

# El atasco como una transición de fase

A. Garcimartín<sup>1</sup>, R. Caitano<sup>1</sup>, B. V. Guerrero<sup>1</sup>, R. E. R. González<sup>2</sup>, and I. Zuriguel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Depto. de Física y Mat. Apl., Facultad de Ciencias, Universidad de Navarra, E-31080 Pamplona, Spain

<sup>2</sup> Laboratório de Sistemas Complexos e Universais, Departamento de Física, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, CEP 52171-900, Brasil

Los flujos de partículas sólidas presentan una característica, y es que pueden atascarse (cosa que suele suceder, por ejemplo, en una angostura o en un orificio). Para deshacer el atasco, con frecuencia se recurre a vibraciones. Si son lo suficientemente intensas, estas vibraciones pueden restablecer el flujo. En este proceso tan general, pueden darse dos casos en el límite de tiempos muy largos: o bien el atasco domina (y el número de partículas por unidad de tiempo tiende a cero), o bien el flujo promedio es mayor que cero.

Esta situación se asemeja a una transición de fase, donde el parámetro de control debe estar relacionado con la intensidad de la vibración, y el parámetro de orden con el flujo medio. En este trabajo se presentan algunos resultados experimentales con los que se describe la transición entre un sistema atascado y un sistema que fluye en el lenguaje de las transiciones de fase. El dispositivo experimental consiste en un silo bidimensional lleno de granos esféricos de diámetro  $l$ , con un orificio de tamaño  $D$  en la base [1], siendo  $D$  la longitud del orificio dividido por el diámetro del grano. A la zona de la base cercana al orificio se la perturba con una vibración sinusoidal de amplitud  $A$  y frecuencia angular  $\omega$ . Grabamos con una cámara de vídeo el orificio de salida, y mediante análisis de imágenes se determina si en cada instante están cayendo granos o no. De esa manera se obtiene una serie temporal con tiempos de flujo  $t_f$  e intervalos donde el flujo se interrumpe, de duración  $t_a$ .

Para comenzar, partimos de una observación relativa a los flujos intermitentes (en los cuales el sistema está a veces fluyendo y a veces no). La distribución de los tiempos de flujo ( $t_f$ ) es exponencial, mientras que la distribución de los intervalos en los que el flujo se interrumpe ( $t_a$ ) presenta una cola potencial. Los parámetros de estas distribuciones dependen de la intensidad de la vibración. El punto clave es que  $\langle t_f \rangle$  siempre converge, por ser una distribución exponencial; pero  $\langle t_a \rangle$  puede diverger, si el exponente de la ley de potencias es suficientemente pequeño. Se puede definir entonces

$$\Phi = \frac{\langle t_f \rangle}{\langle t_f \rangle + \langle t_a \rangle}$$

que es la fracción de tiempo durante la cual el sistema está fluyendo. Si  $\langle t_a \rangle$  diverge,  $\Phi \rightarrow 0$ . Tomaremos esa cantidad,  $\Phi$ , como parámetro de orden (pues es cero en el sistema atascado, y mayor que cero en el caso de que fluya, aunque sea de manera intermitente).

Como parámetro de control, tras explorar varias posibilidades, escogimos

$$S = \frac{A\omega}{\sqrt{gl}}$$

porque todos los experimentos con idéntico valor de  $S$ , aun para distintas frecuencias o amplitudes de la vibración, proporcionan el mismo  $\Phi$ . Por tanto,  $S$  es un buen parámetro de control.

Para cada experimento, hallamos  $\Phi$ , y encontramos  $S_c$  (el valor de  $S$  para el que se anula  $\Phi$ ). Si se representa  $\Phi$  en función de la supercriticalidad  $\frac{S-S_c}{S_c}$  para diferentes tamaños de orificio  $D$ , se obtiene el gráfico mostrado en la Figura 1. Aunque el ruido de nuestros datos no permite un ajuste preciso, la curva es compatible con un exponente crítico  $1/2$ . Por otro lado, el diagrama de fases en el espacio  $S - D$  viene definido por los valores de  $S_c$ , que separan la fase atascada de la que no lo está (Figura 1). Es posible que el término fase no sea riguroso en este contexto, pero se ha propuesto como marco para entender de manera genérica este fenómeno [2].

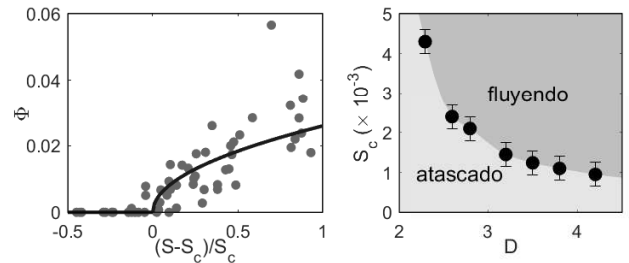


Fig. 1. *Izquierda*: El parámetro de orden  $\Phi$  en función de la supercriticalidad  $\frac{S-S_c}{S_c}$ , para diferentes tamaños del orificio.

La curva sólida corresponde a  $\Phi = \left(\frac{S-S_c}{S_c}\right)^{1/2}$  *Derecha*: el diagrama de fases.

[1] R. Caitano, B.V. Guerrero, R. E. R. González, I. Zuriguel, and A. Garcimartín, Phys. Rev. Lett. **127**,148002 (2021).

[2] I. Zuriguel, D. R. Parisi, R. C. Hidalgo, C. Lozano, A. Janda, P. A. Gago, J. P. Peralta, L. M. Ferrer, L. A. Pugnaroni, E. Clément, D. Maza, I. Pagonabarraga, and A. Garcimartín, Scientific Reports **4**, 7324 (2014).