

# De la cocina a la industria: el mezclado de fluidos

ALDO FIGUEROA LARA

El Dr. Aldo Figueroa Lara es ingeniero electromecánico del Instituto Tecnológico de Zacatepec, obtuvo sus grados de maestría y doctorado en ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de México. Realizó estancias posdoctorales en el ISTerre (Francia) y en la Facultad de Ciencias (ahora CInC) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEMor). Perteneció al programa Investigadoras e Investigadores por México (antes Cátedras Conacyt), con adscripción al CInC-UAEMor. Actualmente es miembro activo de la Academia de Ciencias de Morelos.

Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la Academia de Ciencias de Morelos

## ¿Qué es una mezcla?

Prácticamente toda la gente ha experimentado alguna vez en su vida el mezclar alimentos o bebidas. Una mezcla es un material formado por dos o más componentes unidos, pero sin estar combinados químicamente [1]. El mezclado es uno de los procesos más antiguos utilizados por la humanidad y ha permitido aprovechar de mejor manera las sustancias que provee la naturaleza. La mayoría de los alimentos que consumimos son el resultado de mezclar diversos componentes (ver Figura 1a). Asimismo, un gran número de aplicaciones dentro de la industria (farmacéutica, química, metalúrgica, biofísica, entre otras) involucran un proceso de mezclado, donde el objetivo fundamental es conseguir una distribución lo más homogénea posible de los componentes para sinergizar su función (ver Figura 1b). Pareciera un concepto conciso, sin embargo, nos enfrentamos a incontables sutilezas para lograr su real entendimiento. Aunque es posible mezclar sustancias sólidas, aquí restringiremos la discusión al mezcla-

do de fluidos, es decir, líquidos y gases. En particular, debemos distinguir entre la agitación y el mezclado de fluidos, conceptos relacionados pero diferentes. Mientras que la agitación se refiere al movimiento inducido en un fluido por un agente externo, el mezclado conlleva la homogeneización de dos o más elementos. Entonces al agitar se puede o no producir mezclado y su estudio resulta de fundamental importancia dadas sus múltiples apariciones en fenómenos naturales y aplicaciones tecnológicas.

Los sistemas de combustión, la elaboración de pinturas o la oxigenación de la sangre son algunos ejemplos donde el mezclado juega un papel esencial. El propósito del mezclado es promover un buen contacto entre dos o más componentes, extendiendo el área de contacto entre los fluidos e incrementando la transferencia de masa, utilizando para ello el menor tiempo posible y usando la mínima cantidad de energía. Utilicemos un hábito cotidiano para ilustrar en esencia el proceso de mezclado en los fluidos: cuando vertemos una gota de leche o crema en una taza de café negro y agitamos suavemente con una cuchara, se puede observar la aparición de remolinos que eventualmente homogeneizan a la crema y el café en una mezcla uniforme de color marrón. Estos remolinos o vórtices son fenómenos ubicuos en la naturaleza que se presentan en una multitud de escalas y que a través de los años han llamado la atención de la humanidad. Las estructuras mostradas en la figura 2 fueron creadas en laboratorio, sin embargo, presentan similitudes con patrones de flujo encontrados en los océanos (como los chorros de marea) y la atmósfera (los huracanes y tornados), y son en gran medida los responsables a nivel terrestre del transporte y dispersión de sustancias químicas, partículas sólidas (contaminantes), o bien de nutrientes u organismos pequeños en los mares y lagos, por lo que el mezclado está íntimamente relacionado a diversos

FIGURA 2. AGITACIÓN electromagnética de fluidos. a) Mezclado localizado. b) Mezclado parcial. c) Mezclado óptimo.

procesos físicos y biológicos en la Tierra. El mezclado se presenta en muy diversas escalas de longitud, que abarcan desde las muy grandes, como es el caso del interior de las estrellas, o bien a escala planetaria, como en la atmósfera o el océano, hasta escalas muy pequeñas, milimétricas o micrométricas, como el mezclado que tiene lugar en los diminutos vasos sanguíneos. En los últimos

años han tenido un gran auge los dispositivos microfluídicos que tienen un tamaño de algunas micras (una micra es la milésima parte de un milímetro) y que son fabricados gracias a las técnicas de la microelectrónica. Tienen muchas aplicaciones médicas, biológicas y químicas, por ejemplo, en el análisis de compuestos o fluidos biológicos, o bien en la preparación de productos farmacéuticos a partir de una mínima cantidad de materia, en donde se requiere obtener rápidamente una mezcla homogénea de distintos componentes. Hay que mencionar que los procesos de mezclado involu-

cran también distintas escalas temporales que van de los miles o millones de años, como en eventos geológicos, a fracciones de segundo, como en los procesos de combustión.

Mientras que, en algunos casos, como en las aleaciones metalúrgicas o en la elaboración de pinturas, se busca llevar a cabo el proceso de mezclado de manera óptima, algunas veces se desea evitar, controlar o aun revertir el evento tanto como sea posible, como ocurre en los derrames accidentales de petróleo en el océano. Considerando su universalidad, recientemente se han implementado esfuerzos de investigación significativos para encontrar

rocas ígneas, es decir, de las rocas formadas a partir de erupciones volcánicas (Figura 1c), es necesario para hacer frente a las probables consecuencias de procesos eruptivos volcánicos.

## Mecanismos en el mezclado de fluidos

Desde un punto de vista fundamental, el mezclado de fluidos se puede desglosar en dos mecanismos básicos: la advección [4] y la difusión [5]. Cuando se agita un fluido, el primer mecanismo que se presenta es el advectivo, que se puede entender como el arrastre de materia debido al movimiento del fluido. La advección ocasiona que las interfaces entre

consecutivamente incrementando su longitud con el tiempo. El grosor de los filamentos decrece exponencialmente con el tiempo hasta que se alcanza un equilibrio en el cual la difusión empieza a ser significativa. La difusión consiste en el flujo neto de partículas dentro de un material que se mueven de forma espontánea de una región de alta concentración a una de baja concentración, hasta obtener una distribución uniforme. La difusión es un proceso que no requiere aporte energético externo y se origina debido a fuerzas de origen molecular. Retomemos el ejemplo de la mezcla entre la crema y el café al agitar mecánicamente con la cuchara. En las etapas tempranas del mezclado, los efectos advectivos (estiramiento y plegado) son los que dominan, es decir, lo que en un inicio era una gota de crema, al cabo de un tiempo se convierte en filamentos que se estiran y se doblan. Posteriormente, la difusión se encarga de disminuir aún más la concentración de los filamentos de crema en el café, que es el medio circundante, y finalmente obtener una mezcla homogénea. La advección y la difusión no necesariamente se presentan juntas en una determinada situación. Por ejemplo, si vertemos cuidadosamente la gota de leche para no perturbar el café en reposo, y decidimos no agitar con la cuchara, la leche se mezcla debido al mecanismo de difusión molecular. Sabemos por experiencia que en este caso el mezclado tomará mucho más tiempo que cuando agitamos mecánicamente el fluido. Entonces, la agitación activa al mecanismo de advección, el cual promueve una homogeneización mucho más rápida.

## Mecanismos de agitación y mezclado

Existen distintos mecanismos de agitación y mezclado [6]. Quizás lo más común es agitar un líquido contenido en un recipiente mediante fuerzas mecánicas, por ejemplo, al hacer girar rodetes o aspas, como en una licuadora. Otra manera es imponiendo una diferencia de temperatura entre dos regiones, tal como sucede (a grandes rasgos) en la atmósfera terrestre donde las corrientes de aire e incluso los huracanes se originan, en parte, por una diferencia de temperatura de gran magnitud entre diferentes regiones de la atmósfera. Pero también es posible agitar y mezclar fluidos que conducen la electricidad, tales como los electrolitos y los metales líquidos, utilizando fuerzas electromagnéticas [6]. La idea básica es introducir una corriente eléctrica dentro del medio, la cual interactúa con un campo magnético aplicado, por ejemplo, el producido por un imán permanente, dando lugar a lo que se conoce como la fuerza de Lorentz, que es capaz de agitar el líquido sin involucrar el uso de componentes mecánicos, como la cuchara en el ejemplo anterior. La agitación electromagnética resulta de interés en procesos industriales donde se requiere una alta pureza del mezclado, tal como en el procesamiento de metales o semiconductores, donde es importante lograr un mezclado eficiente en ausencia de materiales ajenos que puedan contaminar el producto. Por otra parte, muchos de los fluidos de interés químico, médico o biológico son electrolitos o contienen electrolitos, por lo que se pueden combinar los métodos electromagnéticos y los de la microfluídica para lograr aplicaciones biomédicas. Otro punto importante de la agitación electromagnética es su versatilidad. Haciendo un arreglo de corrientes inyectadas, así como de distribuciones de campo magnético, se puede manipular a voluntad el movimiento de los fluidos. En el experimento de la Figura 2, en un electrolito se colocaron dos

gotas de colorante, una verde y otra roja. Si el fluido se agita electromagnéticamente solo en dirección vertical, como en la Figura 2a), puede observarse la simetría respecto al eje vertical que muestra la distribución de los colorantes sin mezclarse. Dicha simetría, que impide el transporte de colorante entre los lados izquierdo y derecho, es ocasionada por la distribución simétrica de la fuerza. Lo anterior muestra claramente que la existencia de simetrías en el flujo inhibe la homogeneización completa de los colorantes, dando lugar a un mezclado localizado. Consecuentemente, si adicionamos una fuerza transversal, la simetría vertical se rompe, es decir, la acción de dos fuerzas ortogonales (que forman un ángulo recto), permite el transporte de colorante tanto en dirección vertical como horizontal, lo que da lugar al rompimiento de las simetrías y como resultado, se obtiene un mejor mezclado, como se muestra en la Figura 2b). En dicho caso, se puede observar un patrón de flujo tipo vórtice o remolino similar al que encontramos en las tazas de café con crema. La manera de lograr un mezclado eficiente en estas condiciones es propiciando un flujo caótico, o más precisamente, un flujo en donde las partículas de fluido sigan trayectorias caóticas, que son trayectorias altamente irregulares. Para ello, se pueden combinar las dos fuerzas ortogonales de tal manera que exista flujo en distintas direcciones, como lo muestra la Figura 2c).

## En conclusión

El mezclado es un proceso ubicuo, presente en la naturaleza, que se encuentra tanto en la cocina como en la industria. Su estudio a través del desarrollo de métodos teóricos y experimentales ha permitido establecer los fundamentos científicos que nos ayudan a comprender distintos fenómenos naturales a nuestro alrededor y a desarrollar dispositivos tecnológicos que mejoran nuestra vida cotidiana, como cuando nos refrescamos con una buena bebida, que no solo tiene los mejores ingredientes, sino un mezclado óptimo.

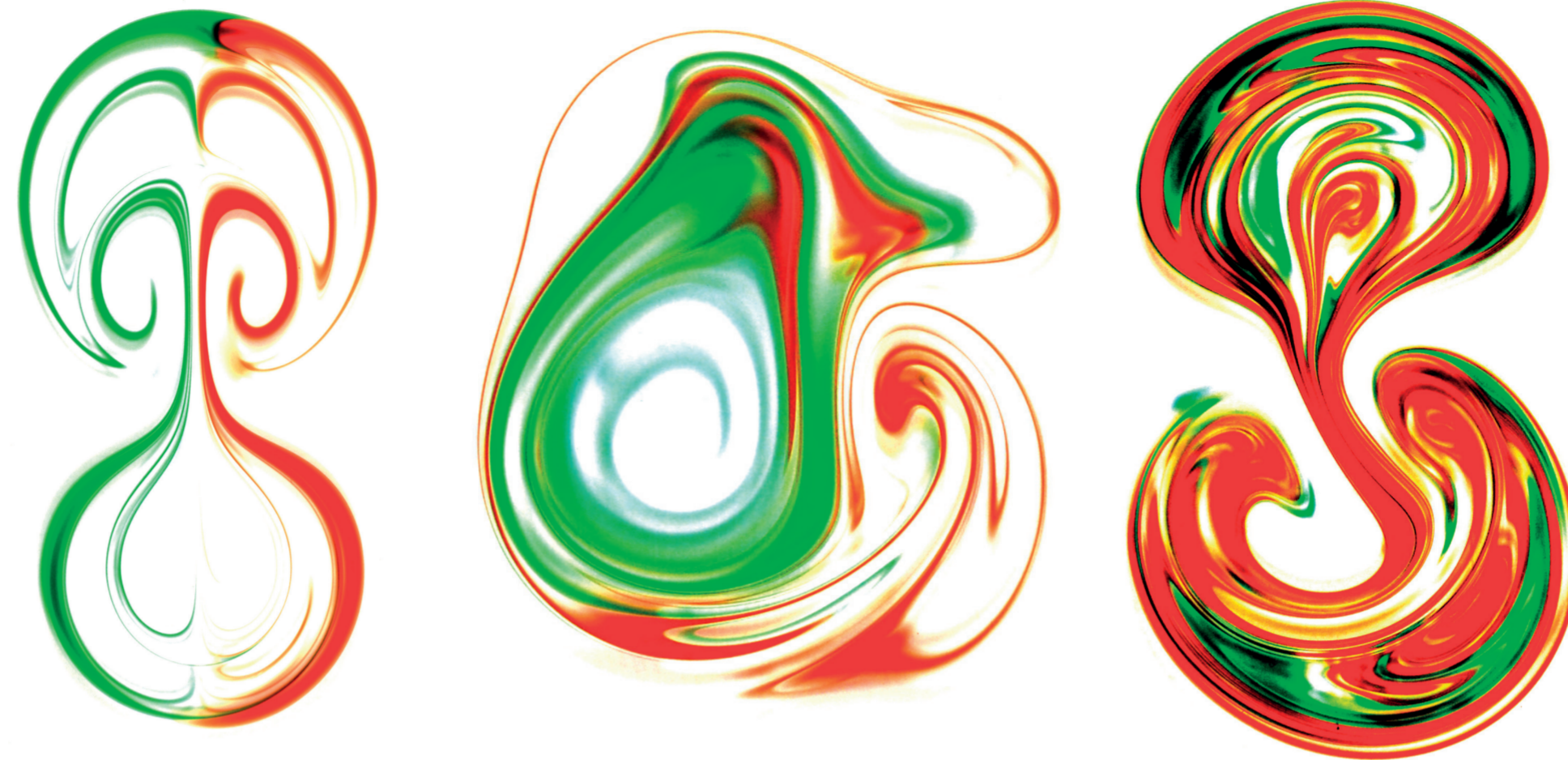
## Agradecimientos

Al programa "Investigadoras e Investigadores por México", así como a los proyectos 258263 y IN107921 de CONACYT y PAPIIT-UNAM, respectivamente.

## Referencias

- <https://pasteleria.top/galletas/galletas-en-espiral/>
- <https://fluidhandlingpro.com/fluid-process-technology/fluid-mixing-technology/>
- De Campos et al. Contrib Mineral Petrol 161, 863–881 (2011).
- <https://es.wikipedia.org/wiki/Advecci%C3%B3n>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Difusi%C3%B3n\\_\(f%C3%ADsica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Difusi%C3%B3n_(f%C3%ADsica))
- S. Cuevas y A. Figueroa, ¿Cómo se mezclan los fluidos? Memorias de la XX Escuela de Verano de Física, Junio 18-29, 2012, Instituto de Ciencias Físicas e Instituto de Física, UNAM. [https://www.fis.unam.mx/pdfs/Memorias\\_XXescuela\\_de\\_verano.pdf](https://www.fis.unam.mx/pdfs/Memorias_XXescuela_de_verano.pdf)

Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.



a)

b)

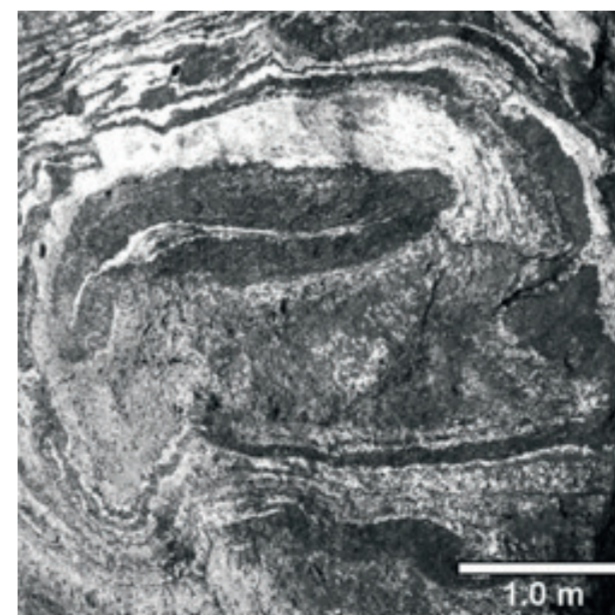
c)



a)



b)



c)

FIGURA 1. EJEMPLOS de mezclado de fluidos. a) Galletas espirales [1]. b) Elaboración de pinturas [2]. c) Lava petrificada (Lesvos, Grecia) [3].

ESTA PUBLICACIÓN FUE REVISADA POR EL COMITÉ EDITORIAL DE LA ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS

Para actividades recientes de la academia y artículos anteriores puede consultar: [www.acmor.org.mx](http://www.acmor.org.mx)  
¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: [editorial@acmor.org.mx](mailto:editorial@acmor.org.mx)

