

EL CIELO AZUL Y UNA PUESTA DE SOL
(Una simulación química)



Jorge Yáñez González, profesor de Física y Química en el IES Sulayr (Pitres). Durante el curso 2016-17 trabajo en el IES Alpujarra (Órgiva)
e-mail de contacto: fyqenelsulayr@gmail.com

El color azul del cielo está relacionado directamente con la composición de la luz solar y la humedad presente de la atmósfera. Si dejamos pasar un rayo de sol por un prisma de vidrio la luz se abre en un abanico de colores (fenómeno denominado Dispersión) por Refracción de la luz. Como resultado de esta Dispersión se observa la gama de colores conocida en el Arco Iris: violeta, azul, cian, verde, amarillo, naranja y rojo. El color violeta es el que se separa más de la dirección del rayo incidente blanco y el color rojo el que menos. Por lo tanto, la desviación es máxima para los rayos de longitud de onda corta (violeta y azul), y mínima para los de longitud de onda larga (amarillos y rojos), que prácticamente no son desviados. Los rayos violetas y azules, una vez desviados, chocan con otras partículas suspendidas en el aire y nuevamente varían su trayectoria. Este proceso se realiza de forma sucesiva. Es decir, la radiación azul y violeta realiza un movimiento en zig-zag a lo largo de la atmósfera antes de alcanzar la superficie terrestre. Cuando esta radiación violeta y azul llega a nuestros ojos ya no parece venir directamente de su fuente, el Sol, sino que llega de todas las regiones del cielo. Esa es la razón por la que el cielo nos parece azul. Pero, *¿por qué el Sol aparece de color amarillo?...* Como se ha indicado al inicio, la radiación amarilla y roja sufre una desviación muy baja y llegan, prácticamente, en línea recta desde el Sol hasta nuestros ojos.

Pero entonces, según lo explicado, el color del cielo debería ser violeta por ser esta longitud de onda la más corta de todas y la que más se desvía. Sin embargo, no lo es por dos razones:

- La luz solar contiene más radiación azul que violeta.
- El ojo humano es más sensible a la luz azul que a la violeta.

Esta última idea nos lleva a otro punto interesante que veremos al final de este trabajo: *El color del cielo debe depender del ojo que mira.* En función de las características fisiológicas del ojo de las distintas especies para captar mayor o menor franja de radiación solar, el color del cielo se modificará.

1. Simulación química del cielo azul y de la puesta de Sol

Material:

- 2 vasos de precipitado.
- 1 recipiente de vidrio con paredes rectas para no producir deformaciones en la imagen.
- 1 linterna (con el haz de luz lo más focalizado posible).
- 1 soporte metálico.
- 1 pinza.
- Superficie blanca para la proyección (cartulina blanca).
- Varilla de vidrio.

Reactivos:

- Agua (H_2O).
- Ácido Clorhídrico (HCl).
- Tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$).

Procedimiento:

- En primer lugar, se prepara una disolución mezclando 2 g de tiosulfato de sodio en 200 mL de agua destilada. Esta disolución se coloca en el recipiente de paredes rectas.
- En segundo lugar, se prepara una disolución con 6,5 g de ácido clorhídrico (37%) y se completa hasta 250 mL de agua.

- Se coloca el soporte con la luz, el recipiente con la disolución y la pantalla blanca de tal forma que un haz de luz atraviese la disolución y se proyecte sobre la pantalla.
- Se añaden la disolución de ácido clorhídrico a la disolución de tiosulfato de sodio, se agita y se observa lo que ocurre.

¿Qué se observa?

Al poco tiempo, la disolución empieza a enturbiarse y se hace visible un cono azul procedente de la luz dispersada (cono Tyndall*). Ese sería nuestro cielo químico. La luz transmitida empieza a proyectarse en la pantalla de color anaranjado. Según transcurre el tiempo y se va produciendo más azufre, la proyección va cambiando hacia tonalidades anaranjadas hasta que al final desaparece totalmente. Esa sería nuestra puesta de Sol química.



Luz dispersada por efecto Tyndall



Luz transmitida

* Nombre en honor a John Tyndal (1820-1893) físico irlandés que realizó importantes estudios sobre coloides.

Reacción química implicada:



¿Por qué ocurre lo que observamos?

Al añadir ácido clorhídrico al tiosulfato de sodio se forma, entre otros productos, azufre elemental. Este azufre es una sustancia coloidal. Un coloide es un sistema generalmente formado por dos o más fases. Una fase es normalmente fluida y la otra está dispersa en forma de partículas generalmente sólidas muy finas, de diámetro comprendido entre 10^{-9} y 10^{-5} m. Los sistemas coloidales son disoluciones heterogéneas aunque a simple vista nos parezcan homogéneas.

En nuestro caso, el rayo de luz se hace visible en la disolución como un 'cono Tyndall' azulado debido a la luz dispersada por las partículas del coloide. La luz azul es dispersada más eficazmente que la roja, de manera que la luz transmitida que alcanza la pantalla se vuelve roja y luego pierde intensidad gradualmente. Conforme las partículas del coloide aumentan su concentración, se llega a obstruir toda la luz transmitida. Esto es lo que provoca un efecto parecido al de una puesta de Sol. Inicialmente observamos la tonalidad anaranjada del nuestro 'Sol químico' que gradualmente se va apagando produciendo la 'puesta de Sol química'. Finalizada la reacción química, podemos observar que la disolución presenta una tonalidad lechosa procedente del azufre formado.

2. Para saber más

Otra explicación para el cielo azul

Una explicación más profunda, pero que alcanza la misma conclusión, requiere basarse en la interacción entre la radiación electromagnética y la materia en forma de átomos. Por un lado, la luz es una onda electromagnética, y por otro, la atmósfera está llena de partículas que poseen un tamaño igual o inferior al de la longitud de onda de la luz incidente (como por ejemplo, átomos aislados o pequeñas moléculas). En la interacción entre la luz y la materia, la onda luminosa cede parte de su energía a la corteza atómica de la partícula que comienza a oscilar. Es decir, la radiación luminosa incidente se debilita al ceder parte de su energía. Esta energía no se queda almacenada en la atmósfera, pues cualquier átomo o partícula pequeña cuya corteza se agita la acaba radiando en forma de onda electromagnética al entorno en cualquier dirección. Este proceso de cesión y remisión de energía por partículas de tamaño atómico se denomina *Difusión de RAYLEIGH* (en honor al físico británico y premio Nobel **John William Strutt** (1842-1919), tercer barón de Rayleigh). En su estudio, **Lord Rayleigh** determinó que la intensidad (**I**) de la luz dispersada por una pequeña partícula en un haz de luz de longitud de onda (**λ**) e intensidad (**I_0**) viene dada por:

$$I = I_0 \frac{(1 + \cos^2 \theta)}{2R^2} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right)^4 \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 \left(\frac{d}{2} \right)^6$$

Dónde **R** es la distancia a la partícula, **θ** es el ángulo de dispersión, **n** es el índice de refracción de la partícula y **d** es el diámetro de la partícula.

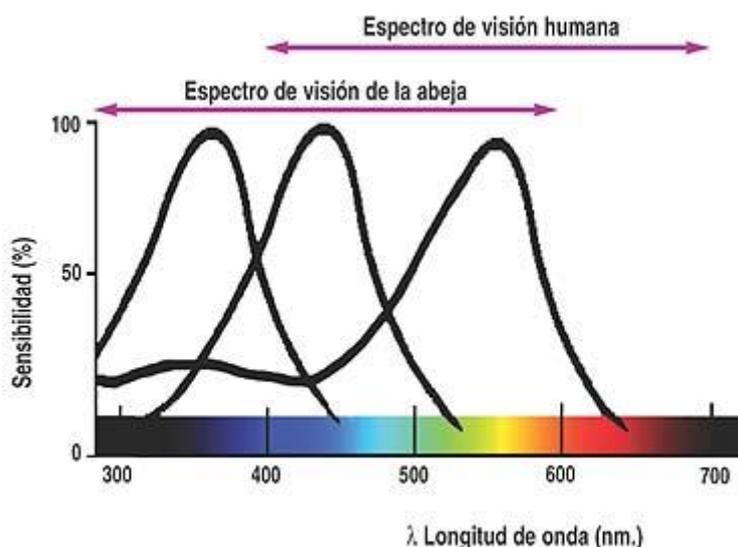
Como consecuencia de esta ecuación la luz dispersada es inversamente proporcional a la longitud de onda y llegamos a la misma conclusión. La radiación violeta (con menor longitud de onda) es la más difundida. La menos difundida será la radiación roja (por su mayor longitud de onda). El resultado es que la luz que nos llega desde el Sol en línea recta, al alcanzar la atmósfera, se difunde.

¿Y el agua del mar?... ¿Por qué es azul?...

Alguien podría comentar que es por la reflexión del cielo azul sobre ella. Lamentablemente, esta respuesta no es correcta y hay que buscarla en la explicación de color del cielo azul. En este caso, las moléculas de agua son las encargadas de producir la dispersión de la luz (igual que las moléculas del aire eran las responsables). Entonces, *¿por qué en un vaso el agua es transparente?...* Para producirse el fenómeno de la dispersión de la luz, es necesario tener una zona amplia de acción. Por ello, en el vaso no apreciamos este fenómeno pero en una piscina sí empieza a ser apreciable y en el caso del mar o el océano es completamente obvio.

¿El color del cielo depende del ojo que mira?

Como hemos indicado, el color violeta es el que más se desvía pero como nuestro ojo es más sensible a la luz azul, nuestra percepción del cielo toma esa tonalidad. *¿Qué ocurriría con otro ser vivo con distinta percepción?...* La siguiente imagen nos muestra la relación entre el ojo del ser humano y el de la abeja.



Como se observa en la imagen, el espectro de visión de la abeja está desplazado más hacia la zona del violeta y el ultravioleta, por lo tanto, su observación del cielo debe ser significativamente diferente a la del ser humano. Sería un cielo más violeta.

Dismutación

La dismutación o desproporción, es un fenómeno químico que se produce en toda reacción de oxidación-reducción donde un elemento es al mismo tiempo oxidado y reducido.

En general, los tiosulfatos son las sales del ácido tiosulfúrico ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$), que se obtiene a partir de oxoácido correspondiente, sustituyendo átomos de oxígeno por átomos de azufre. De manera específica, esta sustancia surge al sustituir un grupo oxo (O^{2-}) del ácido sulfúrico (H_2SO_4) por un grupo sulfuro (S^{2-}). En general, estas sales son estables en medios con pH básico y neutro y se descomponen formando azufre elemental (S), ácido sulfhídrico (H_2S), dióxido de azufre (SO_2) y trazas de otros compuestos azufrados en presencia de medios ácidos (que en nuestro caso es el ácido clorhídrico).

Por lo tanto, la reacción es más complicada respecto a los productos de azufre que la que se ha indicado al inicio pero para la finalidad de la experiencia es suficiente.

3. Otras opciones para el desarrollo didáctico de la actividad

A esta propuesta didáctica, se le pueden añadir los siguientes elementos para completarla:

- Estudiar el efecto de la concentración en la velocidad de la reacción. Fijando la concentración de uno de los reactivos, por ejemplo del tiosulfato de sodio, se puede comprobar la influencia de la concentración de ácido clorhídrico. *¿Existe relación directa entre la concentración y la velocidad? Por ejemplo, ¿duplicar la concentración de ácido clorhídrico produce doblar la velocidad?*
- Estudiar el efecto de la luz empleada en la experiencia. *¿Es lo mismo una lámpara LED (como la utilizada en el vídeo), que una bombilla de resistencia o una de bajo consumo?... ¿Cómo es el 'cielo químico'?... ¿y la 'puesta de Sol química'?...*
- Se puede utilizar un fotómetro sobre la luz transmitida para monitorizar la 'puesta de Sol química'.

Bibliografía

Experimentos de Química clásica. The Royal Society of Chemistry. Editorial Síntesis S.A.

Química Inorgánica. Nomenclatura y formulación. Normas de la IUPAC 2005. Grupo editorial Luis Vives. 2013.