

Unidad docente - Aprendiendo sobre el ozono

Con la colaboración de:



Universidade de Vigo

Licencia: Creative Commons Attribution 4.0 License.



Autoría: Juan Antonio Añel Cabanelas y Antonio Cid Samamed.

Competencias básicas a adquirir

- Comprender el medio ambiente que nos rodea.
- Reflexionar sobre el impacto del ser humano en el medio ambiente.
- Entender las técnicas de monitorización de la atmósfera.
- Medir, recopilar datos y procesarlos.
- Uso de nuevas tecnologías, aplicaciones y sistemas informáticos.

Objetivos

En esta unidad docente reflexionaremos sobre los siguientes conceptos:

- comprensión de la evolución de la contaminación atmosférica en nuestro planeta.
- Variaciones diarias de la contaminación y sus fuentes antropogénicas.
- Química del ozono.
- Posibilidades para medir el ozono.

Contenidos

1. Historia del descubrimiento del ozono
2. Precursores y fuentes del ozono en la troposfera
3. Ciclo de Chapman
4. Ciclos temporales del ozono
5. Medición del ozono
 - 5.1. Técnica tradicional de Schönbein
 - 5.1.1. Nivel avanzado
 - 5.1.2. Nivel básico
 - 5.2. Medición actual

Temporalización

4 horas de clase

Método

Entre otros se podrán utilizar las siguientes estrategias para un aprendizaje efectivo:

- Lecturas sobre el ozono.
- Visita a una estación de medición de calidad del aire.
- Uso Ozonómetros de mano.
- Trabajo en grupos de medición de ozono y comprobación con estaciones de mediciones cercanas.

Recursos

- Vídeo sobre técnica de medición tradicional del ozono <https://tv.uvigo.es/series/607ff5a3ca40eb00d41e93a3>
- Aplicación y software para dispositivos móviles (teléfonos, tablets) y ordenadores: <https://github.com/EPhysLab-UVigo/O3METER>
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.apercloud.o3meter&hl=en>
- Ramírez-González et al. (2020) <https://doi.org/10.5194/gc-3-99-2020>.
- Fabian y Dameris (2014) *Ozone in the Atmosphere*, Ed. Springer, 137 pp. ISBN: 978-3-642-54098-1.

Evaluación

- Conoce la historia del descubrimiento y medición del ozono.
- Conoce la estructura de la molécula de ozono.
- Conoce las reacciones que dan lugar a la formación y destrucción del ozono.
- Distingue entre ozono troposférico, estratosférico y capa de ozono.
- Identifica distintos aparatos y principios de medición del ozono.
- Es capaz de representar series de datos temporales de concentración de ozono.
- Identifica los ciclos temporales de concentración del ozono.
- Conoce los procedimientos de seguridad de los reactivos utilizados y las técnicas necesarias para fabricar papel ozonométrico.
- Es capaz de utilizar el software adicional disponible para medir la concentración de ozono en las tiras.
- Obtiene de forma independiente series de datos de ozono usando fuentes externas (disponibles en Internet) y es capaz de compararlas con los valores propios medidos.

Contenidos

1. Historia del descubrimiento del ozono

El descubrimiento del ozono (O_3) es atribuido tradicionalmente a Christian Schönbein, químico alemán-suizo, que en 1839 fue el primero en aislar dicho gas y nombrarlo (ozono es el término griego para «olor»). Anteriormente, en 1785 el químico holandés Martinus van Marum ya lo había detectado, pero sin llegar a percatarse de que se trataba de un gas no nombrado anteriormente. No obstante, la fórmula del ozono (O_3), no fue determinada hasta 1865.

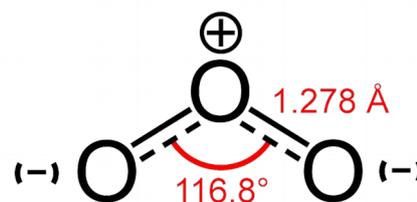


Figura 1: Fórmula estructural de la molécula de ozono. *Fuente:* Wikipedia. *Licencia:* Dominio Público.

Durante gran parte del siglo XIX el ozono fue considerado un gas con propiedades saludables, dado que su olor en cierta forma evocaba ambientes puros, con aire limpio. Es por ello que muchos observatorios en los cuales se medía ozono durante esta época están relacionados con escuelas de medicina y no tanto con observatorios meteorológicos.

En realidad el ozono puede provocar graves daños a la salud como consecuencia de exposición al mismo durante periodos largos de tiempo y en concentraciones suficientemente elevadas.

La mayor parte del ozono de nuestra atmósfera se encuentra en la estratosfera. Tan sólo un 10% del total se encuentra en la parte baja de la atmósfera, donde vivimos. El ozono interacciona además

con la radiación ultravioleta. Gracias a esta propiedad, en 1920 se logró determinar el espesor de la conocida como «capa de ozono» que se encuentra en la estratosfera.

2. Precursores y fuentes del ozono en la troposfera

En principio el origen del ozono es biogénico, de la misma forma que lo es el del oxígeno. Sin embargo, existen procesos antropogénicos que dan lugar a la formación de precursores del ozono. Estos procesos son las emisiones de los motores de combustión de los coches, procesos de quema para uso doméstico (por ejemplo calefacciones que pueden llegar a ser de carbón en algunas zonas del mundo) y emisiones de industrias. Los precursores del ozono a los que dan lugar son principalmente óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y compuestos orgánicos volátiles (VOCs).

La emisión de óxidos de nitrógeno puede provocar la creación de ozono siguiendo el siguiente mecanismo:

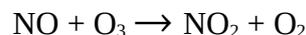


$h\nu$: constante de Planck multiplicada por la frecuencia de la radiación



M: aire

Sin embargo, el NO y el O₃ reaccionan entre ellos de forma muy rápida:



Esta reacción elimina el ozono de nuevo. Sin embargo el CO y los VOCs, que también se encuentran entre la mezcla de precursores, mediante un conjunto de reacciones dan lugar a que el NO se convierta en NO₂ sin llegar a eliminar O₃, de forma que la reacción inicial es la que domina el proceso, teniendo como resultado un aumento neto de las concentraciones de ozono.

3. Ciclo de Chapman

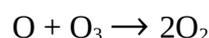
El ciclo de Chapman, nombrado así en honor al matemático y geofísico británico Sydney Chapman, quien lo propuso en 1930, es el proceso que explica la generación de ozono en la estratosfera de nuestro planeta. Se resume de la siguiente forma:



$h\nu$: constante de Planck multiplicada por la frecuencia de la radiación



M: aire



4. Ciclos temporales del ozono

Según muestran las reacciones es necesaria la existencia de radiación ultravioleta para que se inicie la cadena de reacciones de producción del ozono. Es por ello que el ozono troposférico tendrá un claro ciclo diario, con picos de máximos en su concentración durante el día y mínimos durante la noche. De igual forma, el mismo tendrá un ciclo estacional en las regiones extratropicales del planeta, con valores mayores durante los meses de verano y mínimos durante los de invierno.

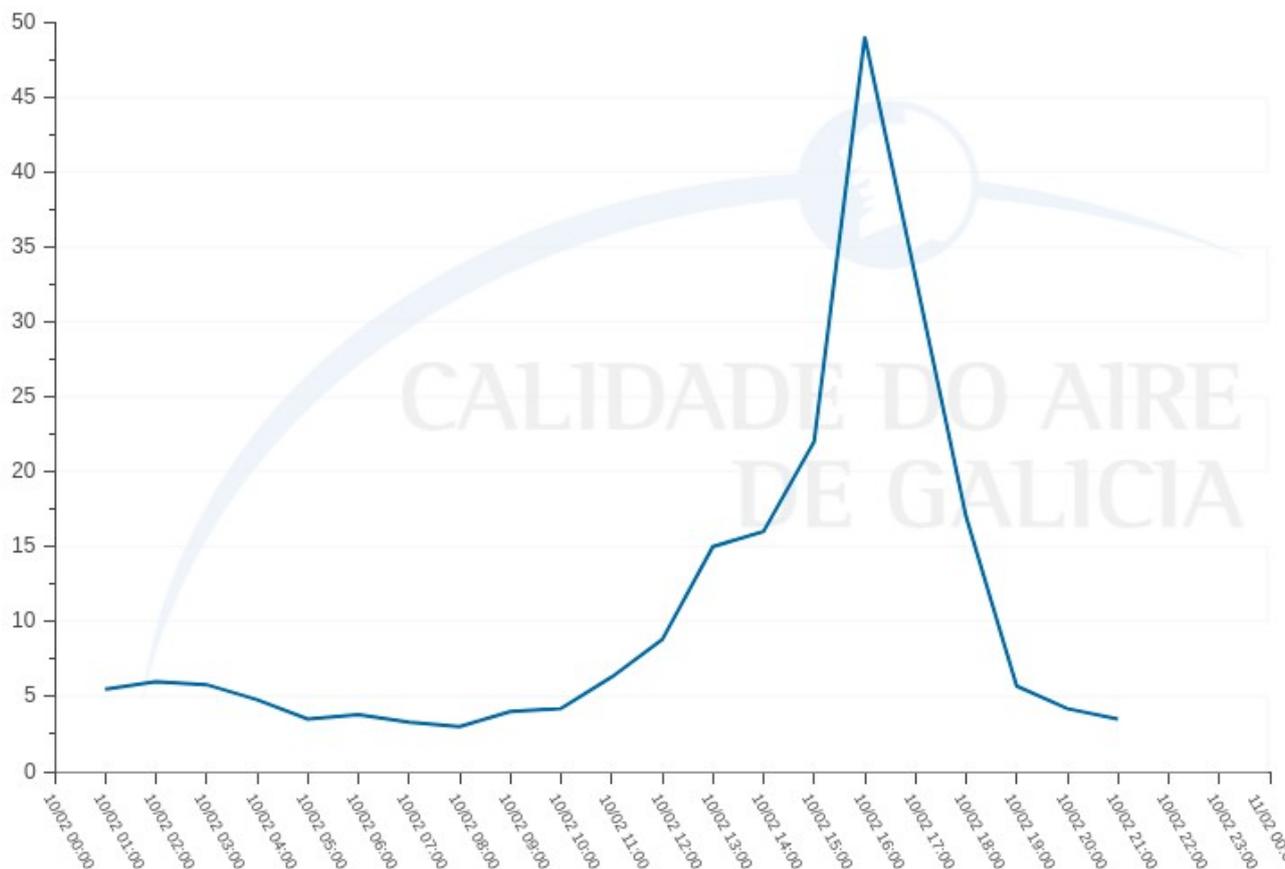


Figura 2: Ciclo diario del ozono en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Datos: Estación Gómez Franqueira (Ourense) (10/02/2022). Fuente: MeteoGalicia.

5. Medición del ozono

5.1. Técnica tradicional de Schönbein

Esta técnica recibe su nombre en honor a Christian Friedrich Schönbein (1799-1868), quien la desarrolló y también descubrió el O_3 . Es un método rudimentario basado en tiras de papel impregnadas con una solución de yoduro de potasio (KI) y almidón $((\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + (\text{H}_2\text{O}))$ en agua destilada. Existen varias versiones de la técnica, que varían en las concentraciones de almidón, KI y papel utilizado. Como resultado de estas diferentes concentraciones, en el siglo XIX se fabricaron varios tipos de tiras de papel para medir el O_3 , que tenían diferentes niveles de precisión. El producido por Jame de Sedan era tradicionalmente el más utilizado porque permitía la mayor precisión.



1 5 10
1 11 21

Figura 3: Escala de colores de medición de tiras de ozono. Los valores de 1 a 10 (fila superior) corresponden a la escala de Schönbein. Los valores de 1 a 21 (fila inferior) corresponde a la escala de Berigny.

La práctica se puede realizar en dos niveles, uno avanzado y otro básico. El avanzado implica además de realizar las medidas la fabricación del papel para realizarlas.

5.1.1. Nivel avanzado

Materiales necesarios	Instrumentación
Yoduro de potasio (KI)	Vaso de precipitados
Almidón ($C_6H_{10}O_5$)	Balanza
Papel de secado	Varilla
Agua destilada	Calentador removedor
Bolsas con autocierre	

Para fabricar el papel se siguen las instrucciones de Jame de Sedan, que fabricaba uno de los tipos de papel de medición más ampliamente utilizados en el siglo XIX. Para ello seguiremos los seis pasos siguientes (existe un vídeo sobre el procedimiento disponible en el listado de recursos de esta unidad docente):

1. Se vierten 100 mL de agua destilada en un vaso de precipitados, el cual se calienta hasta una temperatura de alrededor de 80 °C (se debe comprobar la temperatura con un termómetro sumergido para mayor exactitud).
2. Se añaden al vaso 10 g de almidón y se agita hasta obtener una mezcla gelatinosa, cuidando de que no hierva porque se podrían romper las cadenas de polisacáridos resultantes.
3. Se añade 1 g de KI y se agita hasta obtener una mezcla homogénea.
4. La mezcla resultante (ver Fig. 5) se deja enfriar en un lugar protegido de la luz solar. Cuando está fría impregnamos el papel de secado o las tiras de filtro con ella (por ejemplo, con un cepillo o sumergiéndolas) durante aproximadamente 6 horas y luego se retiran.



Figura 4: Elementos necesarios para la fabricación de la mezcla del papel de medición.

5. Después de esto, las tiras se retiran de la solución y se dejan secar horizontalmente durante 12 horas (también protegidas de la luz solar y en un ambiente sin O_3 porque ya son reactivas). Como alternativa se puede realizar el secado en un horno microondas, no obstante, el resultado no será tan bueno en cuanto a la distribución de la mezcla sobre el papel.
6. Cuando las tiras están secas, se guardan en bolsas con cierre automático.



Figura 5: Mezcla resultante con la que se impregnará el papel para fabricar las tiras de medición.



Una vez preparadas las tiras se procede a hacer las medidas. Debido a que se debe dejar secar las tiras, lo que no puede ocurrir en pocas horas con la técnica tradicional, se recomienda que la práctica de laboratorio se realice en este caso en dos días. El procedimiento de medición y recopilación de datos es sencillo. Consiste en exponer la tira al aire libre, protegida de la luz solar, durante 12 o 24 horas (en este caso puede ser preferible 24 horas por el horario de la jornada escolar). Luego, la tira se recoge y se humedece con agua destilada. Al hacer esto, cambia de blanco a púrpura azulado. El grado de coloración se compara con la escala dada (ver Fig. 3). Luego, los alumnos pueden medir el valor e ingresarlo en una hoja en blanco, que también proporcionamos (ver Tabla 1).

Figura 6: Tira de resultante de la que tomar la medición una vez expuesta durante 24 horas al aire exterior y tras haber sido sumergida en agua destilada.

Exposición		Recogida		Valores		
Fecha	Hora	Fecha	Hora	Visual	O3Meter	Observado

5.1.2. Nivel básico

Este nivel se diferencia del avanzado en la confección de las tiras. Evita la dificultad de acceder a todos los materiales y el trabajo de laboratorio necesario. Existe la opción de comprar las tiras a un proveedor (por ejemplo, Sigma-Aldrich “Potassium Iodide Starch Paper ref.37215”) y realizar las mediciones con ellas. De esta forma, incluso los alumnos de primer año de secundaria podrían realizar los experimentos (la Fig. 7 compara tiras hechas por nosotros con tiras disponibles comercialmente para resaltar las diferencias). El resto de la técnica es la misma que para el nivel avanzado.



Figura 7: Comparación entre tira de papel de medición fabricada siguiendo el procedimiento aquí expuesto (izquierda) con una provista comercialmente (derecha).



Figura 8: (Arriba) Estefanía Sakharyk Lysyk, alumna del IES Alcántara (Alcantarilla, Murcia, España), produciendo las tiras de medición en laboratorio. (Abajo) una de las tiras resultantes expuestas al aire.

5.2. Medición actual

Los medidores actuales de ozono, ampliamente extendidos en monitorización de calidad de aire, usan de forma generalizada el método de absorción ultravioleta a una longitud de onda de 254 nm. La técnica consiste simplemente en hacer pasar un pulso de luz a través de una muestra de aire que el aparato ha tomado tomado del exterior. Un fotodiodo al otro lado de la muestra hace una medición de la radiación que llega tras pasar por la muestra, dando un valor de ozono en función de la que haya sido absorbida.

Existen medidores más sencillos y asequibles que pueden servir para aplicaciones de un laboratorio docente, cuyo principio de medición es el denominado GSS (semiconductor sensible al gas).

Los valores de las medidas suelen venir dados en partes por billón (ppb) (nótese que el billón se refiere a la escala anglosajona) o $\mu\text{g}/\text{m}^3$, refiriéndose por tanto a la cantidad de ozono que hay en una muestra de aire.



Figura 9: (izquierda) ozonómetro de medida por semiconductor sensible al gas; (derecha) ozonómetro de medida por absorción ultravioleta.