

¿Por qué explotan las burbujas?

José Luis Rivera Rojas¹
Roberto Guerra González²

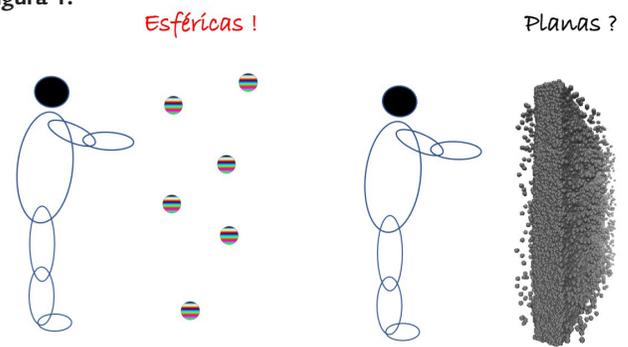
Las paredes de una burbuja están constituidas por un estado de la materia muy similar al que esperaríamos ver en un fluido como el agua líquida (Young, 2011). Este estado es temporal, es decir no dura mucho tiempo, por lo cual se les conoce como “estados metaestables” de la materia. Si estos se dejan libres de influencia como fuerzas externas, tenderán a transformarse en estados más estables, con propiedades ligeramente diferentes, como los del agua líquida o el vapor de agua.

¿Planas o esféricas?

Aunque las burbujas claramente son esféricas, muchos estudios científicos se facilitan si se estudia una parte de la pared de una burbuja y está se considera plana, y esto se hace debido al pequeño espesor de la pared de la burbuja con respecto al volumen que ocupa toda la burbuja. Si fuéramos muy pequeños, menor al tamaño del espesor de una burbuja y nos paráramos sobre su superficie, veríamos una superficie plana, como cuando nos paramos sobre la superficie de la tierra y nuestra primera conclusión es que la tierra “es plana”, aunque después en la escuela nos enseñan lo contrario. En muchos experimentos se estudian secciones pequeñas de las burbujas, por lo que la suposición de una superficie plana se considera válida, esto se hace con la finalidad de entender más fácilmente cómo se comportan estas superficies.

1. Profesor de la Facultad de Ciencias Físico – Matemáticas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Email: jlrivera@umich.mx
2. Profesor de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Email: roberto.guerra@umich.mx

Figura 1.



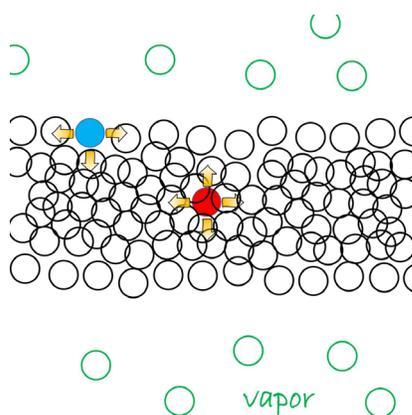
Las paredes de las burbujas

Al mirar las burbujas uno pensaría que el agua que las forma tiene una estructura diferente al agua líquida que comúnmente manejamos, pero experimentos con paredes planas han encontrado que muchas de las propiedades de las paredes de las burbujas, como la densidad dentro de la capa o la tensión superficial de sus paredes, son similares a lo que se ha encontrado experimentalmente en líquidos con espesores mucho mayores y en agua líquida común (Rivera y Douglas, 2019). Adentro y afuera de las burbujas hay material del mismo tipo que forma la burbuja en fase gaseosa o en forma de vapor. El valor de la densidad de un fluido nos dice si este puede acomodarse mejor en un espacio dado a una temperatura dada, claramente la densidad del agua líquida es mayor que la densidad del agua en fase vapor, ya que las moléculas de agua en fase líquida forman enlaces considerablemente fuertes entre ellas, llamados puentes de hidrógeno, lo que les permite acercarse más entre sí. Estas fuerzas atractivas sólo se presentan cuan-

do las moléculas están muy cerca unas de otras, empiezan cuando están separados unos cuantos nanómetros.³

La tensión superficial es el conjunto de fuerzas que hace que una gota de agua se agrupe y tome su forma esférica, o evita que una burbuja se colapse hacia adentro o hacia afuera de ella (ver figura 2). El agua tiene una tensión superficial alta, mayor que la de muchos compuestos similares al agua, mientras que los aceites o alcoholes tienen una tensión superficial menor. Algunos estudios han encontrado que, si reducimos el espesor de la pared de las burbujas hasta límites de unos cuantos nanómetros, las propiedades de densidad y tensión superficial de la pared de la burbuja no cambian, son las mismas que observamos en fluidos con espesores mucho mayores. Conforme se va reduciendo el espesor de la capa debido a un proceso de “secado” de la burbuja, los límites interior y exterior de la capa delgada, llamados también interfases, permanecen sin cambio, por lo que la tensión superficial no cambia.

Figura 2.

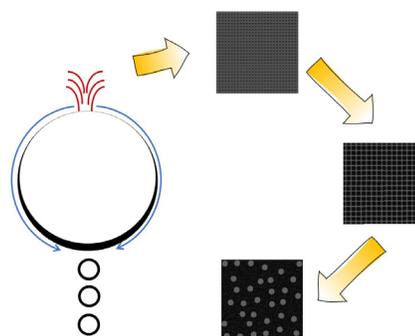


¿Cómo se rompen?

Como hemos experimentado de niños en burbujas de jabón, estas no son permanentes, aunque no las esponjamos a fuerzas externas como un pinchazo o al tratar de agarrarlas, si éstas flotan libres en el aire, eventualmente se rompen solas. Se cree que el rompimiento espontáneo de las burbujas se debe al efecto de la gravedad, que hace que el líquido

que forma la pared de la burbuja fluya desde el tope de la burbuja y escurra a través de sus paredes hacia la parte de abajo de la burbuja, inclusive se puede ver que algunas de ellas gotean, es decir, forman gotitas que se separan de la burbuja y caen al piso. Eventualmente cuando partes de la pared de la burbuja tienen un espesor muy delgado, su pared se rompe en esa parte, formando múltiples gotitas en la parte superior y una gota grande en la parte baja (ver figura 3). Simulaciones por computadora predicen el comportamiento de muestras pequeñas de materia, formadas por cientos de miles o millones de átomos, pueden estudiar el comportamiento de burbujas pequeñas o secciones de superficies de burbujas de mayor diámetro, han mostrado que las burbujas antes de romperse, se forman huecos dentro de la superficie de la burbuja con regiones donde el agua se acumula (Rivera y Douglas, 2019). Estas regiones de acumulación están unidas por cables de líquido que transportan material hacia esos centros de acumulación. Eventualmente estos conductos se secan y se forman gotitas de agua de diámetros mucho menores que la burbuja original, dispersas en gas como el aire, las cuales se conocen como aerosoles.

Figura 3.



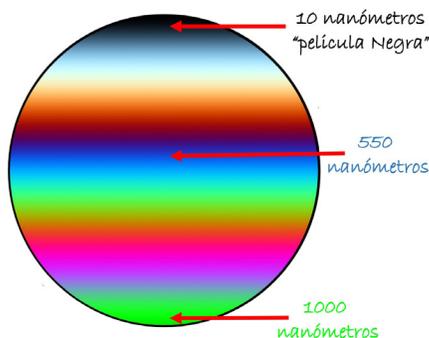
Los colores de las burbujas

El espesor de las paredes, que es la distancia entre las superficies interna y externa de la burbuja, lo podemos estimar visualmente a través de los colores que toman las paredes de la burbuja (Czerski, 2018). Las ondas de luz que llegan a la superficie exterior de las burbujas de agua con jabón, son parcialmente reflejadas como en la superficie de

3. Nanómetro es 1 metro dividido en mil millones de secciones

un espejo, el resto penetra la burbuja hasta llegar a su superficie interior, donde otra porción de ondas de luz son reflejadas, estos dos conjuntos de ondas reflejadas se dice que interfieren entre sí, es decir, se combinan para producir el color de la burbuja y la forma en que se combinan para producir un color específico depende de la profundidad a la que las ondas de luz son reflejadas en la superficie inferior de la burbuja. Si el espesor de la pared es de más de un micrómetro⁴, los colores son difusos, la burbuja se ve casi transparente. Conforme el espesor se hace menor a 1 micrómetro (1000 nanómetros), la burbuja toma diversos colores intensos, como el verde oscuro, rosa, verde, azul, morado y amarillo, similar al patrón del arcoíris (ver figura 4). A espesores por debajo de 120 nanómetros y hasta 30 a 50 nanómetros, la burbuja se vuelve plateada, y por debajo de esto se presenta el fenómeno llamado “película negra de Newton”, descubierto por él mismo por el color que toma la burbuja, y este color se puede observar con el ojo humano. Se ha estimado en experimentos que las burbujas de jabón son estables a espesores tan pequeños como 5 nanómetros. Una burbuja de jabón está compuesta principalmente por agua con detergente localizado en los límites de la capa delgada que forman las paredes. Una molécula de agua tiene un diámetro de 0.275 nanómetros, y si consideramos que la pared de la burbuja está compuesta por múltiples capas de agua, empalmadas unas sobre otras, esto nos indica que las películas antes de romperse contienen unas cuantas decenas de estas capas empalmadas.

Figura 4. Metro dividido en un millón de secciones.



La formación de burbujas totales o parciales, como las que se forman en las espumas, las encontramos en nuestra vida diaria, en la formación de espumas de jabón al lavar nuestro cuerpo, trastes o ropa. El agua potable al ser transportada a nuestra casa forma naturalmente espumas y al cocinar alimentos se están formando continuamente burbujas en forma de espumas acuosas o de aceites. En diversas industrias, el manejo de líquidos de diversos compuestos también forma espumas de burbujas, así también cuando corrientes de gases son purificadas, pasándolos a través de líquidos que se quedan con compuestos contaminantes, al salir estos gases purificados de los líquidos también forman espumas de burbujas. El rompimiento de las burbujas provoca la formación de aerosoles, los cuales pueden flotar en el aire y ser transportados a través de la atmósfera. Ya que con ellos se pueden transportar compuestos químicos o radiactivos disueltos en ellos, se les considera una fuente de contaminación en muchas industrias como la química, de alimentos, polímeros, nuclear, etc. (Chen *et al.*, 2021).

Referencias

- Chen, H., H. Gu, H. Lv, X. Yu, J. Wang y H. Luo (2021). Experimental study on the release of droplets via bubble bursting under different liquid phase conditions. *Progress in Nuclear Energy*, 132:103617. doi:10.1016/j.pnuce-ne.2020.103617
- H. Czerski (2018). *Bubbles: A Ladybird Expert Book*. Londres, Reino Unido: Penguin.
- González-Mijangos, J. A., E. Lima, R. Guerra-González, F. I. Ramírez-Zavaleta y J. L. Rivera (2021). Critical Thickness of Free-Standing Nanothin Films Made of Melted Polyethylene Chains via Molecular Dynamics. *Polymers*, 13 (20): 3515. doi:10.3390/polym13203515
- Rivera, J. L., y J. F. Douglas (2019). Influence of film thickness on the stability of free-standing Lennard-Jones fluid films. *The Journal of Chemical Physics*, 150 (14): 144705. doi:10.1063/1.5086284
- Young, F. R. (2011). *Fizzics: The Science of Bubbles, Droplets, and Foams*. Baltimore, Estados Unidos: The Johns Hopkins University Press.