

Unidade docente. Aprendermos sobre o ozono

Colaboración



Universidade de Vigo

Licenza: Creative Commons Attribution 4.0 License.



Autoría: Juan Antonio Añel Cabanelas e Antonio Cid Samamed.

Competencias básicas

- Comprender o medio ambiente que nos rodea
- Reflexionar sobre o impacto do ser humano no medio ambiente
- Entender as técnicas de monitorización da atmosfera
- Medir, recompilar datos e procesalos
- Usar novas tecnoloxías, aplicacións e sistemas informáticos

Obxectivos

Nesta unidade docente reflexionaremos sobre os seguintes conceptos:

- Comprensión da evolución da contaminación atmosférica no noso planeta
- Variacións diarias da contaminación e as súas fontes antropoxénicas
- Química do ozono
- Posibilidades para medir o ozono

Contidos

1. Historia do descubrimento do ozono
2. Precursores e fontes do ozono na troposfera
3. Ciclo de Chapman
4. Ciclos temporais do ozono
5. Medición do ozono
 - 5.1. Técnica tradicional de Schönbein
 - 5.1.1. Nivel avanzado
 - 5.1.2. Nivel básico
 - 5.2. Medición actual

Temporización

Catro horas de clase

Método

Entre outros, poderanse utilizar as seguintes estratexias para unha aprendizaxe efectiva:

- Lecturas sobre o ozono
- Visita a unha estación de medición de calidade do aire
- Uso de ozonómetros de man
- Traballo en grupos de medición de ozono e comprobación con estacións de medicións próximas

Recursos

- Vídeo sobre a técnica de medición tradicional do ozono
<https://tv.uvigo.es/series/607ff5a3ca40eb00d41e93a3>
- Aplicación e software para dispositivos móbiles (teléfonos, tabletas) e 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 e Dameris (2014): Ozone in the Atmosphere. Ed. Springer, 137.

Avaliación

- Coñecer a historia do descubrimento e da medición do ozono
- Saber a estrutura da molécula do ozono
- Coñecer as reaccións que dan lugar á formación e á destrución do ozono
- Distinguir entre ozono troposférico, estratosférico e capa de ozono
- Identificar distintos aparellos e principios de medición do ozono
- Ser capaz de representar series de datos temporais de concentración de ozono
- Identificar os ciclos temporais de concentración do ozono
- Coñecer os procedementos de seguridade dos reactivos utilizados e as técnicas necesarias para fabricar papel ozonométrico
- Ser capaz de utilizar o software adicional dispoñible para medir a concentración de ozono nas tiras
- Obter de forma independente series de datos de ozono mediante fontes externas (dispoñibles en internet) e ser capaz de comparalas cos valores propios medidos

Contidos

1. Historia do descubrimento do ozono

O descubrimento do ozono (O_3) atribúeselle tradicionalmente a Christian Schönbein, químico xermano-suízo, que en 1839 foi o primeiro en illar o citado gas e nomealo (ozono é o termo grego para 'olor'). Anteriormente, en 1785 o químico holandés Martinus van Marum xa o detectara, pero sen chegar a darse de conta de que se trataba dun gas non nomeado anteriormente. Porén, a fórmula do ozono (O_3) non se determinou ata 1865.

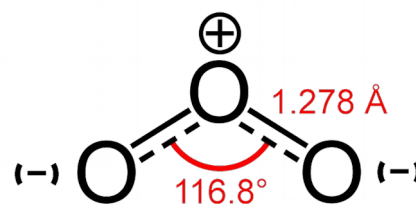


Figura 1. Fórmula estrutural da molécula de ozono. *Fonte:* Wikipedia. *Licenza:* dominio público.

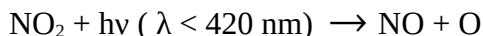
Durante gran parte do século XIX, o ozono considerouse un gas con propiedades saudables, xa que o seu cheiro evocaba dalgún xeito ambientes puros, con aire limpo. Por iso moitos observatorios nos que se mediu o ozono durante este tempo están relacionados coas facultades de medicina e non tanto cos observatorios meteorolóxicos. De feito, o ozono pode causar graves prexuízos para a saúde como consecuencia da exposición a el durante longos períodos de tempo e en concentracións suficientemente elevadas.

A maior parte do ozono da nosa atmosfera atópase na estratosfera. Só o 10 % do total se atopa na parte baixa da atmosfera, onde vivimos. O ozono tamén interactúa coa radiación ultravioleta. Grazas a esta propiedade, en 1920 foi posible determinar o grosor da chamada «capa de ozono» presente na estratosfera.

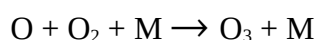
2. Precursores e fontes do ozono na troposfera

En principio, a orixe do ozono é bioxénica, do mesmo xeito ca a do osíxeno. Porén, existen procesos antropoxénicos que dan lugar á formación de precursores do ozono. Estes procesos son as emisións dos motores de combustión dos automóbiles, os procesos de queima para o uso doméstico (por exemplo, a calefacción que pode funcionar con carbón nalgunhas zonas do mundo) e as emisións das industrias. Os precursores do ozono que orixinan son principalmente óxidos de nitróxeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) e compostos orgánicos volátiles (COV).

A emisión de óxidos de nitróxeno pode provocar a creación de ozono seguindo este mecanismo:

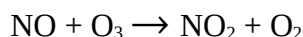


$h\nu$: constante de Planck multiplicada pola frecuencia da radiación



M: aire

Porén, o NO e o O₃ reaccionan entre eles de forma moi rápida:



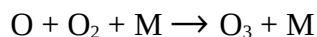
Esta reacción elimina o ozono de novo. Non obstante, o CO e os COV, que tamén se atopan na mestura de precursores, mediante un conxunto de reaccións, fan que o NO se converta en NO₂ sen eliminar o O₃, polo que a reacción inicial é a que domina o proceso, aumentando a concentración de ozono.

3. Ciclo de Chapman

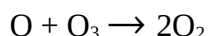
O ciclo de Chapman, que recibe o nome do matemático e xeofísico británico Sydney Chapman, que o propuxo en 1930, é o proceso que explica a xeración de ozono na estratosfera do noso planeta. Resúmese do seguinte xeito:



$h\nu$: constante de Planck multiplicada pola frecuencia da radiación



M: aire



4. Ciclos temporais do ozono

Segundo as reaccións, a existencia de radiación ultravioleta é necesaria para iniciar a cadea de reaccións de produción de ozono. Por iso o ozono troposférico terá un ciclo diario claro, con picos máximos de concentración durante o día e concentracións mínimas pola noite. Así mesmo, terá un ciclo estacional nas rexións extratropicais do planeta, con valores máis altos durante os meses do verán e valores mínimos durante os meses do inverno.

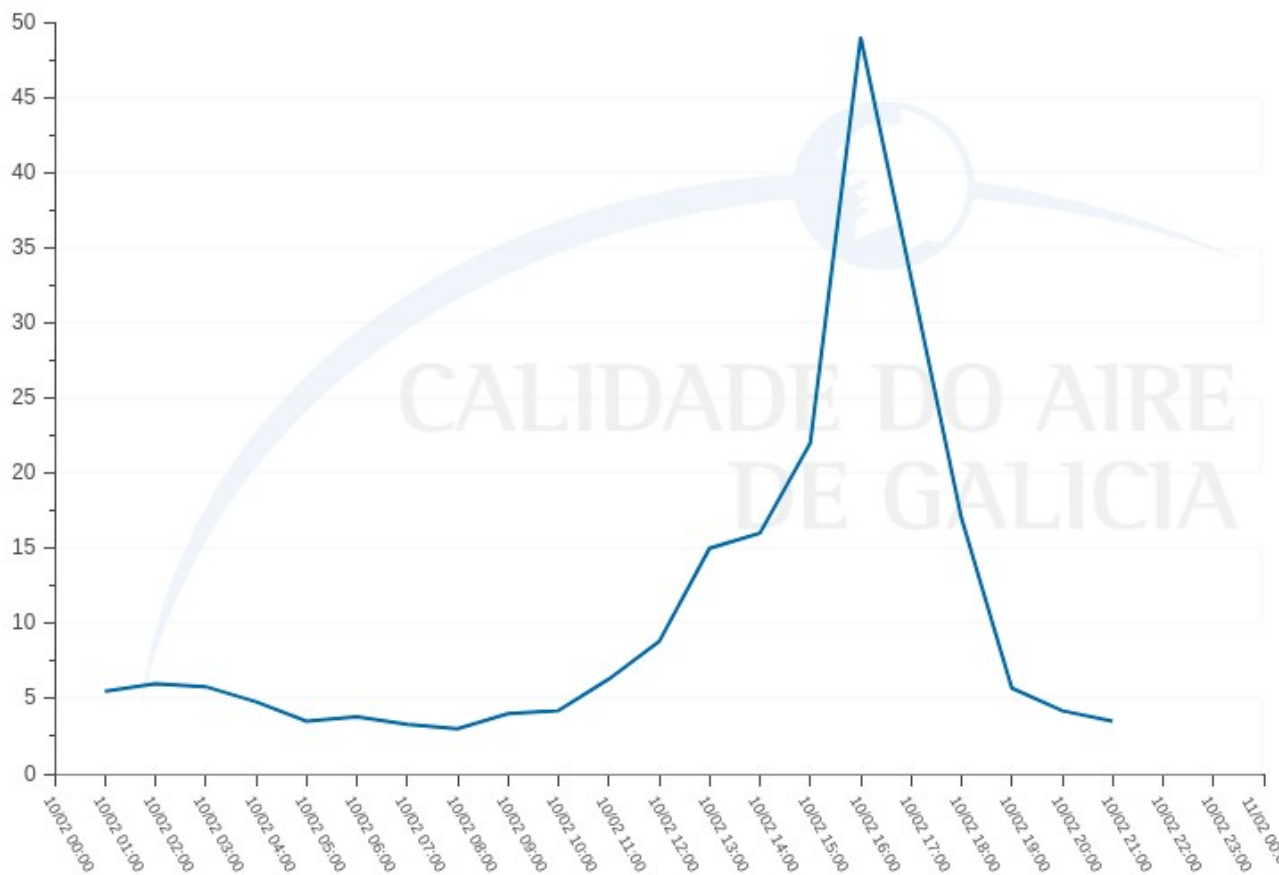
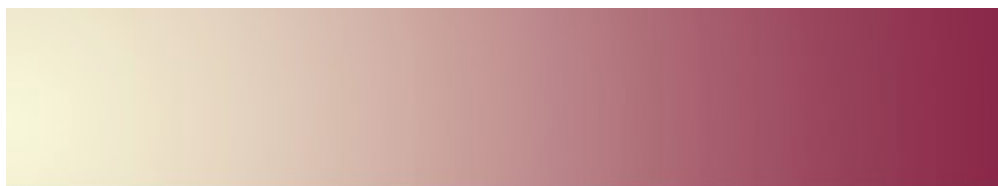


Figura 2. Ciclo diario do ozono en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Datos: Estación Gómez Franqueira (Ourense) (10/02/2022). Fonte: MeteoGalicia.

5. Medición do ozono

5.1. Técnica tradicional de Schönbein

Esta técnica leva o nome de Christian Friedrich Schönbein (1799-1868), quen a desenvolveu e tamén descubriu o O_3 . É un método rudimentario baseado en tiras de papel impregnadas cunha solución de ioduro de potasio (KI) e de amidón ($(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n + (\text{H}_2\text{O})$) en auga destilada. Existen varias versións da técnica, que varían nas concentracións de amidón, KI e papel empregados. Como consecuencia destas diferentes concentracións, no século XIX fabricáronse varios tipos de tiras de papel para medir O_3 , que tiñan distintos niveis de precisión. A producida por Jame de Sedan foi tradicionalmente a máis utilizada porque permitía a maior precisión.



1 5 10
1 11 21

Figura 3. Escala de cores de medición de tiras de ozono. Os valores de 1 ó 10 (fila superior) corresponden á escala de Schönbein. Os valores de 1 a 21 (fila inferior) corresponden á escala de Berigny

A práctica pódese realizar en dous niveis, uno avanzado e outro básico. O avanzado implica ademais de realizar as medidas, a fabricación do papel para realizalas.

5.1.1. Nivel avanzado

Materiais necesarios	Instrumentación
Ioduro de potasio (KI)	Vaso de precipitados
Amidón ($C_6H_{10}O_5$)	Balanza
Papel de secado	Variña
Auga destilada	Quentador remixedor
Bolsas con peche automático	

Para fabricar o papel, hai que seguir as instrucións de Jame de Sedan, que fixo un dos tipos de papel de medir máis utilizados no século XIX. Para iso seguiremos os seguintes seis pasos (hai un vídeo sobre o procedemento dispoñible na listaxe de recursos desta unidade didáctica):

1. Vértense 100 mL de auga destilada nun vaso de precipitados, que se quenta ata unha temperatura de arredor de 80 °C (a temperatura debe comprobarse cun termómetro inmerso para maior exactitude).
2. Engádeselle ao vaso 10 g de amidón. Remóvese ata obter unha mestura xelatinosa sen que ferva porque as cadeas de polisacáridos resultantes poderían romperse.
3. Engádese 1 g de KI e axítase ata obter unha mestura homoxénea.
4. A mestura resultante (véxase a figura 5) déixase arrefriar nun lugar protexido da luz solar. Cando esta fría impregnamos con ela o papel de secado ou as tiras de filtro (por exemplo, cun pincel ou mergullándoas durante 6 horas aproximadamente) e despois retíranse.



Figura 4. Elementos necesarios para fabricar a mestura do papel de medición

5. Despois diso, as tiras quíntanse da solución e déixanse secar horizontalmente durante 12 horas (tamén protexidas da luz solar e nun ambiente sen O_3 porque xa son reactivas). Como alternativa, o secado pódese realizar nun forno de microondas, pero o resultado non será tan bo en canto á distribución da mestura no papel.
6. Cando as tiras estean secas, gárdanse en bolsas con peche automático.



Figura 5. Mestura resultante ca que se impregnará o papel para fabricar as tiras de medición.



Unha vez preparadas as tiras, realízanse as medicións. Debido a que hai que deixar secar as tiras, cousa que non pode ocorrer en poucas horas coa técnica tradicional, recoméndase que, neste caso, se realice a práctica de laboratorio en dous días. O procedemento de medición e de recollida de datos é sinxelo. Consiste en expoñer a franxa ao aire libre, protexida da luz solar, durante 12 ou 24 horas (neste caso poden ser preferibles 24 horas debido á xornada lectiva). Despois recóllese a tira e humedécese con auga destilada. Ao facer isto, cambia de branco a violeta azulado. O grao de coloración compárase coa escala dada (véxase a figura 3). Despois, os alumnos e alumnas poden medir o valor e introducilo nunha folla en branco, que tamén proporcionamos (véxase a táboa 1).

Figura 6. Tira resultante da que tomar a medición unha vez exposta durante 24 horas ao aire exterior e tras ser inmersa en auga destilada

Tabla 1. Táboa de anotación						
Exposición		Recollida		Valores		
Data	Hora	Data	Hora	Visual	O3Meter	Observado

5.1.2. Nivel básico

Este nivel diferénciase do avanzado na elaboración das tiras. Evita a dificultade de acceder a todos os materiais e traballos de laboratorio necesarios. Existe a opción de mercarlle as tiras a un provedor (por exemplo, Sigma-Aldrich «Papel de amidón de ioduro de potasio ref. 37215») e realizar as medicións con elas. Deste xeito, mesmo os e as estudantes de primeiro de bacharelato poderían realizar os experimentos (a figura 7 compara tiras elaboradas por nós con tiras dispoñibles comercialmente para destacar as diferenzas). O resto da técnica é a mesma ca para o nivel avanzado.



Figura 7. Comparación entre a tira de papel de medición fabricada seguindo o procedemento aquí exposto (esquerda) e una provista comercialmente (dereita)



Figura 8. Estefanía Sakharyk Lysyk, alumna do IES Alcántara (Alcantarilla, Murcia, España), fabricando as tiras de medición no laboratorio (arriba). Unha das tiras resultantes expostas ao aire (abaixo)

5.2. Medición actual

Os medidores de ozono actuais, moi utilizados na vixilancia da calidade do aire, adoitan empregar o método de absorción ultravioleta a unha lonxitude de onda de 254 nm. A técnica consiste simplemente en facer pasar un pulso de luz a través dunha mostra de aire que o dispositivo tomou do exterior. Un fotodíodo do outro lado da mostra mide a radiación que chega despois de pasar pola mostra, e dá un valor de ozono en función do que foi absorbido.

Existen contadores máis sinxelos e económicos que se poden utilizar para aplicacións nun laboratorio de ensinanza, cuxo principio de medida é o denominado GSS (semiconductor sensible ao gas).

Os valores de medición adoitan indicarse en partes por billón (ppb) (teña en conta que o billón se refire á escala anglosaxoa) ou $\mu\text{g}/\text{m}^3$, polo que se refire á cantidade de ozono nunha mostra de aire.



Figura 9. Ozonómetro de medida por semiconductor sensible ó gas (esquerda). Ozonómetro de medida por absorción ultravioleta (dereita).