

Avogadro en la ducha

Cualquier lugar es bueno para pensar en física. Al menos, esa es mi filosofía de vida. Hasta el sofocante vapor de agua que inunda nuestro baño mientras nos damos una buena ducha caliente puede despertar alguna reflexión interesante. Por ejemplo ¿qué pesa más, el aire relativamente seco que llena el baño antes de prender la ducha, o el aire saturado de vapor que se produce después? Para ser más precisos ¿en cual de estos dos casos el aire es más denso?

Como sabe cualquier persona que haya padecido un curso de ciencias naturales, el aire que respiramos es un gas formado por aproximadamente un 20% de oxígeno molecular (O_2), y un 80% de nitrógeno molecular (N_2). La palabra *molecular* significa simplemente que los átomos de oxígeno y nitrógeno no se encuentran aislados en el aire, sino que se presentan como moléculas, vale decir, como átomos enlazados químicamente. De la simple observación de sus formulas químicas es fácil advertir que la molécula de O_2 está compuesta por dos átomos de oxígeno, mientras que la molécula de N_2 se compone de dos átomos de nitrógeno. Por otra parte, las moléculas que forman el vapor de agua (H_2O) tienen una estructura un poco más complicada, que consiste de un átomo de oxígeno (O) ligado a dos átomos de hidrógeno (H_2).

¿Qué sucede cuando prendemos la ducha caliente? Pues notaremos como lentamente el baño comienza a ser inundado por el vapor de agua, el cual no es otra cosa que innumerables moléculas de H_2O que zangolotean en todas direcciones, y que no están enlazadas químicamente unas a otras, como sucede cuando el agua se encuentra en estado sólido o líquido. Supongamos ahora que la puerta del baño permanece cerrada mientras tomamos la ducha, y que la temperatura del aire antes de tomar el baño es la misma que después, cuando el vapor inunda el recinto. Como quedará claro enseguida, esta última suposición es indispensable para llevar a feliz término nuestra discusión. Ahora bien, después de mantener encendida la ducha unos cuantos minutos, y mientras el vapor se hace cada vez más abundante, observaremos que el aire seco comienza a ser reemplazado por vapor, hasta que se alcanza una situación de equilibrio en la cual el baño se encuentra saturado y ya no es posible aumentar la cantidad de vapor puesto que este comienza a escapar por las ranuras de las puertas o ventanas en la misma proporción en que es producido.

Hablemos un poco acerca de la ecuación de estado de los gases ideales. A partir de esta ecuación, que por cierto es sumamente simple (ver apéndice), es posible inferir la conocida *ley de Avogadro*, llamada así en honor de su descubridor, el ilustre físico italiano Amadeo Avogadro. De acuerdo a esta ley, volúmenes iguales de diferentes gases ideales, que se encuentren a la misma presión y temperatura, contienen el mismo número de moléculas¹. El calificativo de *ideal* se refiera a aquellos gases que tienen una densidad muy baja, de modo que la distancia media que separa a sus moléculas es bastante grande. Sucede que tanto el aire seco como el vapor de agua pueden considerarse gases ideales, lo cual significa que la ley de Avogadro es aplicable en ambos casos. Una excelente noticia, por cierto, puesto que en esta sencilla ley se encuentra la clave para resolver el problema que nos ocupa. En efecto, suponiendo que la presión del aire seco es la misma que aquella que experimenta el aire saturado de vapor, y suponiendo también que la temperatura es la misma en ambos casos, cuestión que ya discutimos más atrás, entonces podemos afirmar que la cantidad de moléculas presentes en el baño es la misma antes y después

¹ Conviene aclarar que Avogadro no obtuvo su ley en la forma que aquí es sugerida. Sin embargo, desde un punto de vista pedagógico resulta muy conveniente introducir dicha ley como una consecuencia directa de la ecuación de estado de los gases ideales. Para satisfacer a aquellos lectores interesados por la historia, digamos que Avogadro encontró la aludida relación basándose en la ley volumétrica de Gay-Lussac y en la teoría atómica de Dalton. No obstante, de no ser por su férrea creencia en la sencillez fundamental de las leyes naturales, que orientó en todo momento sus reflexiones, Avogadro jamás hubiese alcanzado a su gran resultado.

de prender la ducha. Concluimos, por tanto, que el gas más denso será aquel cuyos átomos tengan mayor masa. ¿Cuáles son las masas del O₂, el N₂ y el H₂O?

En nuestros cursos de ciencias naturales también hemos aprendido que la materia se compone de átomos, los cuales constituyen la forma más pequeña en la que puede existir un elemento, conservando las propiedades físicas y químicas del mismo. Un átomo contiene una región central o *núcleo* que está compuesto por dos tipos de minúsculas partículas llamadas *protones* y *neutrones*; los primeros poseen carga eléctrica positiva, mientras que los últimos no poseen carga. En torno al núcleo, y a cierta distancia de aquel, se mueven con gran rapidez unas partículas aun más diminutas llamadas electrones, que tienen carga eléctrica negativa. La masa de los protones y neutrones es prácticamente la misma, y del orden de dos mil veces la masa del electrón, de modo que para nuestros propósitos podemos olvidarnos de la masa del electrón. Por otra parte, como mencionamos antes, una molécula no es más que un conjunto de átomos, iguales o distintos, ligados químicamente. Para caracterizar la masa de los distintos elementos es habitual introducir la denominada *masa atómica*, que podemos definir, sin mucho rigor, como el número de protones más el número de neutrones. La masa molecular se define en forma análoga, esto es, como el número de protones y neutrones que posee una molécula. Luego, conociendo la masa molecular del nitrógeno, el oxígeno y la molécula de agua, tendremos lo necesario para resolver nuestro acertijo.

Si tienes a mano una tabla periódica, y observas el casillero que corresponde al nitrógeno, descubrirás que la masa atómica de este elemento es igual a 14 (7 protones más 7 neutrones) y la del oxígeno es igual a 16 (8 protones más 8 neutrones). Pero el N₂ y el O₂ están compuestos por dos átomos cada uno, de manera que la masa molecular de la primera es 28 y la de la segunda es 32. En lo que respecta al vapor de agua, sus moléculas están compuestas por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno, el elemento más liviano en la naturaleza, cuya masa atómica es igual a 2. Luego, la masa molecular del H₂O es igual a 18, bastante menor que los valores encontrados para el N₂ y el O₂. Ya tenemos la respuesta. El aire saturado de vapor de agua tiene menor densidad que el aire seco. ¿Qué podemos concluir de todo esto? Pues bien, que mientras algunos disfrutan de la ducha entonando bellas canciones, otros, menos dotados para el canto, debemos conformarnos con pasar el tiempo bajo el agua resolviendo acertijos científicos.

¿Quieres saber más?

La ecuación de estado para un gas ideal se escribe en la forma:

$$PV = Nk_B T$$

donde P es la presión del gas, V su volumen, N el número de moléculas contenidas en V , k_B es la denominada *constante de Boltzman*, y T es la temperatura absoluta, que se expresa en una unidad denominada *Kelvin* (K). En el sistema internacional de unidades (SI) el valor de la constante de Boltzman es:

$$k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

La distancia entre cada grado en la escala Celsius es la misma que en la escala Kelvin. La diferencia radica en la elección del punto cero. La relación entre ambas escalas viene dada por la siguiente expresión:

$$\text{Temperatura Kelvin} = \text{Temperatura Celsius} + 273$$

Por lo tanto, a una temperatura de 0°C le corresponden 273 K . A partir de la ecuación de estado, se concluye en forma inmediata que para valores fijos de P , V y T , el número de moléculas es siempre el mismo para cualquier gas ideal. Si queremos determinar el valor de N para una habitación de 27m^3 , que es una buena estimación para el volumen de un baño, y suponiendo una temperatura de 20°C (293 K) y una presión de 1 atm , se obtiene:

$$N = \frac{PV}{k_B T} = \frac{10^5 \text{ Pa} \times 27\text{m}^3}{1,38 \times 10^{-23} \times 293\text{K}} = 6,67 \times 10^{26} \text{ moléculas}$$

donde hemos usado el hecho que $1\text{ atm} = 10^5\text{ Pa}$.

Jorge Pinochet I.

Licenciado en Física, Universidad Católica de Chile