

La actividad superficial, sus ideas y aplicaciones

Joaquín Cortés Garrido
Departamento de Ingeniería Química
Universidad de Chile

Vivimos un mundo donde las cosas no permanecen aisladas. Y esto quiere decir que interactúan, se encuentran, dialogan. El alimento debe encontrarse con las paredes del estómago, la lluvia debe escurrir por la superficie del impermeable, los gases deberán chocar con el catalizador que los hará reaccionar. Es casi imposible imaginar alguna acción sin la participación de la superficie de las cosas, y es por ello que la física y la química de interfases y superficies es seguramente uno de los terrenos más explorados y más fértiles de universidades, industrias y laboratorios.

Las conspicuas superficies

Para contar esta historia, deberemos considerar el concepto de actividad superficial. Las superficies son activas, es decir, tienen cierta capacidad para hacer cosas, ejecutar trabajos útiles, actuar de manera especial. Expliquémoslo este fenómeno. Supongamos que los cuerpos están formados por moléculas. También sus superficies. Pero si las moléculas superficiales son idénticas a las del interior, ¿por qué se comportan diferente? Simplemente porque están en una situación diferente. No somos los mismos cuando nos divertimos rodeados de amigos que cuando meditamos solitarios en lo alto de una montaña. Tampoco las moléculas

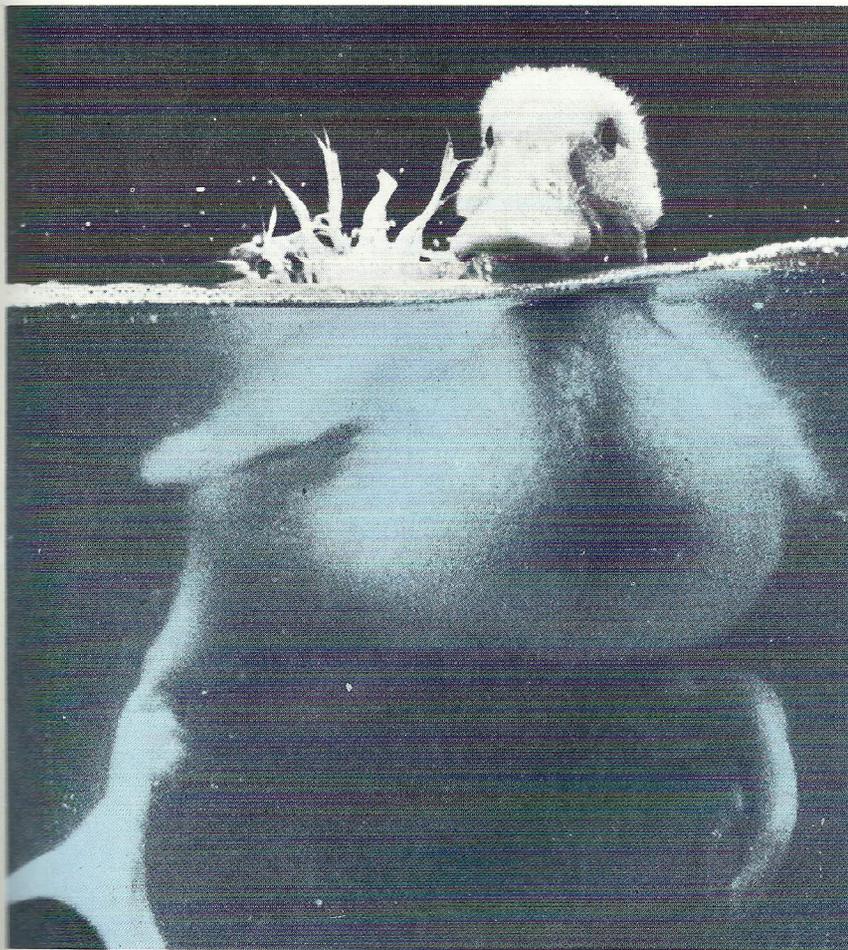
Las superficies representan las fronteras de la materia en las cuales tienen lugar varios fenómenos a nivel molecular. La separación de minerales por flotación, la acción de detergentes y jabones, el funcionamiento de extinguidores de incendio o el retiro de la crema de la leche para fabricar mantequilla, son algunos de los ejemplos cotidianos de actividad superficial.

las de la superficie. Las del interior, rodeadas homogéneamente por otras moléculas, se encuentran en equilibrio mutuo. En la superficie, por otra parte, cada molécula se siente atraída hacia el interior por el desequilibrio que resulta cuando "ve" menos moléculas exteriores. Esto se manifiesta en una cierta "tensión" de la materia en ese sector, lo que puede traducirse, por ejemplo, en la capacidad de atraer y atrapar moléculas exteriores para compensar su situación.

La actividad superficial es una cualidad propia de todos los cuerpos, a excepción de los gases, pero que no siempre tomamos en cuenta. Un sencillo juego geométrico nos ilustrará esta observación. Imaginemos un cubo sólido de 1 cm^3 cuya área superficial, lo sabemos, es de 6 cm^2 . Supongámoslo además formado por moléculas cúbicas cuyas aristas, si queremos ser aproximadamente razonables, podrían ser de 5 Angstrom, o sea, $5 \times 10^{-8} \text{ cm}$. Es fácil comprobar que habría más o menos una molécula en la superficie por cada 4 millones de

moléculas del cubo. Parece entonces razonable despreciar en nuestro cubo el efecto de su actividad superficial. Pero, ¿qué sucedería si nos dedicáramos a subdividirlo en cubos pequeños, por ejemplo de 10^{-5} cm de arista cada uno? El cálculo indica que el área de nuestro cubo original ha aumentado a 60 metros cuadrados, magnitud del orden de sólidos de gran área superficial como carbones y silicas. En ese caso, 3 moléculas de cada 100 estarían en la superficie y el efecto superficial ya no podría despreciarse.

Introduzcamos ahora nuestro cubo sin dividir en un vaso con un líquido puro que no reaccione con el sólido. Diríamos, detallando un poco, que estamos frente a un sistema homogéneo formado por una fase líquida con un sólido que, desde el punto de vista de su acción interfásica, no tomamos en cuenta. Si el cubo ha sido subdividido tendríamos que decir otra cosa: tenemos un sistema heterogéneo, que llamaremos coloide, formado por partículas de sólido, y nuestro líquido original. Si con-



Este pato que nada furiosamente está aprendiendo lo que se siente al no poderse mantener a flote. El ave, que normalmente flota debido a que el aceite de sus plumas repele el agua, ha perdido esta protección a causa del detergente presente en el medio acuático.

tinuáramos nuestro juego llegaríamos paradójicamente a la situación original: un sistema líquido homogéneo aunque ahora, para indicar que algo ha sucedido, diremos que tenemos una **solución**. Naturalmente que la actividad superficial sólo es importante en situaciones intermedias, la del sistema heterogéneo.

¿Qué pasa con este juego del cubo si lo continuamos hasta el nivel molecular? ¿Diríamos que el área superficial es la de las moléculas? No podríamos afirmarlo. Estaríamos entonces frente al límite de una concepción, y allí la idea de superficie pierde su significado.

El juego del cubo nos destaca la importancia de una magnitud fundamental: el valor del área superficial. Como decía Adamson (*J. Chem. Educ.* 44, 710, 1967), "Las superficies son las fronteras de la materia. Una frontera es un

límite, así también una superficie. La longitud de las fronteras es un atributo importante, así también el área de una superficie". Es lo que llamaríamos el efecto geométrico. Pero la actividad superficial se caracteriza además por otra magnitud relacionada con la energía con que las moléculas interactúan. Es lo que podríamos denominar el "efecto energético". Ambos efectos juegan roles importantes y unidos explican fenómenos: los fenómenos superficiales.

Tamices moleculares

Hemos aumentado el área superficial de nuestro cubo desmenuzándolo, destruyéndolo. A menor tamaño de partícula, mayor el área específica, el área por unidad de materia. Es la explicación geométrica de que sólidos no porosos posean superficies difíciles

de imaginar. ¡500 metros cuadrados en un poco de polvo que podría sostener en la punta de uno de mis dedos! Pero existen otros sólidos, los porosos. En éstos la mayor parte del área superficial se encuentra en los poros del sólido, increíbles galerías diminutas ubicadas en el interior de las partículas. Las moléculas adsorbidas ya no se muestran como pelotillas que golpean y rebotan en las superficies exteriores, sino como hormigas que recorren chocando las paredes de intrincados laberintos. Los poros son así como infinitos hormigueros de estrechísimos diámetros de tamaños moleculares. ¿Y qué sucede cuando hay "hormigas" gigantes que no pueden penetrar? Estamos frente a los "tamices moleculares", curioso nombre para una interesante aplicación de la actividad superficial. Muy extendido se encuentra en la actualidad el uso de este tipo de sustancias, por ejemplo las **zeolitas**, para separar moléculas purificando gases por el simple procedimiento de adsorber sobre sólidos porosos mezclas de moléculas gaseosas que tengan diferente diámetro molecular.

¿qué es eso?

Películas moleculares

Los marinos de la antigüedad conocían un procedimiento para aquietar el mar durante una tempestad. Derramaban barriles de aceite en torno a sus frágiles barcos en peligro. Benjamin Franklin, pionero de tantas cosas, comprobó en 1774 que bastaba una cucharilla de té llena de aceite para cubrir una extensión de 2.000 m² de la superficie de un lago. Eso significaba un espesor de 16 Å (¡el tamaño de una molécula!). Incomprensible para las ideas de la época. Sólo cien años más tarde, Rayleigh comprobó la existencia de una capa monomolecular. La actividad de la superficie líquida causa el esparcimiento de otro líquido insoluble sobre ella. El proceso sólo termina cuando ya no puede continuar, o sea, cuando el espesor es unimolecular.

Resulta apasionante esta idea de la concepción de moléculas que flotan, conformando un mundo físicamente bidimensional casi

tan inquietante como el cuadrimensional propuesto por Einstein y su maestro Hermann Minkowski. Además tiene una aplicación práctica inmediata: en grandes lagos artificiales de regiones semiáridas de Estados Unidos y Australia, se gasta la cantidad insignificante de 2 a 3 monocapas diarias de ciertos alcoholes para frenar la evaporación en 12.000 m² de agua.

Adsorción y catálisis

Si una molécula choca con una superficie inerte, rebotará instantáneamente. Habíamos afirmado que la actividad superficial se manifiesta como una cierta atracción sobre la molécula incidente. Esto se traduce en un "tiempo de residencia" que está relacionado con la energía de atracción: la molécula no abandonará de inmediato la superficie, se quedará allí. Es posible calcular que si la energía es pequeña, digamos 1500 calorías por mol, el tiempo de residencia será de $1,3 \times 10^{-12}$ segundos a temperatura ambiente. Si ésta la aumentáramos a 20.000 calorías por mol, la molécula permanecerá 100 segundos antes de rebotar, mientras que si suponemos energías unas 5 veces mayores, ¡el tiempo de residencia alcanzará magnitudes superiores a la edad de la Tierra!

Un gas en presencia de una superficie traducirá el tiempo de residencia en una mayor concentración cerca de ella. Ese fenómeno es denominado **adsorción** o capacidad de adherir. En los ejemplos anteriores se habla de adsorción física en el primer caso, de adsorción química en el segundo y de reacción química en el último, donde el gas pasa a pertenecer para siempre a la superficie.

El fenómeno de adsorción es fundamental para explicar un sinnúmero de manifestaciones de la actividad superficial. La catálisis heterogénea podría ser un ejemplo (el catalizador es un sólido y los reactivos son gases). Para el químico es ésta una aplicación importante, ya que la mayoría de los procesos químicos son de naturaleza catalítica⁽¹⁾. Ya a comienzos del siglo el Premio Nobel

(1909) de Química Wilhelm Ostwald profetizó: "El conocimiento científico y el control del fenómeno catalítico llevarán a resultados incalculables en el desarrollo de los procesos tecnológicos". Y así ha sido.

La explicación de los fenómenos catalíticos es complejísima. Pero su esencia puede comprenderse a través de una imagen simplificada. Para que dos moléculas reaccionen en fase gaseosa formando otras partículas deseables como producto, deben encontrarse en alguna parte y en alguna ocasión, o sea, en algún punto del espacio al mismo tiempo. La probabilidad para que esto ocurra es extraordinariamente pequeña. Pero imaginemos que ambas moléculas se adsorban previamente sobre una superficie, el catalizador. El encuentro y la unión son ahora posibles. La adsorción ha servido para que la acción catalítica aumente la velocidad de un proceso. La Industria Química tiene mucho que agradecer a la actividad superficial.

Otras aplicaciones

La actividad superficial la encontramos disfrazada a cada paso en tal cantidad de aplicaciones, que han nacido en el mundo tecnológico moderno un exceso de especialidades, cada una para cada interfase, para cada proceso, para cada aplicación. Y éstas son tan numerosas que es necesario elegir. En nuestro país es importante la minería del cobre. El método de separación de minerales por "flotación" es un ejemplo clásico en todo curso de Superficies y los mineros saben bien de su importancia práctica.

¿Y qué es en mecánica la "lubricación" sino una manifestación de la interfase líquido-sólido? "Impermeabilizar" es hidrofobizar superficies adecuadas para que el agua escurra en vez de penetrar. La "detergencia" a que recurren las dueñas de casa es una manera de actuar sobre la tensión superficial de las sustancias para se-

parar lo limpio de lo que se desea definir como suciedad. Detergentes y jabones no sólo tienen interés familiar. Sirven además en etapas elementales de gran cantidad de aplicaciones a nivel industrial, a pesar de que la Humanidad deba sufrir la acumulación de la fantástica cifra de cien millones de toneladas de detergentes al año que no puede eliminar. Formidable problema para el futuro de la contaminación ambiental.

La espuma es la colección de muchas burbujas. Su estabilidad depende del juego de interfases envueltas y su ventaja práctica es la inmovilización de grandes volúmenes de gas. Proveen fuerza con ligereza. Los extinguidores de incendio proporcionan espumas líquidas mientras que las espumas sólidas son buenos aislantes del sonido y del calor.

Una "emulsión" es un sistema de dos fases líquidas donde una de ellas dispersa en la otra como pequeñas gotas esféricas, aumenta el área interfásica. Su importancia en mecanismos biológicos como la digestión se debe a que aporta grandes superficies reactivas para estos procesos. Pero también las emulsiones juegan un papel en la industria, confiriendo propiedades deseables a ciertas pinturas, actuando sobre la separación de la crema de la leche en la fabricación de mantequilla, o dando la deseada fluidez a sustancias poco viscosas. Así, los helados de crema, la margarina y muchos cosméticos son emulsiones.

Vemos así plagadas de superficies la industria química, biológica, mecánica, de cosméticos, así como la minería y la vida cotidiana. Resulta curioso que una de las áreas de la ciencia que más frecuentemente influyen en la vida diaria, sea una de las más desconocidas por el ciudadano común. Buena metáfora para observar que lo desconocido es a veces aquello que tenemos todo el tiempo a nuestro lado. Sólo que no sabemos que está allí. ◻

(1) Véase al respecto el interesante artículo de divulgación del ing. Sergio Droguett C. sobre Catálisis heterogénea en ORBITA Año 2, N° 4, pág. 42-53, 1970 (N. del E.)