

# Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

## Espiando el interior de gotas coloidales mientras se evaporan

Karina Galache · Tuesday, February 15th, 2022

Categorías: [Cuartil Uno](#), [Ciencias Exactas](#)

La evaporación de una gota sésil, que reposa sobre una superficie sólida, es un fenómeno que observamos en nuestra vida diaria. A pesar de su cotidianidad, este suceso proporciona un fascinante tema de estudio científico tanto en lo fundamental como por su amplia aplicabilidad. En los últimos años se ha despertado un gran interés por entender cómo se evaporan las gotas de fluidos complejos micro y nanoestructurados, tales como suspensiones coloidales o fluidos biológicos. Sin embargo, no hay una respuesta sencilla. A diferencia de la evaporación de un líquido puro, en el caso de fluidos complejos que contienen micro o nanopartículas insolubles suspendidas, la situación es mucho más complicada, ya que todas las interacciones cohesivas y adhesivas (sustrato-fluido, sustrato-partícula, partícula-fluido y partícula-partícula) juegan un papel determinante en el proceso de evaporación.

De este proceso tan complejo, que conlleva el transporte de materia a múltiples escalas espaciotemporales, por lo general uno tiene acceso a la parte final: el patrón de partículas que quedan depositadas sobre la superficie una vez que se ha evaporado el solvente. A partir de sus características, se puede ir en reversa e inferir algunas propiedades estructurales del fluido, así como alguna información sobre cómo se llevó a cabo la evaporación.

Con esta sencilla idea, se ha demostrado que la evaporación de gotas sésiles de fluidos complejos puede ser de gran utilidad, más allá de las aplicaciones tradicionales de pintura, impresión o recubrimiento. Por ejemplo, pueden diagnosticarse algunas enfermedades en etapas tempranas a través del patrón que forma una gota de sangre al secarse. También se ha logrado homogeneizar la geometría de vesículas unilaminares electroformadas. En procedimientos aún más sofisticados, la deposición controlada de partículas que deja la gota al secarse se utiliza para desarrollar materiales con propiedades exóticas, tales como cristales fotónicos tridimensionales, películas porosas jerárquicas o películas con una gran conducción térmica. Incluso se han desarrollado los llamados “reactores en gotas”, ensayos bioquímicos en los que se incrementa drásticamente la probabilidad de ocurrencia de reacciones químicas gracias al confinamiento que produce la gota. Además, la idea de analizar estos patrones se ha extendido a fluidos complejos que contienen partículas activas (autopropulsadas), por ejemplo, para evaluar la movilidad de los espermatozoides.

Aparte de la gran cantidad de información que puede extraerse del análisis de patrones secos, es deseable monitorear continuamente el proceso de evaporación, en especial su dinámica interna, lo que permitirá no sólo obtener información más detallada de la dinámica estructural del fluido sino

tener un mayor control del proceso. Por ejemplo, se podría cuantificar las interacciones cohesivas y adhesivas mencionadas, así como evaluar su evolución durante la evaporación, lo cual ayudaría a una mejor ingeniería. Además, sería posible generar una retroalimentación continua que permitiera manipular activamente la evaporación para lograr el resultado deseado. Finalmente, la información sobre la dinámica interna también pudiera utilizarse para mejorar los modelos matemáticos con los que se describe este complejo fenómeno.

En la actualidad se cuenta con una cantidad muy limitada de opciones para medir la dinámica interna de las gotas coloidales durante su evaporación. Entre ellas, destacan algunas técnicas de microscopía de fluorescencia que permiten rastrear la trayectoria de partículas individuales. Estos métodos pueden utilizarse satisfactoriamente en condiciones especiales en las que, por ejemplo, la concentración de partículas sea baja, sus dimensiones adecuadas y la fluorescencia lo suficientemente fuerte para poder llevar a cabo el rastreo.

Recién, investigadores del CINVESTAV Unidad Monterrey y de CREOL, The College of Optics and Photonics, University of Central Florida, reportaron el uso del esparcimiento dinámico de luz de baja coherencia (coherence-gated DLS) para estudiar la dinámica interna de gotas coloidales mientras se evaporan [1]. Con esta técnica, la dinámica interna de la gota coloidal puede medirse continuamente, en escalas microscópicas, durante todo su proceso de evaporación de forma no invasiva, sin contacto y sin necesidad de utilizar etiquetas fluorescentes. La información principal que se recupera de las mediciones es el tamaño hidrodinámico de las partículas suspendidas en la gota. Este parámetro se calcula a partir del tiempo de correlación característico de las fluctuaciones de intensidad de la luz esparcida, y comprende los efectos conjuntos de las interacciones mencionadas, especialmente la interacción hidrodinámica entre las partículas, la cual tiene lugar incluso a bajas concentraciones debido al confinamiento en la gota. A diferencia del DLS tradicional, además se recuperan parámetros ópticos que describen la densidad óptica de la muestra. Con todas estas piezas de información microscópica, y gracias a la medición continua durante todo el proceso, se puede inferir también aspectos macroscópicos, logrando así una descripción multiescala del proceso de evaporación. Finalmente, la implementación todo-en-fibra-óptica de la técnica coherence-gated DLS ofrece la ventaja práctica de disponer de una punta de prueba endoscópica que puede incorporarse fácilmente a otros instrumentos. Por ejemplo, la instrumentación de perfilómetros de gotas con esta técnica haría posible monitorear la dinámica de evaporación de gotas de fluidos complejos tanto por fuera como por dentro simultáneamente.

Nuestro artículo contiene una discusión más amplia sobre las aplicaciones mencionadas y las implicaciones de los resultados, incluyendo las referencias pertinentes, y puede consultarse en:

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.jpcc.1c07237>

---

[1] Guzman-Sepulveda, J. R., Wu, R., & Dogariu, A. (2021). Continuous Optical Measurement of Internal Dynamics in Drying Colloidal Droplets. *The Journal of Physical Chemistry B*, 125(49), 13533-13541.

This entry was posted on Tuesday, February 15th, 2022 at 3:47 pm and is filed under [Cuartil Uno](#),

### Ciencias Exactas

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.