modo, se prevén olas de calor cada vez más intensas, frecuentes y duraderas.





- **Deforestación y extinción de especies.** Se prevé la posible extinción de unas treinta mil especies de plantas y animales, ya que los hábitats cambiarán tan rápido que muchas especies no se podrán adaptar a tiempo.



El Acuerdo de París sobre cambio climático, firmado por 195 países en noviembre de 2016, pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, para así contribuir a paliar los efectos devastadores del cambio climático. La comunidad científica ha realizado diversos estudios en los que se concluye que, si las temperaturas medias del planeta aumentan más de dos grados centígrados, los efectos serían irreversibles. Es por ello que han situado como concentración máxima de CO<sub>2</sub> del planeta en 400 ppm. En los dos años posteriores al acuerdo se sobrepasó esta concentración.

¿Y qué medidas habría que adoptar para reducir el efecto invernadero? En la práctica, se debe controlar la emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero en dos escalas distintas, según se refieran a la emisión en vehículos o a la industria en general.

En el caso del transporte, los motores de camiones, automóviles y todo tipo de vehículos con motores de explosión son una fuente muy importante de estos contaminantes. Para reducir las emisiones conviene emplear tanto medidas de prevención como de limpieza de los gases emitidos por el motor antes de que salgan a la atmósfera. Se podría contribuir a la reducción del efecto invernadero con las siguientes medidas concretas:

- Utilizar más los transportes públicos, la bicicleta o ir caminando.
- Usar motores con tecnologías poco contaminantes, por ejemplo, motores que sustituyan los combustibles actuales por combustibles menos contaminantes, por ejemplo, gas natural, alcoholes, hidrógeno o eléctricos.
- Mejorar la eficiencia de los motores para que se puedan hacer más kilómetros con menos litros de combustible.
- Modificar el motor para que se reduzcan sus emisiones.



- Aumentar las tarifas e impuestos que deben pagar los coches más contaminantes e incentivar su cambio por otros nuevos. Esto impulsaría a los fabricantes de automóviles a reducir las emisiones y animaría a los compradores a adquirir vehículos menos contaminantes.
- Crear zonas peatonales en el centro de las ciudades y, en general, restringir la circulación de vehículos particulares en algunas zonas de las ciudades.





## **CALENTAMIENTO GLOBAL Y CAMBIO CLIMÁTICO**

El clima ha cambiado y evolucionado de forma natural a lo largo de la historia de la Tierra. En este proceso evolutivo se han ido alternando períodos glaciares con otros en los que la temperatura del planeta subía. No obstante, según la mayoría de los científicos y expertos en la materia, la actividad del ser humano a partir de la revolución industrial tiene mucho que ver en el **cambio climático** que se está observando ya desde hace décadas.

El **calentamiento global** hace referencia al **aumento de la temperatura media de los océanos y de la atmósfera terrestre**.

Calentamiento global y cambio climático son conceptos comúnmente confundidos, debido a que sus causas y consecuencias coinciden en su mayoría, pero el calentamiento global es tan solo uno de los aspectos recogidos por el cambio climático.



Según los expertos, las causas del calentamiento global pueden ser naturales o antropogénicas.

En el caso de las **causas naturales**, han estado contribuyendo al calentamiento global del planeta desde hace miles y miles de años; sin embargo, se cree que estas causas naturales no son lo suficientemente importantes como para dar lugar a los cambios climáticos que se están observando actualmente y que constituyen una seria amenaza para todo el planeta. Entre estas causas naturales del calentamiento global cabe mencionar:

- Un gran **aumento de la actividad solar**, lo que provoca ciclos de calentamiento a corto plazo.
- El **aumento de la cantidad de vapor de agua en la atmósfera**, lo que provoca que la temperatura media vaya en aumento cada cierto tiempo y contribuyendo al propio calentamiento.
- Los **ciclos climáticos** que suele atravesar el planeta de forma habitual. Estos ciclos se deben a los rayos solares; si el Sol es la fuente de energía que impulsa el clima de la Tierra, es lógico que la propia radiación solar tenga un importante papel en los cambios de temperatura que está sufriendo nuestro planeta.

Aunque las causas naturales juegan un importante papel en el calentamiento global del planeta, son las **causas antropogénicas** las que despiertan una mayor preocupación entre la mayoría de los expertos. Entre estas causas antropogénicas **del** calentamiento global cabe destacar:

- Las **emisiones de dióxido de carbono que resultan de la quema de combustibles fósiles** (todos aquellos que se derivan de productos como el carbón, el petróleo y el gas natural) en el transporte, en calefacciones, en la



industria y en la producción de energía eléctrica. Estas emisiones de CO<sub>2</sub> se han convertido en un auténtico peligro y amenaza para la vida del planeta y es por ello que la mayoría de los expertos buscan soluciones inmediatas para reducir dichas emisiones. El efecto negativo de los combustibles fósiles es doble si tenemos en cuenta también los problemas de salud que se pueden derivar para las personas de la contaminación atmosférica que generan. Por ejemplo, la OMS calcula que, en la actualidad, existen cerca de 300 millones de personas en el mundo enfermas de asma, y esta cifra irá en aumento proporcionalmente al aumento de sustancias nocivas en el ambiente.



**El aumento de las concentraciones de otros gases de efecto invernadero en el ambiente**, como por ejemplo el óxido de nitrógeno, debido a las actividades humanas agudizan el problema.

- La **deforestación de selvas y bosques**, que contribuye al aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera. Como sabemos, las plantas transforman el dióxido de carbono en oxígeno a través de la fotosíntesis. La deforestación reduce la cantidad de árboles disponibles para ello y, en consecuencia, se tiene una mayor concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.
- El **uso excesivo de fertilizantes químicos** en la agricultura. Muchos de estos fertilizantes tienen unos altos contenidos de óxido de nitrógeno que, como sabemos, también contribuye al incremento del efecto invernadero. A medida que la población crece, existe una mayor necesidad de alimentos, por lo que al aumentar la extensión de los campos de cultivo aumenta también el uso de fertilizantes químicos.
- La **alta producción de residuos**. Cuanto mayor es la cantidad de residuos que generamos, mayor es la cantidad de gas metano, que se genera durante la descomposición de los residuos orgánicos en los vertederos, en el ambiente.





Aunque las causas naturales del calentamiento global tienen gran importancia, son las causas antropogénicas las que hay que solucionar en el menor espacio de tiempo posible, antes de que las consecuencias sean irreversibles. Y aunque hay expertos que ponen en duda que la actividad humana contribuya de forma importante al calentamiento global, hay algunos hechos medidos e irrefutables:

- El aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.
- El aumento de la temperatura de la Tierra en la superficie.
- El incremento del nivel del mar.
- La disminución del área ocupada por el hielo ártico.

En cualquier caso, el calentamiento global ya no es un problema del futuro, sino de máxima actualidad. Es una situación que debemos afrontar de inmediato o la destrucción de nuestro planeta será irreversible.

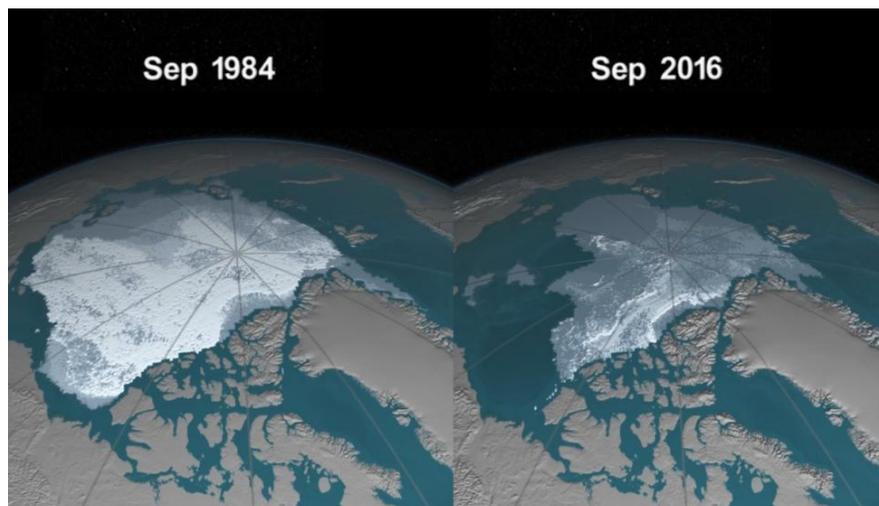
Las **consecuencias** más importantes que se derivan del calentamiento global son:

- **Temperaturas cada vez más cálidas.** La acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera hace que las temperaturas aumenten cada vez más en nuestro planeta, y que los climas cambien; esto provoca sequías, aumenta el riesgo de incendios que conllevan la deforestación, contribuye a la desertización, ...
- **Tormentas cada vez más intensas.** El hecho de que las temperaturas sean más altas hace que las lluvias sean menos frecuentes, pero que sean más intensas, por lo que se producen inundaciones con importantes daños materiales y personales.
- **Propagación de enfermedades.** Un cambio de temperatura de varios grados puede hacer que una zona climática templada se haga más propensa a la propagación de determinadas enfermedades. Así, pueden empezar a darse casos de enfermedades, como el dengue o la malaria, en países desarrollados en zonas que tradicionalmente han sido más frías.
- **Olas de calor más fuertes.** El Polo Norte está hoy mucho más caliente que hace cincuenta años. La salud e incluso la vida de miles de personas pueden verse en peligro debido al aumento de las olas de calor, tanto en frecuencia como en intensidad.





- **Deshielo de glaciares y casquetes polares.** Océanos con temperaturas más altas son océanos que derriten el hielo más rápidamente, y esto hace que aumente el nivel del mar. Los efectos globales de este hecho son muy graves: disminución de la disponibilidad de agua dulce para consumo humano y para riego, cambios en los patrones de circulación del agua en los océanos, amenazas para la supervivencia de especies de flora y fauna en distintos ecosistemas, etc.



- **Huracanes más peligrosos.** El aumento de la temperatura del mar hace que los huracanes se vuelvan más violentos. A más temperatura, más huracanes, con todas las consecuencias que conllevan: destrucción de ciudades, de cultivos, enfermedades, muertes, etc.
- **Cambios en los ecosistemas.** Una temperatura más alta, menos disponibilidad de agua, sequías e inundaciones hacen que el clima se adapte y, por lo tanto, se produzcan, por ejemplo, cambios en la duración de las estaciones o que aparezcan patrones más propios de climas monzónicos.
- **Desaparición de especies animales.** Muchas especies de animales están viendo cómo su clima actual cambia, y no son capaces de adaptarse a esos cambios tan rápidamente. Así, muchos osos polares están muriendo ahogados porque no pueden alcanzarlos hielos flotantes, y las aves migratorias están perdiendo la capacidad de emigrar porque no pueden seguir los flujos de temperatura a los que están habituadas.



- **Aumento del nivel del mar.** Como el hielo se funde, se vierte muchísima más agua en los mares y océanos y, por lo tanto, aumenta el nivel del mar; esta es una de las consecuencias más graves del cambio climático, ya que supone que muchas islas y otras zonas habitadas pueden desaparecer bajo las aguas provocando que miles de personas tengan que desplazarse de sus lugares habituales de residencia.



- **Alimentos más caros.** El cambio climático pone en peligro la producción de alimentos básicos como el trigo, y esto significa que cientos de miles de personas que viven del cultivo de este cereal estén en riesgo de perder su medio de vida, y que otras muchas personas no dispongan de este alimento. Además, la falta de alimentos en la vida cotidiana de las personas deriva en guerras y migraciones de pueblos enteros que deben buscar un destino diferente donde encontrar alimento para subsistir.

Algunos datos contrastados:

- ✓ El Programa de Cambio Climático Copérnico de la Unión Europea, que analiza los datos de temperatura de todo el planeta, informó que julio de 2019 fue alrededor de 0,56°C más cálido que la temperatura promedio mundial entre 1981-2010 y, hasta la fecha, es el mes más caluroso registrado.
- ✓ Según Copérnico, 2015 a 2018 han sido los cuatro años más cálidos registrados.
- ✓ La última vez que los niveles de dióxido de carbono fueron tan altos como los que se registran en la actualidad, Groenlandia era mayormente verde, los niveles del mar eran hasta 20 metros más altos y los árboles crecían en la Antártida, según científicos que aseguran que hay más CO<sub>2</sub> en nuestra atmósfera hoy que en los últimos tres millones de años.
- ✓ Según la NASA, la mayor parte del calentamiento global se ha generado durante los últimos 35 años, período que coincide con el de mayor desarrollo industrial y tecnológico de la historia.
- ✓ El casquete de hielo que cubre el Polo Norte actualmente es un 18% más pequeño que hace cinco años, según ha anunciado el según el Centro Nacional de la Nieve y el Hielo de Estados Unidos (NSIDC, por sus siglas en inglés). Los seis meses de septiembre con menos superficie de hielo ártico de la historia han sido los seis últimos (datos de septiembre de 2019).
- ✓ De 1901 a 2010, el nivel medio mundial del mar subió 19 cm. Se estima que el aumento será de entre 24 y 30 cm para 2065 y de 40 a 63 cm para 2100.
- ✓ En octubre de 2018, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de la ONU publicó un informe especial sobre los impactos del calentamiento global a 1,5°C, encontrando que limitar el calentamiento global a



este nivel requerirá cambios rápidos, de gran alcance y sin precedentes en todos los aspectos de la sociedad. Con ventajas claras para la gente y ecosistemas naturales, el informe encontró que la limitación del calentamiento global a 1.5°C comparado con 2°C podría ir de la mano con el compromiso de asegurar una sociedad más sostenible y equitativa. Mientras estimaciones previas se enfocan en determinar el daño que se ocasionaría si la temperatura media llegara a los 2°C, este informe establece que muchos de los impactos adversos del cambio climático se producirían ya en los 1,5°C.

Además, el informe destaca una serie de impactos del cambio climático que podrían evitarse si la marca de calentamiento global máxima se establece en 1,5°C en lugar de 2°C o más. Por ejemplo, para 2100, el aumento del nivel del mar mundial sería 10 cm más bajo con un calentamiento global de 1,5°C. Las probabilidades de tener un Océano Ártico sin hielo durante el verano disminuirán a una vez por siglo con el máximo en 1,5°C, en lugar de una vez por década, si la marca se establece en los 2°C. Los arrecifes de coral disminuirían entre un 70% y 90% con un calentamiento global de 1,5 ° C, mientras que con 2°C, se perderían prácticamente todos (99%).

El informe expone que limitar el calentamiento global a 1,5°C requeriría transiciones "rápidas y de gran calado" en la energía, la industria, los edificios, el transporte y las ciudades. Las emisiones netas mundiales de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de origen humano tendrían que reducirse en un 45% para 2030 con respecto a los niveles de 2010, y seguir disminuyendo hasta alcanzar el "cero neto" aproximadamente en 2050.

El cambio climático es el mayor desafío de nuestro tiempo y nos encontramos en un momento decisivo. Los efectos del cambio climático son de alcance mundial y de una escala sin precedentes. Si no se toman medidas drásticas urgentes, será más difícil y costoso adaptarse a estos efectos en el futuro.



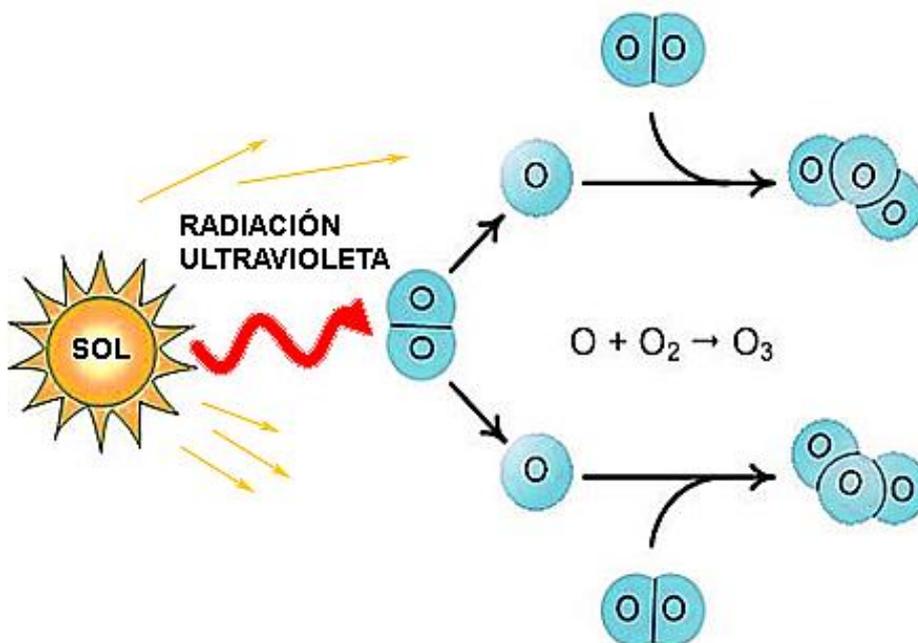


## LA DESTRUCCIÓN DE LA CAPA DE OZONO

La ozonósfera o capa de ozono es una región de la atmósfera que se encuentra dentro de los límites de la estratosfera (entre unos 20 y unos 50 km de altitud). En realidad, la ozonósfera incluye todo el ozono existente en la estratosfera; la concentración máxima de ozono se encuentra a unos 25 km, aunque oscila dependiendo de la latitud del lugar, de la época del año y de la meteorología. Si todo ese ozono fuese comprimido a la presión del aire al nivel del mar, esta capa tendría solo unos 3 milímetros de espesor.

Cuando se habla de destrucción de la capa de ozono nos referimos a la disminución de la concentración del ozono en esta región atmosférica muy por debajo de los niveles normales.

El ozono es una molécula formada por tres átomos de oxígeno ( $O_3$ ) que sólo es estable en determinadas condiciones de presión y temperatura. La formación de ozono a partir de oxígeno molecular ( $O_2$ ) requiere un aporte de energía que, cuando se da en la estratosfera, la aportan fotones ultravioletas (UV) procedentes de la radiación solar; con este aporte energético, la molécula de oxígeno se divide en dos átomos de oxígeno (O), cada uno de los cuales puede luego combinarse con otra molécula de oxígeno formándose así las moléculas de ozono.



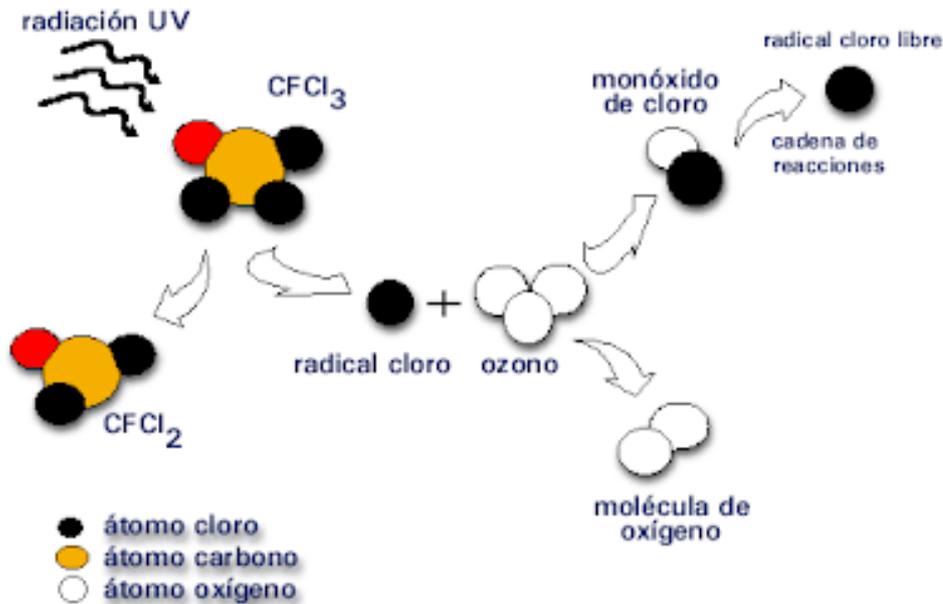
El ozono actúa como filtro, o escudo protector, de las radiaciones nocivas y de alta energía, que llegan a la Tierra, permitiendo que pasen otras radiaciones como la ultravioleta “de onda larga” (UV menos energética), que de esta forma llega a la superficie; esta radiación ultravioleta es la que permite la vida en el planeta, ya que es la que permite que se realice la fotosíntesis del reino vegetal, que se encuentra en la base de la cadena trófica.



La capa de ozono permite el paso de la radiación UV-A, fundamental para la vida en nuestro planeta, y absorbe las radiaciones UV-B y UV-C, más energéticas, evitando que lleguen a la superficie de la Tierra y causen efectos nocivos en la flora, en la fauna y en los seres humanos.

El ozono es una molécula inestable, pero su proceso de descomposición de forma natural es muy lento. Sin embargo, este proceso de destrucción del ozono se ve acelerado en presencia de radicales de cloro. Los principales liberadores de radicales de cloro en la estratosfera son los CFCs (clorofluorocarbonos), que presentan una actividad destructora del ozono muy persistente (hasta 100 años), lo que hace que sus efectos sobre la capa de ozono se den hasta mucho tiempo después de su emisión. Estos CFCs han sido muy utilizados (y emitidos a la atmósfera) durante años fundamentalmente como gases refrigerantes en sistemas de refrigeración y como propelentes en aerosoles. En la actualidad, el uso de estos CFCs está prohibido en todo el planeta, y han sido sustituidos por los HCFC (hidroclorofluorocarbonos) y HFC (hidrofluorocarbonos, moléculas completamente libres de cloro), isobutano (como propelente) o mezclas butano/propano (como refrigerantes), entre otros.

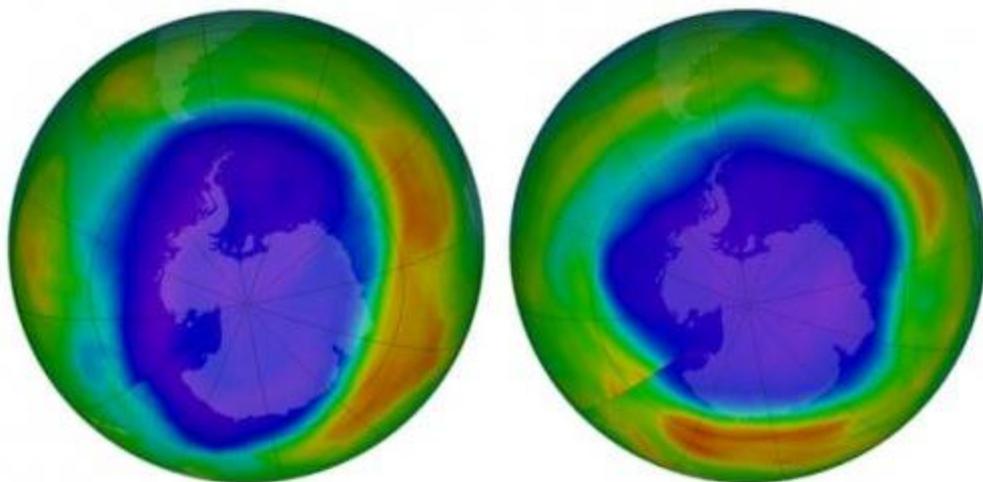
En la imagen que aparece en la página siguiente puedes observar cómo es el mecanismo de destrucción de las moléculas de ozono en la estratosfera. Observa que el átomo de cloro actúa como catalizador, es decir, facilita la reacción química pero no se consume en ella, por lo que un mismo átomo de cloro puede destruir miles de moléculas de ozono. El átomo de bromo puede actuar de la misma manera y es aún más destructivo que el de cloro (unas 10 o 100 veces más). Por este motivo, es importante no emitir a la atmósfera moléculas con este tipo de átomos, que actúan como catalizadores en la destrucción del ozono.



Se estima que cada átomo de cloro puede destruir hasta 10.000 moléculas de ozono.

En la actualidad, el comportamiento de la capa de ozono se puede establecer con gran detalle, y se puede predecir su evolución y cambios con mucha exactitud. Tras la prohibición de la fabricación y uso de CFCs (en el año 1995) y su sustitución por otras sustancias alternativas, se espera que la concentración de radicales cloro en la estratosfera vaya descendiendo progresivamente, que cese la destrucción de la capa de ozono y que vaya recuperándose.

Los expertos calculan que para el año 2030 la capa estará completamente recuperada en el hemisferio norte, mientras que en el hemisferio sur habrá que esperar hasta 2060.



Concentración de ozono en la estratosfera sobre el polo sur en septiembre 2000 (izquierda) y septiembre 2018 (derecha). Los colores morados indican niveles más bajos de ozono. En esta zona de la tierra la recuperación aún tardará en llegar. Imagen: Nasa



La recuperación está siendo larga y con altibajos ya que algunos años, y debido a las condiciones meteorológicas registradas, el agujero en la capa de ozono llegó a aumentar. Aun así, los valores de ozono estratosférico a nivel global se han ido recuperando entre un 1% y un 3% desde el año 2000.

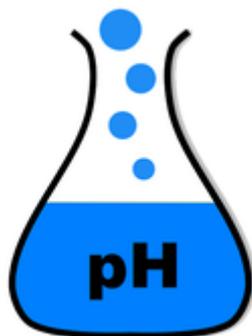
Esta recuperación de la capa de ozono también va a ser positiva para el cambio climático del planeta porque al tener más ozono en niveles superiores de la atmósfera, llega menos radiación o energía a la superficie terrestre, que también suma al aumento térmico de la tierra.

Con los niveles de ozono restablecidos totalmente dentro de unos años, se calcula que se evitará hasta 0,5°C de calentamiento global durante lo que queda de siglo.

## LA LLUVIA ÁCIDA

Antes de abordar el problema de la lluvia ácida es necesario conocer qué es el pH y cómo se mide.

El pH es un parámetro **sirve para establecer el nivel de acidez o alcalinidad** de una sustancia; se expresa como el logaritmo negativo en base 10 de la concentración de protones en dicha sustancia.



$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

La escala (valores posibles) de pH va desde cero hasta catorce.





- Una sustancia es **ácida** si el valor de su pH es mayor que cero y menor que **siete**. Dentro de este intervalo, cuanto más pequeño sea el pH más ácida es la sustancia.
- Si el **pH = 7**, la sustancia es **neutra**, es decir, ni ácida ni básica.
- Una sustancia es **básica o alcalina** si el valor de su pH es mayor que **siete** y menor que **14**. Dentro de este intervalo, cuanto más grande sea el pH más básica o alcalina es la sustancia.

Ejemplos:

- de ácidos: el líquido de las baterías de los coches, el zumo de limón o el vinagre.
- de bases: la lejía o el amoníaco que usamos para limpieza.
- de sustancia neutra: el agua destilada o una disolución de sal común en agua.

Para la medida del pH existe un instrumento denominado pH-metro, que nos permite obtener valores muy precisos del pH si lo usamos adecuadamente (requiere calibrar frecuentemente con disoluciones patrón, de pH conocido). Si no disponemos de un pH-metro o nos sirven medidas aproximadas del pH podríamos utilizar tiras indicadoras de pH.



pH-metro digital de laboratorio



pH-metro digital portátil



Tiras indicadoras de pH



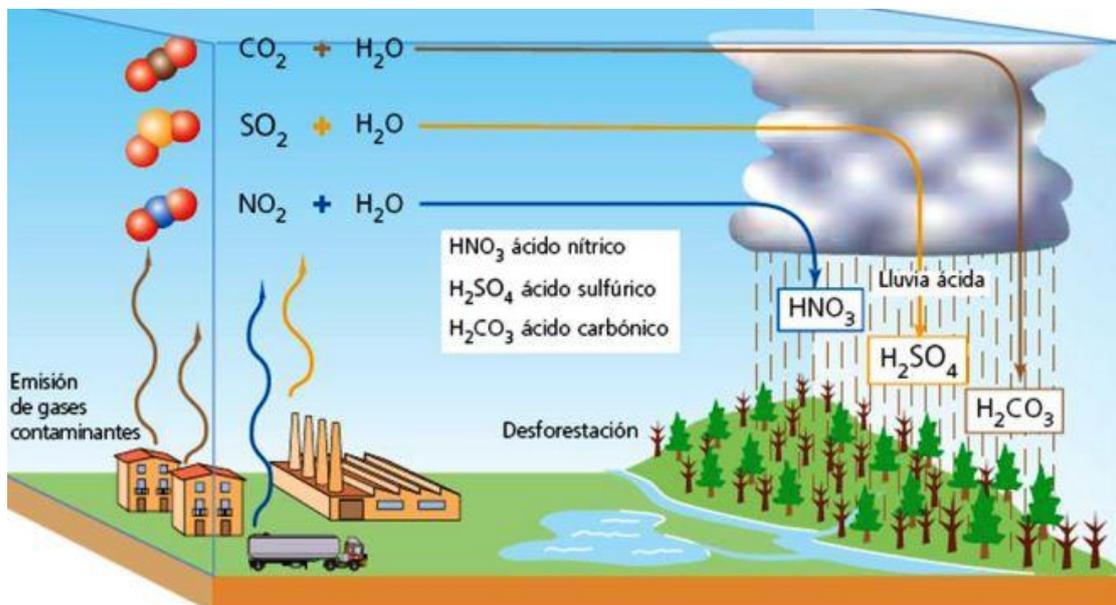
El fenómeno de la **lluvia ácida** fue descubierto por primera vez en 1852 por el farmacéutico inglés Robert Angus Smith, al encontrar la relación entre la contaminación del contaminado aire de Londres de la época y la acidez de las lluvias que tenían lugar en la región. No obstante, este fenómeno empieza a tener relevancia a partir de la segunda mitad del siglo pasado.

El término lluvia ácida engloba **cualquier forma de precipitación (lluvia, rocío, nieve, aguanieve, ...)** cuyo **pH sea inferior a 5**. El pH de la lluvia normal es 5,6.

La acidez característica de este tipo de precipitaciones se debe a la presencia en la atmósfera de sustancias ácidas (fundamentalmente ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$ , y ácido nítrico,  $HNO_3$ ) que son arrastradas hacia la superficie de la Tierra por dichas precipitaciones.

Sustancia	pH
Desechos ácidos mineros	-3.6-1.0
Ácido de batería	-0.5
Ácido gástrico	1.5-2.0
Refrescos de cola	2.5
Vinegar	2.4-3.4
Zumo de naranja o manzana	3-4
Cerveza	4.5
Lluvia ácida	<5.0
Café	5.0
Té	5.5
Piel sana	5.5
Lluvia normal	5.6
Leche	6.5
Agua potable	6.5-8
Agua destilada	7.0
Saliva humana sana	7.4
Sangre	7.4
Agua de mar	7.4-8.2
Jabón para las manos	9-10
Lejía	12.5
Lejía para limpieza doméstica	13.5

Esta lluvia ácida está causada fundamentalmente por emisiones de dióxido de azufre ( $SO_2$ ) y de óxidos de nitrógeno ( $NO_x$ ) de origen antropogénico. Mediante reacciones químicas que tienen lugar en la atmósfera, estos contaminantes se transforman y se disuelven en el agua presente en la misma, formándose ácido sulfúrico y ácido nítrico respectivamente. Estos ácidos son los causantes de la disminución del pH y, por lo tanto, de la lluvia ácida.



Estos contaminantes pueden desplazarse grandes distancias con ayuda del viento antes de precipitarse en forma de lluvia, rocío, llovizna, granizo, nieve o niebla, por lo que la lluvia ácida puede afectar a zonas muy alejadas de las zonas donde se produjeron las emisiones responsables de su formación.



El origen de los contaminantes primarios ( $\text{SO}_2$  y  $\text{NO}_x$ ) está la quema de combustibles fósiles, como el carbón o el petróleo, en la industria y en las diversas actividades humanas (fábricas, centrales eléctricas, calderas de calefacción o transporte).

Los efectos de la lluvia ácida pueden darse sobre distintos medios con consecuencias diversas:

- Cuando las precipitaciones ácidas afectan a ríos o lagos se produce la acidificación de sus aguas, provocando daños que pueden llegar a producir la muerte de plantas acuáticas, peces, microorganismos, etc. alterando todo el equilibrio del ecosistema, en particular las cadenas tróficas, disminuyendo la biodiversidad.



- Cuando las precipitaciones afectan al suelo, fluyen a través del terreno y se infiltran sobre el terreno pudiendo llegar a acuíferos subterráneos, contaminándolos.
- La infiltración de la lluvia ácida por el suelo provoca la pérdida de nutrientes por lixiviación (arrastre de nutrientes disueltos hacia capas más profundas del suelo), haciendo estériles suelos de cultivo.
- Cuando afecta a zonas de bosques o selvas, la pérdida de nutrientes evita o dificulta el crecimiento de árboles o plantas característicos de la zona. Además, cuando cae directamente sobre las hojas, puede quemarlas y/o disminuir la capacidad de realizar la fotosíntesis, provocando la muerte de plantas y árboles. Como efecto añadido provoca el debilitamiento de la vegetación, que se hace más susceptible de ser atacada y destruida por plagas.





- Cuando cae sobre edificios y/o bienes culturales (iglesias, monumentos, estatuas, ...), la acidez de las precipitaciones solubiliza algunos materiales de los que están construidas dando lugar a su corrosión y deterioro.



- La deposición ácida en forma de nieblas ácidas puede dar lugar a asma, alergias y otras afecciones del aparato respiratorio. Además, la inclusión de tóxicos liberados por la acidez de suelos puede, una vez introducidos en la cadena trófica, traer consigo intoxicaciones en personas que consuman plantas, peces u otros animales contaminados con aluminio, mercurio, cadmio, etc.

Luchar contra el fenómeno de la lluvia ácida implica adoptar una serie de medidas encaminadas a reducir las emisiones a la atmósfera de las sustancias contaminantes que la originan. Algunas medidas que podrían contribuir en ello serían:

- Usar fuentes de energía alternativas.
- Estimular el uso de gas natural, frente al carbón o al petróleo.
- Incentivar el uso de transporte público, la bicicleta o vehículos eléctricos.
- Implementar y ampliar sistemas de transporte eléctrico.
- Establecer y hacer cumplir regulaciones a la industria para disminuir la emisión de sustancias contaminantes.
- Reducir los niveles de azufre en los combustibles.
- Ahorrar energía en el hogar y el trabajo.

Sin embargo, aunque pudiéramos detener la lluvia ácida hoy mismo, tendrían que transcurrir muchos años para que los efectos negativos que ésta genera desaparecieran.



### IDEAS CLAVE

- La atmósfera es la capa de gases que rodea a la Tierra. Está constituida por capas y la composición de cada capa es distinta. Las capas más importantes son la troposfera (porque es la capa donde vivimos) y la estratosfera, donde se encuentra la ozonfera, que actúa como un filtro para las radiaciones ultravioleta dañinas procedentes del Sol.
- La contaminación del aire tiene dos tipos de procedencia: natural y antropogénica. El alcance de esta contaminación puede ser local (ciudades), regional (extensiones de cientos de kilómetros) o global (afecta a todo el planeta).
- Los contaminantes atmosféricos pueden ser gases, vapores o partículas y se clasifican en primarios, emitidos directamente a la atmósfera, o secundarios, formados en la atmósfera a partir de otros compuestos.
- El efecto invernadero está causado por un desequilibrio entre la radiación que recibe la Tierra y la que sale de ella debido al aumento de la concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero, de los cuales el compuesto de referencia, y que contribuye de forma más importante es el dióxido de carbono. La consecuencia más inmediata del efecto invernadero es el calentamiento global de la superficie de la Tierra.
- El cambio climático es debido a los efectos causados en el sistema climático terrestre. Comúnmente se emplea este término para hacer referencia al cambio climático causado por la actividad humana, del cual el efecto invernadero es el máximo responsable. Las consecuencias del cambio climático son de gran importancia y afectan a todo el planeta de forma global.
- La capa de ozono se encuentra en la estratosfera. Su función principal es absorber las radiaciones ultravioleta dañinas para que no lleguen hasta la Tierra, evitando así efectos nocivos en la población, la flora y la fauna. Su destrucción se debe fundamentalmente a los clorofluorocarbonos (CFCs) emitidos, actualmente prohibidos.
- La lluvia ácida, o deposición ácida, está causada por las emisiones de gases ácidos a la atmósfera, principalmente dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, produciendo efectos nocivos sobre el medio, los bienes culturales y la salud de las personas.



## LECTURAS

( <https://www.unabrevehistoria.com/2008/07/el-gran-smog-de-londres-de-1952.html>)

Algunas de las obras de sir Arthur Conan Doyle, con Sherlock Holmes como protagonista, transcurren en una ciudad de Londres envuelta en un espeso manto de niebla. Pintores como Claude Monet, que viajó a Londres entre 1899 y 1901, plasmaron en sus lienzos una densa niebla que a duras penas dejaba entrever los edificios de una ciudad gris y desdibujada. Sin embargo, y a pesar de esa imagen preconcebida que podamos tener, en Londres hay tanta niebla como, por ejemplo, en Girona: **poco más de 15 días al año**. La imagen que tenemos de una ciudad sumergida en la niebla **se debe a la contaminación**: el **smog**, palabra que mezcla *smoke* (humo) y *fog* (niebla), causado por la combustión de carbón que se utilizaba en calefacciones y fábricas.

Este *smog*, muy molesto de por sí, **tuvo consecuencias catastróficas a finales de 1952**. A principios de diciembre de ese año Londres sufrió una bajada de las temperaturas mayor de lo habitual. **Para combatir el frío, los londinenses comenzaron a quemar más carbón que de costumbre** y la contaminación generada, que normalmente se dispersaba en la atmósfera, quedó esa vez atrapada por una densa capa de aire frío.



De modo natural los componentes del smog se difunden hasta las capas altas de la atmósfera y no afectan a la vida terrestre. Sin embargo, durante esos días en Londres ocurrió un proceso de **inversión térmica**, en la que una masa de aire caliente se instaló sobre otra más fría (lo normal es que conforme subimos en altitud descienda la temperatura del aire) **impidiendo que los gases contaminados ascendieran y se dispersaran en la atmósfera**.



Las concentraciones de agentes contaminantes en el aire, en particular del humo procedente de la combustión del carbón, **augmentaron de manera dramática. Entre el 5 y el 9 de diciembre fallecieron 4.000 personas**, básicamente niños, ancianos y gente con problemas respiratorios. En los meses siguientes hubo otros **8.000 muertos** por causa de la llamada ***Gran niebla*** o ***Niebla asesina***. El problema se vio agravado porque el carbón empleado en calefacciones era de baja y muy baja calidad, con alto contenido de azufre (en época de posguerra el carbón de calidad superior, y por tanto el más caro, se destinaba a la exportación).

La niebla tóxica era tan espesa que el tránsito de vehículos por la ciudad se hizo muy difícil, cuando no imposible, afectó al servicio de trenes y provocó que se cerrasen los aeropuertos. Lejos de dispersarse, el smog pronto empezó a introducirse por todas partes. Una representación de la ópera La Traviata tuvo que ser suspendida en mitad de la función ya que la gente no podía distinguir el escenario. Se caminaba a ciegas por los pasillos de los hospitales y las escuelas se vieron obligadas a cerrar las aulas.



Las muertes durante la *Gran Niebla* se debieron, en la mayoría de los casos, a infecciones de las vías respiratorias o pulmonares (principalmente bronconeumonía, bronquitis aguda y bronquitis crónica) e hipoxia (bajo el nivel de oxígeno en la sangre).



Este espantoso episodio condujo a un replanteamiento de las **normas sobre regulación de la contaminación atmosférica**. Tras los sucesos de 1952, el gobierno alentó la eliminación del carbón como combustible para la calefacción. En 1956 se firmó el *Acta de aire limpio* y se prohibieron las combustiones por carbón. Así, desde la década de los 60, Londres dejó de ser la ciudad de la niebla.

([https://www.abc.es/sociedad/abci-ciudades-espanolas-mas-amenazadas-subida-nivel-mar-201806190248\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-ciudades-espanolas-mas-amenazadas-subida-nivel-mar-201806190248_noticia.html))

19/06/2018 Luis Cano – ABC Sociedad / **Las ciudades españolas más amenazadas por la subida del nivel del mar: Bilbao, Alicante, Santander, Santa Cruz de Tenerife y Las Palmas están a menos de 6 metros de altitud.**

Cómo será el mundo en 2070 si no se frena el deshielo.

España, con su población concentrada principalmente en las zonas costeras, está muy expuesta al fenómeno de la subida del nivel del mar por el calentamiento global. Santa Cruz de Tenerife está a tan solo un metro de altitud. Bilbao, Alicante, Santander y Las Palmas, a menos de 6 m. Barcelona, Valencia, Sevilla, Málaga, San Sebastián y La Coruña están por debajo de los 20 m sobre el mar.

En España, a pesar de que solo el 1% de toda la superficie terrestre está a 6 m o menos de altura, allí se concentra el 6% del total de la población. Incluye importantes capitales como **Santa Cruz de Tenerife, Alicante, Bilbao, Santander y Las Palmas de Gran Canaria.**

Un siguiente nivel de tierra firme a 20 m o menos sobre el nivel del mar supone solo el 3% de la superficie de España; sin embargo, allí reside el 23% de la población, un porcentaje en aumento por el problema de la despoblación del interior del país. Esa elevación incluye a ciudades como **La Coruña, San Sebastián, Málaga, Sevilla, Barcelona y Valencia.**



Altitud de ciudades costeras españolas - ABC



En el estudio sobre la subida del nivel del mar publicado en la revista científica «Nature», los investigadores han constatado la crecida de 7,6 mm en los últimos 25 años. Desde 2012 la velocidad de pérdida de masa de la Antártida se ha acelerado por el calentamiento global, especialmente por su lado Occidental.

Si no se actúa, advierten los expertos en el macroestudio, el nivel del mar habrá aumentado 27 cm en 2070 a causa del deshielo originado por los 2,9°C de aumento de la temperatura. Si se ponen medidas, la temperatura global seguirá aumentando, pero en 0,9°C, y el nivel del mar subirá en 6 cm. Otros escenarios más apocalípticos sitúan la crecida entre 2,5 y 3 metros sobre el nivel del mar al acabar este siglo.

La población española está más expuesta a este fenómeno que la media de países del mundo. España no es Países Bajos, con parte de su territorio por debajo del nivel del mar, pero la concentración de la población en zonas costeras hace que el porcentaje de habitantes que viven a baja altitud sea mayor que la media internacional. En España, a menos de 20 m de altitud vive el 23% de la población, mientras que en el mundo es el 16%. A menos de 10 m en el mundo vive el 11% de la población, el mismo porcentaje que en España.

Las localidades españolas a menor altitud media, según datos del Instituto Geográfico Nacional, son **Candelaria, Santa Cruz de la Palma y San Andrés y Sauces**, las tres en la provincia de Santa Cruz de Tenerife. Están a 0 metros de altitud media sobre el nivel del mar. La capital está a solo un metro. En la Península, Valdés (Asturias), es el municipio a menor elevación, a un metro de altura. A dos metros están Águilas (Murcia) y Deltebre (Tarragona). El Delta del Ebro, precisamente, sería una de las zonas más afectadas por una eventual subida del nivel del mar. Desaparecería con una crecida de solo un metro.

Al margen de la altitud media de cada localidad, partes del territorio quedarían afectadas con la subida de un metro. En Cantabria estarían afectadas localidades como San Vicente de la Barquera y Pedreña, además del Parque Natural Marismas de Santoña, Victoria y Joyel. En Asturias, Villaviciosa y Vega. En Galicia, la provincia de La Coruña sería la más dañada, incluida su capital, además de municipios significativos como Betanzos. Pontevedra también, especialmente Rouxique y A Fienteira.

En Andalucía, el Parque Nacional de Doñana quedaría anegado. La provincia de Cádiz quedaría especialmente expuesta, con playas como Tarifa y Conil anegadas, además de poblaciones como Algeciras. El «mar de plástico» de Almería, con la sucesión de invernaderos quedaría salinizado con agua de mar, especialmente en Adra y San Agustín.

En el litoral, la albufera valenciana sería un recuerdo, al igual que el Delta del Ebro, totalmente sumergida.



(<https://www.bbc.com/mundo/noticias-37990263>)

## **Cómo se logró el único acuerdo que todos los países del mundo han firmado y cumplido**

Hannah Sander y Lucy Proctor BBC - 20 noviembre 2016

**Cuando Mario era niño convirtió su baño en un laboratorio de química, en el que pasaba horas jugando con tubos de ensayo y pociones, soñando con que algún día se convertiría en un científico.**

Más tarde consiguió trabajo en un renombrado laboratorio y un día, cuando tenía 30 años, llevó a cabo un experimento que reveló que algo aterrador estaba sucediendo sobre nuestras cabezas.

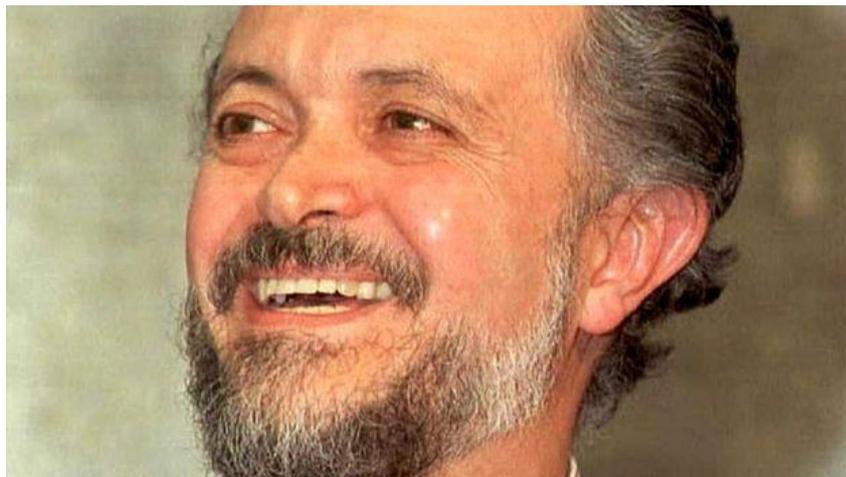
Lo que descubrió eventualmente llevó a esta noticia: *Científicos hallaron evidencia clara de que el adelgazamiento de la capa de ozono sobre Antártica está revirtiéndose, gracias a la eliminación de las sustancias que la destruyen.* BBC Noticias, 30 junio 2016

Pero hubo que esperar décadas para escuchar estas buenas nuevas de junio de este año: la capa de ozono, lo único que hay entre nosotros y la radiación mortal, después de mucho tiempo empezó a sanarse del daño que le habíamos hecho.

### ▪ **¿Cuáles son las razones por las que la capa de ozono se está "sanando"?**

¿Cómo? **Es una gran historia:** una que prefigura el drama de la política del cambio climático, que implica el avance de la ciencia, la resistencia de la industria, los temores sobre el caos económico y muchas y tortuosas negociaciones.

Y todo comienza con **Mario Molina, un científico ganador del premio Nobel, quien nació en México y se mudó a Estados Unidos** a trabajar en la Universidad de California, Irvine.



Derechos de autor de la imagen GETTY IMAGES

Mario José Molina-Pasquel Henríquez se convirtió en 1995 en la primera persona nacida en México en recibir el Premio Nobel de Química.



Fue junto con su supervisor Frank Sherwood Rowland, apodado "Sherry", que a mediados de la década de los 70 empezó a estudiar un grupo particular de **químicos llamados clorofluorocarbonos o CFCs**, uno de los químicos inventados en la llamada era del descubrimiento de principios del siglo XX.

*DuPont transforma materiales naturales en químicos para hacer artículos que necesitamos y deseamos. Eso no se hace con un poder mágico sino con el trabajo de diligentes químicos. Publicidad de la época.*

Y entre todos esos productos que los diligentes químicos inventaban, los CFCs eran considerados los más revolucionarios.

Esos "químicos milagrosos" iban a cambiar la manera en la que vivíamos; absorbían calor y no eran tóxicos como los compuestos venenosos que venían a reemplazar. **"Se convirtieron en un éxito industrial", recuerda Molina.**

"Se usaban en aerosoles y eso se volvió un gran negocio, de manera que cantidades significativas de estos químicos industriales usados a principios del siglo pasado fueron liberados a la atmósfera".

- **Hallan cuatro nuevos gases artificiales que dañan la capa de ozono**



Derechos de autor de la imagen THINKSTOCK

La idea de que el desodorante que usabas estaba afectando la estratosfera no era la más intuitiva.

En esa época los científicos ya sabían que cuando los CFCs de las neveras o los aerosoles eran liberados, se elevaban a través de la atmósfera de la Tierra hasta llegar a la capa de ozono. Lo que Molina quería averiguar era **qué sucedía después**.

"Nos tomó apenas unos pocos meses darnos cuenta de que había un problema potencial... uno muy serio".



Una serie de experimentos que Rowland y Molina llevaron a cabo en su laboratorio revelaron que cuando los químicos del CFC llegaban a la estratósfera y la radiación del sol los destruía, liberaban átomos de cloro. Y no sólo eso...



Derechos de autor de la imagen THINKSTOCK

Descubrir que la destrucción de los CFC liberaba cloro alarmó a los científicos.

"Sabíamos, por nuestras investigaciones, que **un solo átomo de cloro podía, en principio, destruir miles de moléculas de ozono**".

Lo que habían descubierto era tan aterrador que al principio pensaron que estaban cometiendo un error.

"Recuerdo que dije: '¡Ay, parece una locura! Mejor chequeo de nuevo'".

Y lo hizo. Una y otra vez. Y todas las veces obtuvo el mismo resultado.

#### ▪ Peligro de cáncer

Todo indicaba que los químicos que se usaban como refrigeradores, aerosoles, aire acondicionado, pinturas y más en todo el mundo estaban destruyendo la capa de ozono. Eso significaba que **el riesgo de que a millones de personas les diera cáncer de la piel era más grande**.

Derechos de autor de la imagen THINKSTOCK  
Un hueco en el cielo representaba un gran riesgo para los humanos y los animales.





En 1974, Molina y Rowland publicaron un artículo describiendo su hallazgo. **La ciencia era rigurosa y la amenaza, obvia.** La reacción esperada fue de horror instantáneo y, poco después, iniciaron los llamados a encontrar una solución. En vez de eso...

"Algunos científicos lo cuestionaron como una idea potencialmente loca. Y los del mundo industrial declararon que no iban a dejar de producir esos químicos sólo porque alguien postulaba que podían hacer algún daño", cuenta Molina. Pero no se dieron por vencidos.



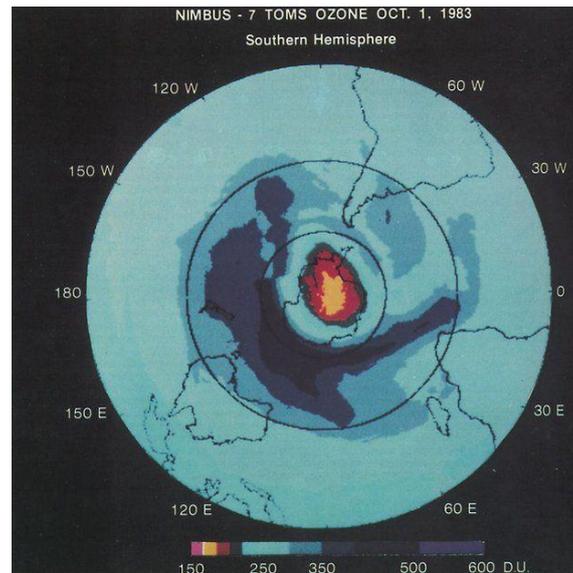
Derechos de autor de la imagen THINKSTOCK  
De la nevera a la estratósfera... difícil de creer inicialmente.

Hicieron algo que hoy en día es habitual pero que, en ese entonces, entre los científicos, era poco común: hablaron con periodistas, políticos, estudiantes, otros científicos... con quienquiera que estuviera dispuesto a escucharlos. Lo que se necesitaba eran pruebas. Pruebas que vinieran de más allá del laboratorio. Mucho más allá: de la estratosfera.

Y en 1984, eso es lo que consiguieron.

- **El hueco ignorado por los satélites**

Un equipo de científicos fue a la Antártica, donde habían estado midiendo los niveles de ozono por más de 30 años y recibiendo resultados extraordinarios.



Derechos de autor de la imagen NASA

En agosto de 1985, en una reunión en Praga, el científico atmosférico de la NASA Pawan Bhartia presentó esta imagen que reveló por primera vez la magnitud del hueco en la capa de ozono.

En 1985 publicaron sus conclusiones: habían descubierto un hueco gigante en la capa de ozono. Y algo que también resultaba preocupante: que los satélites de la NASA no lo habían detectado.

"Lo que pasó fue que los satélites habían sido programados para descartar la información si registraban menos de la mitad de la cantidad natural de ozono, pues se asumía que la medición estaba errada", explica Molina. En otras palabras, **el daño era tan grave que los dispositivos no le daban crédito.**

"Por eso nadie se dio cuenta años antes". **Para Molina y Rowland, ésta era la evidencia que necesitaban de que los CFCs estaban destruyendo el ozono.**

Entretanto, los activistas no habían esperado por la evidencia. Para ellos, no había tiempo que perder.

#### ▪ La campaña

Hoy en día es más fácil lograr que la gente se preocupe por el planeta, pero en los años 80 la idea estaba apenas echando raíces.

En Londres, en la oficina principal de Friends of the Earth (FoE), hoy una red global ecológica enorme, trabajaban en ese entonces apenas siete personas, pero por ser una organización internacional ya tenían una cuota de influencia.

No obstante, persuadir a la gente de que se interesara por gases invisibles que estaban muy por encima de sus cabezas no era fácil.



Derechos de autor de la imagen THINKSTOCK

Es difícil comunicar la urgencia de solucionar un problema que está a tanta distancia de nuestras cabezas.

Lo lograron valiéndose de lo que el ecologista y escritor Jonathan Porritt -uno de los siete que trabajaban en esa oficina de FoE- llama **una "ley de campaña"**.

"Si algo toca el cuerpo humano directamente, llama más la atención que algo que sucede lejos".

Así que a pesar de que el volumen de los CFCs que se usaban como refrigerantes y con otros propósitos industriales era mucho mayor al que se utilizaba en los aerosoles, fueron estos últimos los protagonistas de la campaña. **"El acto físico de presionar la boquilla rociadora para que saliera el espray de un desodorante hacía que la gente se enfocara en lo que liberaba en el medio ambiente"**, le explica a la BBC.

Aunque la campaña fue hecha antes de la era de las redes sociales, y se tenían que valer de panfletos que entregaban en las calles, lograron que la gente empezara a hablar del tema.

Y de repente, un golpe de suerte. "Un día me llamó uno de los activistas para decirme: **'¡Jonathan, esto es absolutamente maravilloso: la princesa Diana se unió a la campaña!'**".



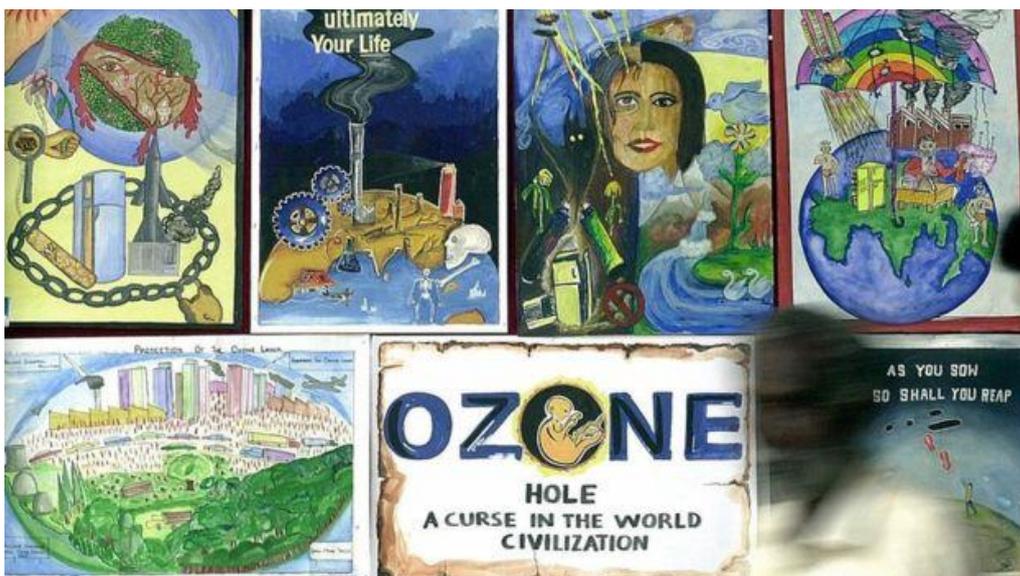
Derechos de autor de la imagen AP

La princesa Diana ya era una de las personas más influyentes del mundo. Su respaldo a una causa garantizaba cobertura mediática sostenida y la multiplicación del apoyo.

#### ▪ Las compañías

En todo el mundo, la presión sobre las firmas que producían CFCs estaba aumentando. Campañas de concientización que advertían sobre el riesgo de cáncer cutáneo y daños a la vista aparecían por TV y radio, en posters y botones.

En Japón, un coro de niños cantaba sobre los peligros del adelgazamiento del ozono; en Australia el que lo hacía era Sid, la gaviota cantarina.



Derechos de autor de la imagen GETTY IMAGES

Lo que ocurría en la estratósfera cautivó la imaginación de muchos en todo el mundo.



Todos hablaban del ozono, incluyendo los políticos, que ya estaban en conversaciones con las grandes compañías químicas. La posibilidad de establecer una regulación estaba ya sobre la mesa y **los productores de CFCs no se podían quedar con los brazos cruzados.**

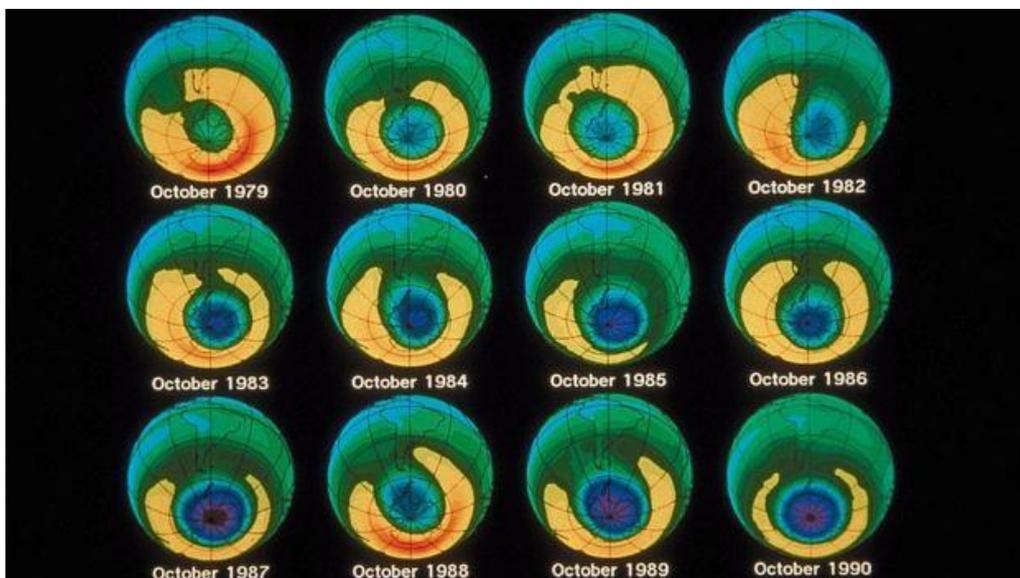
No obstante, la posición de firmas como Imperial Chemical Industries (ICI), la mayor manufacturera de químicos británica, era que había que esperar a que la evidencia científica fuera clara.

"Podríamos suspender la producción de un día para otro y, en el contexto general de ICI, no les restaría mucho a nuestras ganancias", declaró un ejecutivo de la empresa en ese entonces. "Afectaría el empleo de varios miles de personas, pero lo más importante sería el efecto en nuestros clientes y la vida en general. **Toda la industria de distribución de alimentos, la industria de bienes perecederos, la industria de bienes eléctricos cesaría de repente**", advirtió.

Con el descubrimiento del hueco sobre Antártica todo cambió.

#### ▪ La política internacional

A finales de la década de los 80, las grandes firmas de químicos habían aceptado que los CFCs estaban destruyendo el ozono. Tenían alternativas listas, pero eran mucho más costosas, por lo que temían que los clientes no las comprarán. Así que no suspendieron la producción: **ninguna quería ser la primera.**



Derechos de autor de la imagen NASA  
Imágenes de la tragedia.

Se necesitaba algo que pudiera forzarlas a hacerlo, y la ONU le encargó esa misión a Iwona Rummel Bulska, una abogada polaca, y a Mostafa Tolba, un carismático científico egipcio.



Las primeras reuniones no fueron alentadoras. **"Francia y varios otros países decían '¿De qué están hablando? No hay ningún problema grave'", recuerda Rummel.**

No obstante, la abogada y el científico encargados de crear un tratado para prohibir los CFCs estaban decididos a hacerlo.

Concertaron reuniones en Ginebra, Viena y Londres. Eran charlas relajadas e informales con una característica clave: no tenían que terminar con ningún acuerdo. "Los invitados no venían como miembros oficiales de las delegaciones pues **el tema era tan delicado que tenían que poder hablar abiertamente**", cuenta Rummel.

#### ▪ El principio de precaución

Lo primero que trataron de hacer fue cerrar la brecha entre Estados Unidos -que quería una prohibición total- y los europeos, que preferían ir más despacio y esperar a que se recolectara más información científica.

Fue entonces que la ONU adoptó una estrategia distinta: crearon el principio de precaución. **"Incluso si no se cuenta con el 100% de certeza científica, es mejor prevenir que tratar de compensar después, pues no se puede reponer la capa de ozono en la estratósfera"**, le explica la abogada a la BBC. Ese argumento surtió efecto.



Derechos de autor de la imagen THINKSTOCK

A pesar de que todos estaban ya conscientes del problema, al principio fue difícil conciliar posiciones.

En 1987, la ONU decidió que **era hora de intentar establecer un tratado**. En septiembre, delegados de todo el mundo asistieron a dos semanas de negociaciones en Montreal. Todo el trabajo de preparación que el equipo de Tolba y Rummel había hecho dio resultado: **los delegados no sólo se conocían entre ellos, sino que se tenían confianza**.



En todo caso, hasta el último minuto, los funcionarios estuvieron modificando y añadiendo cosas. No fue sino hasta el final del último día de la conferencia que terminaron el borrador del acuerdo.

Un acuerdo que tuvo que ser rápidamente traducido a seis idiomas... cuando no había computadoras, y que tenía que ser firmado, en el lugar indicado.

"Estábamos tan cansados que los delegados firmaban en la página que no era o se llevaban el bolígrafo y me tocaba salir a perseguirlos", recuerda Rummel. De alguna manera, en medio del caos, lo lograron: **crearon un tratado que muchos describen como el más exitoso acuerdo internacional de medioambiente alcanzado jamás.**



Derechos de autor de la imagen THINKSTOCK  
Fue caótico y costó trabajo, pero valió la pena.

#### ▪ Sólo el principio

Acordaron cortar **50% de CFCs y químicos relacionados en 12 años**. Nada parecido había sido firmado hasta entonces. Pero ése no fue el final de la historia. Después de la firma del tratado en 1987, las reuniones continuaron, con objetivos más ambiciosos.

**Pocos años más tarde, acordaron aumentar la reducción de CFCs de 50% a 100% y hacerlo en 10 años**, no en los 12 estipulados originalmente.

Para no afectar a la industria química de una manera irreversible y convencerla de que cooperara, ofrecieron ventajas comerciales. Con las compañías químicas del mundo desarrollado a bordo, **el siguiente paso era convencer a países en desarrollo como China e India**, que apenas estaban empezando a usar CFCs para sus refrigeradores y aires acondicionados y, como es comprensible, eran reacios a la idea de dejarlos de lado.



Derechos de autor de la imagen THINKSTOCK

A pesar del esfuerzo con los CFCs, el aire acondicionado se sigue pagando caro, en términos medioambientales.

"Estaban de acuerdo con que algo se tenía que hacer, pero había sido el mundo industrializado principalmente el que había causado el problema", explica María Nolan, quien en los años 90 fue una de las encargadas de que se cumpliera el acuerdo.

"Teníamos que encontrar una manera razonable de manejar el asunto". **Se les ocurrió entonces una ingeniosa idea:** los países industrializados debían financiar proyectos en el mundo en desarrollo que ayudaran a encontrar alternativas a los CFCs. **Asombrosamente, todos estuvieron de acuerdo.**

Así nació el Fondo Multilateral para la Implementación del Protocolo de Montreal, el primero de este tipo, y desde su creación ha invertido más de US\$3.000 millones.

Con ese apoyo financiero, más y más países en desarrollo firmaron el protocolo: 147 en total.

**Y ése tampoco es el final feliz de la historia.** En las décadas desde que el Protocolo de Montreal fue firmado, ha habido más reuniones y más acuerdos; más países lo han suscrito y más químicos han sido prohibidos.



Derechos de autor de la imagen AFP

La misión continúa: reunión de los signatarios del Protocolo de Montreal en Kigali, el 14 de octubre pasado (2016).

De hecho, el más reciente fue en Ruanda hace apenas unas semanas, y la noticia fue: *"Casi 200 países llegaron a un acuerdo para reducir emisiones de gases de efecto invernadero, suspendiendo el uso de HFCs, ampliamente usados en neveras, aerosoles y unidades de aire acondicionado"*.

Irónicamente, los HFCs fueron introducidos como una alternativa a los CFCs, pero resultó que contribuyen al calentamiento global. Ahora van a ser eliminados progresivamente.

*"El acuerdo podría evitar medio grado centígrado de calentamiento. Teniendo en cuenta que estamos tratando de restringir el calentamiento a 2 grados, esto representaría el 25% del objetivo"*.

**El tratado del ozono sigue en uso. No es un documento histórico sino un acuerdo vivo.**

**Y, hasta el momento, es el único tratado que ha sido ratificado por todos los países del mundo.**



## ACTIVIDADES

- 1.- ¿El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) siempre es un contaminante del aire o se considera un contaminante en determinadas circunstancias? ¿Es importante la definición de contaminante a la hora de regular emisiones o legislar (promulgar leyes)? Propón una definición de contaminante coherente con tus respuestas anteriores.
- 2.- Propón dos ejemplos de fuentes de contaminación del aire naturales. Comenta algunos casos de contaminación del aire de origen antropogénico que te afecten directamente.
- 3.- Propón al menos tres cosas que podrías hacer para disminuir la contaminación atmosférica. En tu vida cotidiana, ¿las cumples?
- 4.- ¿Qué quiere decir que un gas es inerte? ¿Por qué crees que el porcentaje de gases en la atmósfera se da en volumen? ¿Qué significa que algo “a nivel de trazas”? Pon un ejemplo real de esto último.
- 5.- Busca en Internet datos recientes de la calidad del aire de tu ciudad e indica: la fecha a la que corresponden los datos, cuáles son los contaminantes para los que has obtenido valores, los valores encontrados para ellos y los valores límite de referencia. Teniendo en cuenta los datos aportados, ¿cómo es la calidad del aire en tu ciudad?
- 6.- Comenta la siguiente frase, aportando ejemplos: “una misma sustancia puede ser un contaminante o no en función de su concentración y/o su localización en la atmósfera”.
- 7.- Investiga y nombra todos los gases de efecto invernadero (GEI) que encuentres, escribe sus fórmulas y explica cuáles son las principales fuentes antropogénicas de estos gases.
- 8.- ¿Por qué se toma el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) como referencia para establecer el potencial de calentamiento global (GWP) de los demás? ¿Cuál es el gas de efecto invernadero (GEI) que más contribuye a este fenómeno? ¿Cuál es su origen?
- 9.- ¿Cuáles serían las principales medidas a adoptar para combatir el calentamiento global o cambio climático?
- 10.- En relación con la destrucción de la capa de ozono y la lluvia ácida, indica cuáles son los contaminantes responsables en cada caso y cuáles son las principales consecuencias de cada uno de estos fenómenos.



Materia	Criterio de evaluación	Instrumento
CAAP4°ESO	B2C2. Contrastar en qué consisten los distintos efectos medioambientales tales como la lluvia ácida, el efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono y el cambio climático.	Actividad B2C2/1

Elabora un **informe completo sobre el efecto invernadero** donde desarrolles los siguientes asuntos:

1. En qué consiste.
2. Cuál es su origen (qué lo provoca, cuáles son los contaminantes responsables).
3. Qué consecuencias tiene para el medio ambiente y para las personas.
4. Medidas para evitarlo o reducirlo.
5. Situación actual y previsiones para el futuro.
6. Conclusión con tu opinión personal.

El informe constará de portada, índice, desarrollo de los asuntos a tratar y fuentes de información (libros, revistas, webs, etc.)



Materia	Criterio de evaluación	Instrumento
CAAP4°ESO	B2C2. Contrastar en qué consisten los distintos efectos medioambientales tales como la lluvia ácida, el efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono y el cambio climático.	Actividad B2C2/2

Elabora un **informe completo sobre el calentamiento global y el cambio climático** donde desarrolles los siguientes asuntos:

1. En qué consiste.
2. Cuál es su origen (qué lo provoca, cuáles son los contaminantes responsables).
3. Qué consecuencias tiene para el medio ambiente y para las personas.
4. Medidas para evitarlo o reducirlo.
5. Situación actual y previsiones para el futuro.
6. Conclusión con tu opinión personal.

El informe constará de portada, índice, desarrollo de los asuntos a tratar y fuentes de información (libros, revistas, webs, etc.)



Materia	Criterio de evaluación	Instrumento
CAAP4°ESO	B2C2. Contrastar en qué consisten los distintos efectos medioambientales tales como la lluvia ácida, el efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono y el cambio climático.	Actividad B2C2/3

Elabora un **informe completo sobre la destrucción de la capa de ozono** donde desarrolles los siguientes asuntos:

1. En qué consiste.
2. Cuál es su origen (qué lo provoca, cuáles son los contaminantes responsables).
3. Qué consecuencias tiene para el medio ambiente y para las personas.
4. Medidas para evitarlo o reducirlo.
5. Situación actual y previsiones para el futuro.
6. Conclusión con tu opinión personal.

El informe constará de portada, índice, desarrollo de los asuntos a tratar y fuentes de información (libros, revistas, webs, etc.)



Materia	Criterio de evaluación	Instrumento
CAAP4°ESO	B2C2. Contrastar en qué consisten los distintos efectos medioambientales tales como la lluvia ácida, el efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono y el cambio climático.	Actividad B2C2/4

Elabora un **informe completo sobre la lluvia ácida** donde desarrolles los siguientes asuntos:

1. En qué consiste.
2. Cuál es su origen (qué lo provoca, cuáles son los contaminantes responsables).
3. Qué consecuencias tiene para el medio ambiente y para las personas.
4. Medidas para evitarlo o reducirlo.
5. Situación actual y previsiones para el futuro.
6. Conclusión con tu opinión personal.

El informe constará de portada, índice, desarrollo de los asuntos a tratar y fuentes de información (libros, revistas, webs, etc.)