



1 de mayo de 2014 | Vol. 15 | Núm. 5 | ISSN 1607 - 6079

# ARTÍCULO

## ¿QUÉ ES LA ESPUMA?

*Jesús Gracia Fadrique*

## ¿QUÉ ES LA ESPUMA?

### Resumen

La estructura y comportamiento de una espuma se ilustra mediante conceptos básicos de la Física de Superficies, como son la tensión superficial, la adsorción o concentración del soluto con actividad superficial en la superficie, la diferencias de presione en superficies esféricas indicada por Young–Laplace y la elasticidad de una película líquida relacionada con los cambios de tensión superficial con el área.

**Palabras clave:** Espuma, tensión superficial, elasticidad, adsorción, curvatura.

“

Las espumas ocupan un lugar importante en nuestra vida diaria, las más conocidas son las que se forman con el jabón y los detergentes...

”

### WHAT IS FOAM?

#### Abstract

*Foam structure and behavior can be illustrated by means of basic Surface Physics concepts like surface tension, the adsorption or the surface-active solute concentration, the pressure difference on spherical surfaces pointed out by Young and Laplace, and the elasticity of a liquid film associated with the changes of surface tension due to the area.*

**Keywords:** *Foam, surface tension, elasticity, adsorption, curvature.*

## ¿QUÉ ES LA ESPUMA?

Nunca perseguí la gloria,  
ni dejar en la memoria  
de los hombres mi canción;  
yo amo los mundos sutiles,  
ingrávidos y gentiles,  
como pompas de jabón.

"Cantares"  
Antonio Machado

### Introducción

Una espuma es un conjunto de burbujas en contacto íntimo. A diferencia de un líquido en ebullición o de una bebida gaseosa donde se forman y dispersan burbujas de vapor o de un gas, una espuma reúne burbujas y forma estructuras exclusivas de bellas geometrías definidas por la uniones de burbujas que repiten su arreglo y morfología en diferentes direcciones y tamaños, unidas por contornos de películas delgadas de líquido por donde circula la disolución que las forma, después de inyectar un gas.

Su permanencia o duración depende del material espumante; así, un jabón forma espumas duraderas, mientras que las de agua de mar no son estables más de unos cuantos segundos. Un líquido puro no forma espumas. Si agitamos un recipiente parcialmente lleno de agua, se puede apreciar que la formación de ésta durante la agitación es apenas incipiente y desaparece rápidamente; pero si esto no ocurre, es porque el agua contiene un material orgánico como un jabón o algún otro contaminante. Así, una prueba de "espumación", es la prueba más económica y rápida para identificar que un líquido está puro, o, tristemente, para ver la espuma que se genera en nuestros ríos como indicio de contaminación.



Las espumas ocupan un lugar importante en nuestra vida diaria, las más conocidas son las que se forman con el jabón y los detergentes que se emplean en el lavado de ropa, utensilios de cocina y enseres domésticos; no se diga del champú destinado a la limpieza del cabello. Todos ellos son materiales no sólo muy espumosos, sino que además forman espumas duraderas, más incluso que la de la cerveza o del champán, que sólo dura unos cuantos minutos o en ocasiones segundos. Esta terminología dio lugar a una primera clasificación al mundo de las espumas como espumas permanentes y espumas transitorias. También es cierto que existen espumas permanentes perenes, como es la lava, o poliméricas, que durante su formación adquieren la estructura sólida. Polímeros como el poliuretano con el que se fabrican colchones, cojines, aislantes térmicos y acústicos para refrigeradores y habitaciones, amortiguadores de impacto en automóviles y otros usos, son el resultado de una reacción química que genera un gas formador de la espuma y un polímero que se forma en el transcurso de la reacción. El resultado es un conjunto de celdas poliméricas formadas gracias a la generación del gas durante la reacción química, el cual es atrapado en las estructuras de la espuma. Hoy en día se perfilan en los mercados nuevos materiales espumados como el cemento en espuma, fierro denominado esponja, hules espumados empleados en la fabricación de llantas para automóviles, poliestireno expandido para la construcción y protección de material eléctrico, muchos de los cuales permiten conservar la rigidez del material original y mostrar muy baja densidad.

Una espuma se forma reuniendo pompas de jabón, para lo cual todos conocemos que se requiere un poco de jabón en agua y soplar mediante un popote, o simplemente cerrar el frasco y agitarlo. Al contemplarla podemos observar una serie de arreglos geométricos formados por las burbujas que se reúnen en placas paralelas conocidas como lamelas, por donde circula la solución jabonosa que drena por gravedad hacia el fondo del recipiente, dejando casi seca la estructura de la espuma. Pero antes de seguir hablando de las espumas, tenemos que platicar sobre las burbujas de jabón que las forman.

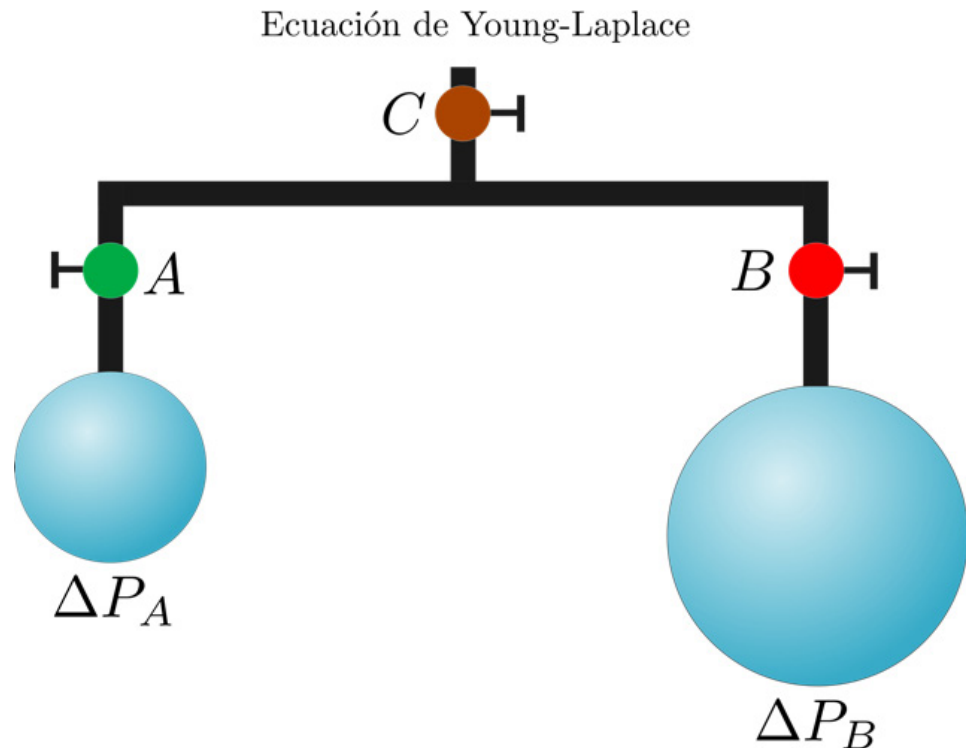
Quien visite el centro de Coyoacán y otros barrios antiguos de la Ciudad de México, encontrará vendedores de arillos y jabonadura para hacer pompas de jabón. Al introducir el arillo al recipiente de jabón se forma una película, que al soplar suavemente produce un desfile de burbujas. Esta solución está formada por una disolución de jabón amarillo, un poco de glicerina y gelatina disuelta que permiten aumentar la viscosidad del líquido. El jabón es la parte importante de este juego y representa un tipo muy especial de materiales denominados tensoactivos, ya que tienen la particularidad de estar constituidos molecularmente por una porción hidrocarbonada repelente al agua y otra de diversa naturaleza química, atractiva al agua; con esta dualidad, la mejor postura energética de estas moléculas es la de flotar fuera del agua, dejando la porción repulsiva fuera del agua y la atractiva, sumergida dentro de ella. A este fenómeno en el que las moléculas se concentran en la superficie del líquido-vapor o líquido-aire, se le denomina adsorción y al efecto del traslado de estas moléculas hacia la superficie se le conoce como efecto hidrofóbico. Los jabones, los detergentes, los emulsificantes, los espumantes y antiespumantes y los dispersantes, pertenecen todos a esta clase de compuestos, por lo general sintéticos de origen petroquímico o provenientes de materias primas de origen vegetal o animal, como son las grasas y aceites. La naturaleza también fabrica este tipo de materiales como es el caso de los fosfolípidos y proteínas que también gozan de estas

propiedades de orientación, organización y formación de ensamblajes moleculares. Es por esta constitución molecular en la superficie que se genera la espuma en la leche, el merengue de clara de huevo y las cremas pasteleras, materiales que no contienen jabones pero si proteínas o, en general, tensoactivos.

Estas moléculas tensoactivas tienen una propiedad física en común que consiste en su habilidad para disminuir la tensión superficial. De todo el universo de líquidos simples, el agua posee uno de los valores más altos de tensión superficial. Esta tensión es un parámetro termodinámico que indica la energía que poseen las moléculas en virtud de su posición en la superficie relacionado con la cohesión entre moléculas en dos dimensiones y que explica el porqué la superficie de un líquido se comporta como una membrana rígida que cuando recibe un tensoactivo se torna elástica, como la película formada en un aro para producir burbujas.

### Burbujas de jabón

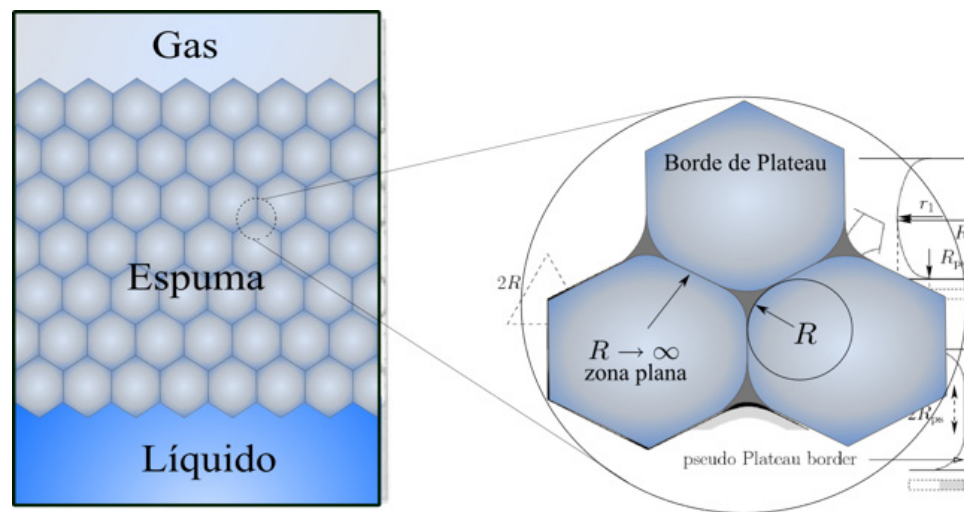
Charles V. Boys, hombre de ciencia inglés, acostumbraba ilustrar este concepto a sus alumnos con burbujas; uno de sus ejemplos consiste en formar dos burbujas de jabón independientes en el siguiente arreglo:



Y preguntaba a los estudiantes qué efecto tendría el abrir las llaves A y B para poner en contacto a la atmósfera contenida en las burbujas. La sorpresa es que la burbuja más pequeña disminuye su tamaño aun más y la grande crece a expensas de la primera. Este fenómeno se explica por la ecuación de Young-Laplace sobre la diferencia de presión  $\Delta P$  en una superficie esférica:

$$\Delta P = \frac{2\sigma}{R}$$

Donde  $\sigma$  es la tensión superficial y  $R$  el radio de la esfera. Para efectos prácticos, el fenómeno se traduce en el hecho de que, en algunas espumas, las burbujas grandes crecen a expensas de las menores de tal manera que evolucionan con el tiempo disminuyendo el área inicial. Además se presenta un efecto adicional resultado de la ecuación de curvatura que consiste en el transporte de líquido entre lamelas. Las lamelas son los contornos de líquido resultado del contacto de dos o más burbujas de la espuma; estos contornos o canales sirven como una reserva de disolución que alimenta y proporciona nuevo material tensoactivo o anfífilico a la superficie y que establece un equilibrio instantáneo entre el material tensoactivo ubicado en la superficie y el líquido lamelar. Es así como vemos "escurrir" el jabón de una espuma. Los bordes de las lamelas formadas por tres burbujas se conocen como bordes de Plateau. Por diferencias en curvatura el flujo del líquido en las lamelas se dirige hacia estos bordes, lo cual ocasiona el adelgazamiento de las paredes de contacto entre burbujas y el aumento de volumen de líquido en el borde de Plateau.



Cuando el volumen del líquido es lo suficientemente grande, la gravedad actúa y el líquido fluye hacia niveles inferiores en la columna de espuma, siguiendo las trayectorias marcadas por las lamelas cuyas paredes están constituidas por el tensoactivo orientado y concentrado mayoritariamente en la interfase. Este fenómeno de concentración en la superficie recibe el nombre de adsorción, que en el caso de equilibrio líquido-vapor o líquido-gas, como es el caso de una espuma, se expresa mediante la ecuación fundamental de Adsorción de Gibbs:

$$\Gamma = - \frac{x}{RT} \left( \frac{d\sigma}{dx} \right)_T$$

Donde  $\Gamma$  representa la concentración de superficie (moles/cm<sup>2</sup>),  $x$  es la fracción molar de la fase volumétrica,  $T$  la temperatura absoluta y  $R$  la constante universal de los gases. La tensión superficial de la disolución  $s$  disminuye con el aumento de concentración y, por lo tanto la derivada negativa indica que la concentración superficial es favorable y que el material que disminuye la tensión superficial se concentra en la superficie. Esta ecuación confirma y proporciona una visión microscópica de la estructura de una espuma en sus paredes, constituida por tensoactivos alineados y en riguroso orden y orientación.

La ecuación de adsorción de Gibbs indica que todo material disuelto en un líquido que disminuya la tensión superficial se concentra mayoritariamente en la superficie. Una de las características más importantes de una espuma es el enorme aumento del área de un sistema y, por tanto, la amplificación de los efectos superficiales, como es el caso de la adsorción. Esto explica por qué la producción de la misma puede emplearse en procesos de separación por rectificación en espuma si un material se concentra favorablemente en la superficie y una espuma aumenta miles de veces la superficie original; entonces tendremos una gran cantidad de área disponible para concentrar material. Al drenar y separar la espuma fuera de una columna, encontraremos que el líquido colectado por la espuma colapsada mostrará una mayor concentración de tensoactivo que el líquido original y el líquido residual en la columna tendrá una concentración menor. En paralelo a este efecto, la espuma superior que colapsa en pequeñas gotas, produce un líquido más enriquecido que viaja por los conductos lamelares aumentando sucesivamente en concentración a la superficie de la espuma que se encuentra en los estadios superiores. Con este método ha sido posible separar componentes en muy bajas concentraciones, como es el caso de materiales radioactivos en aguas industriales.

## Otras aplicaciones

Otra aplicación importante de las espumas es el caso de la flotación de metales y minerales en la industria minera, donde la materia prima se somete a molienda y acondicionamiento para que el mineral a separar sea adherido a las burbujas producto de la inyección de aire en contenedores o celdas de flotación y transportados por ascenso de la espuma y posterior drenado fuera de la celda.

A esta altura, el lector ya sospechará que existe una relación entre las propiedades de una espuma y el proceso de adsorción de un tensoactivo. Sin embargo, no todos los tensoactivos son promotores de espuma. Hay algunos que en lugar de producir espuma la destruyen, como es el caso de los tensoactivos formulados a base de silicones y otros de aceites minerales, lo cual obliga a introducir una nueva ecuación que tiene que ver con la elasticidad de la película jabonosa. Usemos nuevamente para esto el arillo de Coyoacán. Si el arillo con la película es sometida a un flujo lento de aire al soplar, se formaran burbujas; en cambio, si soplamos violentamente, la película se rompe y no hay



producción de burbujas. Si la expansión de la superficie es mayor a la rapidez de distribución del tensoactivo en la superficie para optar por una nueva concentración más baja y por lo tanto, con una mayor tensión superficial; cuando una superficie se contrae, la concentración de anfifilo en la superficie aumenta y la tensión superficial disminuye. Este escenario indica que la elasticidad de una película se encuentra relacionada con las variaciones de tensión superficial del anfifilo. Esta fenomenología está contenida en la ecuación de elasticidad de Gibbs, conocida también como módulo de elasticidad de Gibbs:

$$\epsilon = \frac{d\sigma}{d \ln A}$$

Donde A es el área ocupada por un número fijo de moléculas. Una curva de tensión superficial vs concentración, puede traducirse a elasticidad e identificar regiones en concentración donde la elasticidad (producción de espuma) es mayor. Qué tan duradera será la espuma en un ámbito de concentración también tiene que ver con la viscosidad del líquido que fluye en los conductos lamelares y con la misma viscosidad superficial que se opone a la expansión y destrucción de la espuma. La espuma representa un intento por establecer condiciones de equilibrio entre el líquido lamelar y la interfase líquido-gas, acompañados por efectos viscosos y de transporte entre la fase volumétrica y la fase superficial. El entendimiento de estas variables y sus mutuas relaciones se encuentran en estudio y la comprensión de la física de películas delgadas constituye un campo de exploración teórico y experimental con poca experiencia y muchas preguntas por responder. ::

## Bibliografía

- [1] BOYS, Charles V. *Pompas de jabón y las fuerzas que las producen*. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires, Colección Ciencia Joven, segunda edición, 1964.
- [2] ABASCAL, Dulce María y GRACIA FADRIQUE, Jesús. "Surface Tension and Foam Stability of Commercial Calcium and Sodium Caseinates". *Food Hydrocolloids*, vol.23, 2009, p. 1-5.
- [3] ISEMBERG, Cyril. *The Science of Soap Films and Soap Bubbles*. Dover, 1992.
- [4] SHAFER, N. E. y R N Zare. "Through a Beer Glass Darkly". *Physics Today*. Octubre, 1991, p. 48-52.
- [5] VIADES TREJO, J. y GRACIA FADRIQUE, J. "Curvatura y Termodinámica". *Educación Química*, 18 (2), p. 128-132.