

# ¿Hay ciencia en una taza de café?

**Dr. Sergio Cuevas García**

Instituto de Energías Renovables,  
UNAM Miembro de la Academia de  
Ciencias de Morelos.

Una taza de café sugiere diversas metáforas. Su sabor, aroma o los efectos que produce aparecen en relatos y novelas para evocar cualidades, sentimientos o personas. No es extraño que una taza de café sea protagonista de connotadas escenas de cine. Evidentemente, el café forma parte de la cultura pero más allá de las imágenes meramente artísticas o literarias ¿hay algo de ciencia en una taza de café? Si alguien lo duda, puede consultar las referencias bibliográficas citadas al final del artículo.

Al igual que para gran parte de la humanidad, para muchos científicos el café es un elemento insustituible en su trabajo cotidiano. Despierta, estimula e incluso, dicen algunos, inspira. En estas mismas páginas, además de explicar su acción desde el punto de vista químico y los beneficios que conlleva su consumo moderado, se han expuesto las diversas razones que llevan a los humanos a tomar café (ver *¿Y tú por qué tomas café?*, publicado en esta misma columna: <http://www.acmor.org.mx/?q=content/¿y-tú-por-qué-tomas-café>)

Una taza de café puede ser objeto de estudio científico y utilizarse como un laboratorio casero que nos permite admirar fenómenos naturales que se presentan a muy diversas escalas. El tipo de movimientos que se presenta depende en gran medida de la temperatura del café y obviamente de la agitación que podemos producir con un elemento externo (por ejemplo, una cuchara). Las mejores observaciones se obtienen utilizando café negro muy caliente y vertiendo unas gotas de crema o leche fría. Aunque algunos puristas consideran un sacrilegio agregar cualquier sustancia extraña al café, la leche fría actúa como un medio de contraste que permite observar los movimientos del líquido.

Una taza de café constituye un *sistema termodinámico abierto*, es decir, un sistema que intercambia masa y energía con el ambiente. Intercambia masa porque parte del líquido se evapora incorporándose a la atmósfera circundante. Intercambia energía porque al estar a una temperatura mayor que la ambiente, existe un flujo de calor (energía) del café hacia los alrededores, no sólo hacia el aire en contacto con la superficie libre del líquido, sino también hacia las paredes de la taza que lo contiene. En estas condiciones, aún sin introducir una cuchara para agitarlo, el café no permanece en reposo, situación que se descubre fácilmente al observar los intrincados patrones que revela la adición de las gotas de leche fría. Este movimiento, conocido como *convección natural*, se presenta en los fluidos, tanto líquidos como gaseosos, cuando existe una diferencia de temperatura suficientemente grande en distintas regiones de su interior. El café cercano a la superficie, por estar

en contacto con el aire, tiene una temperatura ligeramente menor que el que se encuentra cerca del fondo, lo que ocasiona que su densidad sea mayor y tienda a bajar por acción de la gravedad. A su vez, el líquido caliente del fondo tiene una densidad ligeramente menor que el que se encuentra en la superficie, por lo que de manera *natural* tiende a subir. Cuando introducimos un chorro de leche fría, éste viaja hacia el fondo de la taza por tener una densidad mayor. Al entrar en contacto con el café caliente, parte de la leche es arrastrada hacia la superficie. Si esperamos un tiempo suficiente después de haber introducido la crema o la leche fría en la superficie del café, podremos observar las llamadas *celdas convectivas* que se manifiestan como pequeñas nubes más claras delimitadas por angostas franjas oscuras por donde desciende el fluido (ver figura 1a).

Patrones similares se observan en fotografías satelitales del océano donde la convección natural ocasiona una circulación constante del agua de mar. En gran medida, este fenómeno también es el responsable de la circulación atmosférica y por ende del clima en nuestro planeta, al igual que del aspecto granulado que se observa en la superficie del Sol (ver figura 1b). Sin embargo, los fenómenos que se presentan a escala terrestre o solar, tienen un ingrediente que los hace aún más complejos e interesantes: el movimiento de rotación [1,2].

Existen otros fenómenos interesantes que podemos visualizar en nuestro laboratorio casero. Si arrastramos suavemente la punta de una cuchara en la superficie del café negro, después de añadir las gotas de leche o crema, observaremos la aparición de lo que se conoce como un *vórtice dipolar*. Esta es una estructura compuesta por dos remolinos que giran en sentido opuesto y que se desplazan hasta chocar con las paredes de la taza. Los vórtices dipolares son extremadamente comunes ¡los vemos hasta en la sopa! En la naturaleza podemos observarlos en el océano (ver figura 2), producidos por corrientes marinas o por la acción del viento, siendo los responsables del transporte de nutrientes como el plancton.

Los fenómenos observados en una taza de café nos permiten adentrarnos en uno de los procesos físicos más comunes en la naturaleza y de mayor utilidad en aplicaciones tecnológicas y cotidianas: el mezclado de fluidos. Cuando mezclamos fluidos lo que buscamos es homogeneizar dos sustancias originalmente separadas. Por ejemplo, la gota de crema introducida en el café negro tiene inicialmente una concentración muy alta en una región espacial muy pequeña, pero después de agitar el fluido, la crema se distribuye de manera homogénea logrando una mezcla en donde la concentración de esta sustancia es uniformemente baja en todas partes. El mezclado entonces conlleva el transporte de una cantidad física, en

este caso la masa, caracterizada por la concentración. El mezclado se presenta en una multitud de escalas de magnitudes que van de las muy grandes, como el mezclado en el interior de las estrellas, o a escala planetaria, en la atmósfera y el océano, hasta escalas muy pequeñas, milimétricas o micrométricas, como sucede en los diminutos vasos sanguíneos. A su vez, los procesos de mezclado involucran una gran cantidad de escalas temporales que abarcan los miles o millones de años en los procesos geológicos, a fracciones de segundo en los procesos de combustión. No obstante esta variedad de escalas, existen mecanismos que son comunes en todos ellos, a saber, la *difusión* y la *advección*. Estos mecanismos son los que permiten transportar la masa de los fluidos de un lugar a otro y lograr la homogeneización del medio que buscamos al mezclar.

El mecanismo de difusión se presenta aun en ausencia de movimiento macroscópico del fluido. Por ejemplo, cuando vertemos cuidadosamente las gotas de crema en el café en reposo, de manera que la perturbación introducida por estas sea despreciable, y esperamos un tiempo suficientemente largo, la leche y el café se homogeneizan formando una mezcla de color marrón. Este mecanismo de *difusión molecular* está relacionado con la *agitación térmica* que experimentan las moléculas individuales, ocasionando colisiones entre ellas que tienden a homogeneizar al fluido a escala microscópica. Aunque a simple vista la agitación molecular no es perceptible, tiene un efecto observable al transportar de manera aleatoria a las moléculas de crema a través de todo el medio dispo-

nible, siempre y cuando esperemos un tiempo suficientemente largo. Si queremos que el mezclado se lleve a cabo en una escala de tiempo mucho menor, utilizamos una cuchara para agitar el fluido y acarrearlo de un lugar a otro, lo que lleva a una homogeneización mucho más rápida. Este mecanismo de transporte macroscópico es lo que se conoce como *advección*.

El conocimiento profundo de un fenómeno es fundamental para lograr predecir su comportamiento. Comprender el mezclado de fluidos, aun en una taza de café con leche, es en general bastante difícil y requiere, a la par, de herramientas teóricas y experimentales muy complejas. No obstante, desarrollar herramientas que nos permitan, por ejemplo, predecir el mezclado de los gases contaminantes en la atmósfera, no parece ser una tarea vana en estos grises días de contingencias ambientales que causan incertidumbre en los habitantes de la Ciudad de México. El laboratorio que ofrece una taza de café pareciera llegar a su fin cuando bebemos el último sorbo. Dejando a un lado a quienes dicen tener el don de predecir el futuro mirando los asientos en la taza de café vacía, resulta que las formas que permanecen en el fondo de la taza también tienen una explicación científica. Al secarse una gota de café normalmente deja una mancha de sedimentos en forma de *anillo* (ver figura 3). Esto se debe a que el borde exterior de la gota de café se adhiere a la superficie sólida que la soporta, quedando fijo mientras la gota se evapora. Dicho de otra manera, el diámetro del borde de la gota se mantiene constante al tiempo que la gota se va haciendo más plana cuando se evapora el líqui-



Figura 1. Celdas convectivas en una taza de café (a) y en la superficie del Sol (b)°.

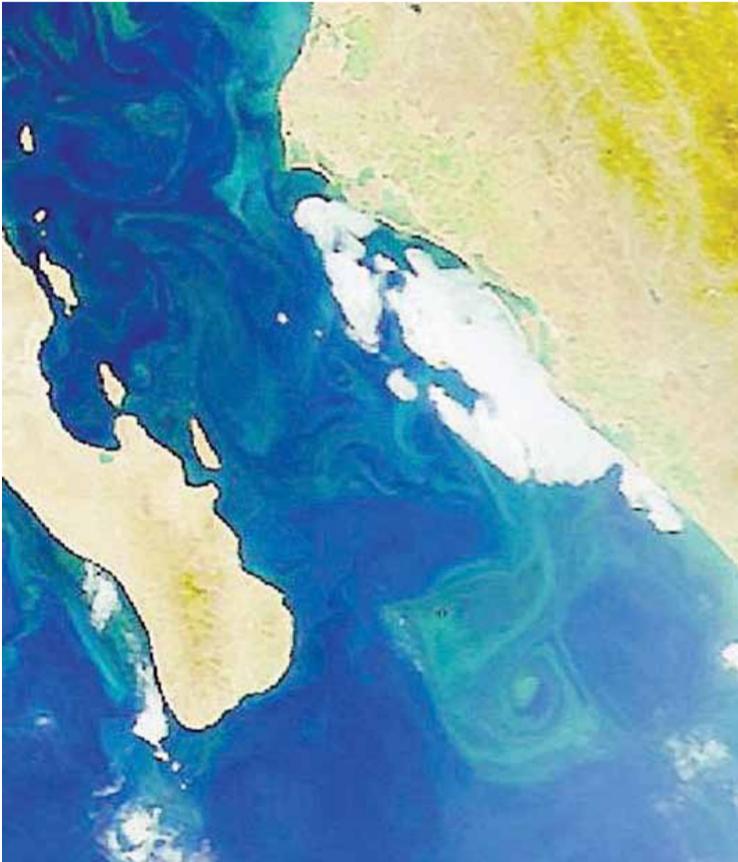


Figura 2. Vórtices dipolares en el Golfo de California y en una taza de café.

do. Sin embargo, el líquido que forma la gota no permanece en reposo mientras se evapora, sino que fluye del interior de la gota hacia fuera con el fin de reponer el agua evaporada. De esta forma, las diminutas partículas de café suspendidas en el líquido son transportadas por el flujo hasta el borde de la gota, apilándose y dando lugar al *anillo de café* (ver figura 3).

Si restringimos nuestra atención únicamente en las gotas de café, la explicación anterior pareciera no ir más allá de una curiosidad científica. Resulta, sin embargo, que este fenómeno se presenta en diversas aplicaciones de interés práctico. Los anillos de sedimentos descritos aquí son comunes para todas las gotas que contienen sólidos diminutos dispersos y que se evaporan sobre una superficie. Por tanto, este fenómeno influye en procesos tales como la impresión, el lavado y el revestimiento de superficies y ha sido objeto de

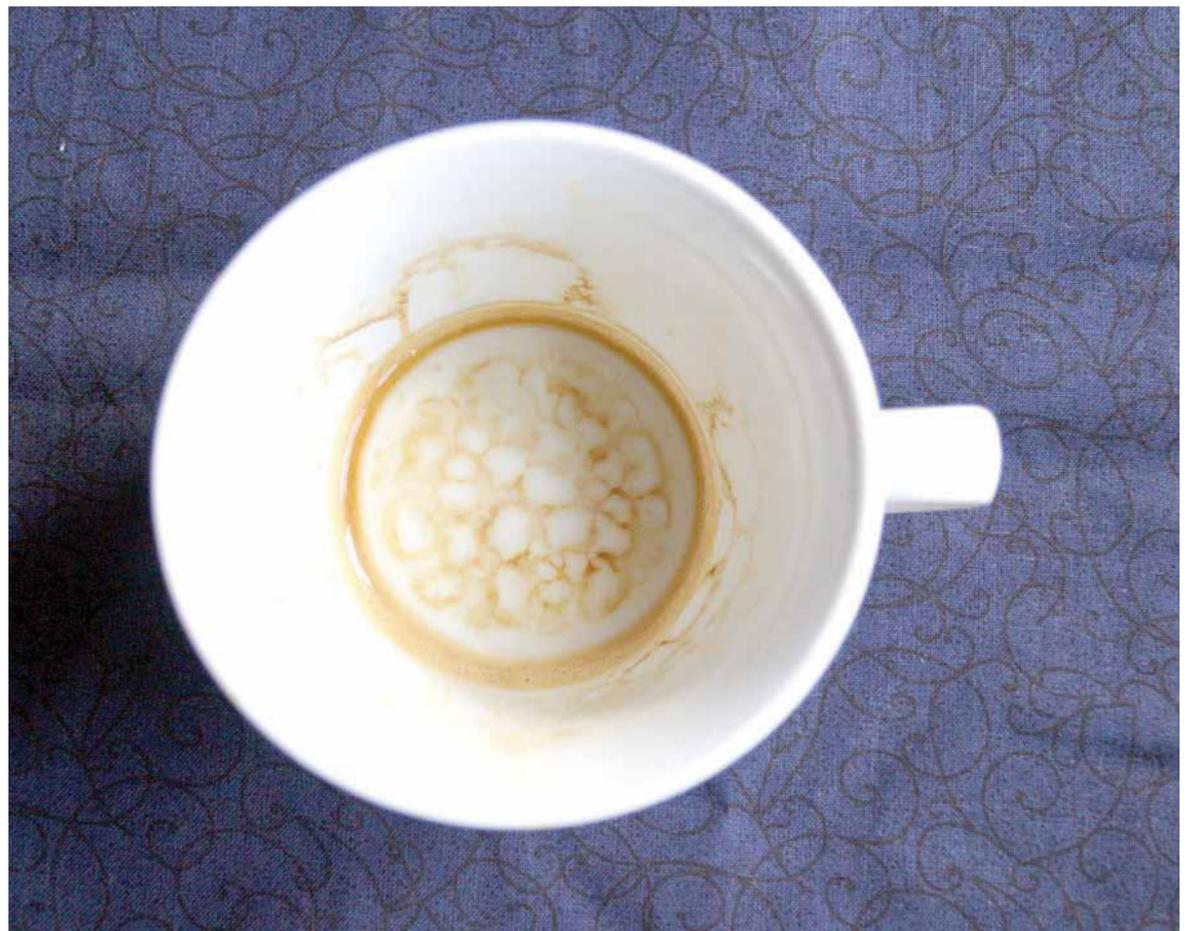


Figura 3. Anillos de café formados en el fondo de la taza al evaporarse las gotas de café.

profundos estudios científicos [2,3].

La próxima vez que tomemos una taza de café, añadamos el disfrute de la observación de los fenómenos físicos que ahí suceden.

#### Referencias

- [1] J. S. Wettlaufer, "The universe in a cup of coffee", *Physics Today*, **64** (5), 66, (2011).  
[2] Video de las celdas convectivas en el Sol:

[https://www.youtube.com/watch?v=W\\_Sco-j4HqCQ](https://www.youtube.com/watch?v=W_Sco-j4HqCQ)

[3] P. J. Yunker, D. J. Durian, A. G. Yodh, "Coffee rings and coffee disks: Physics on the edge", *Phys. Today* **66** (8), 60 (2013).

[4] R. D. Deegan, O. Bakajin, T. F. Dupont, G. Huber, S. R. Nagel, T. A. Witten, "Capillary flow as the cause of ring stains from dried liquid drops", *Nature*, **389**, 827 (1997).

**b**

