

# Segregación en un gas granular denso bajo la acción de la gravedad

Vicente Garzó\*

Departamento de Física  
Universidad de Extremadura  
06071 Badajoz

La segregación y el mezclado de granos de distinto tamaño y/o masa en mezclas granulares vibradas es uno de los problemas más importantes en medios granulares tanto desde el punto de vista fundamental como práctico. Mientras que en algunos casos es deseable y útil separar partículas de distinto tipo, en otros muchos casos puede resultar ser un efecto no deseado y difícil de controlar. Aunque distintos mecanismos han sido propuestos para entender el fenómeno, el problema dista mucho de estar completamente cerrado. Entre los distintos mecanismos físicos involucrados en la segregación, la difusión térmica es el mecanismo más relevante cuando la amplitud de vibración es alta y el medio granular se comporta como un gas granular. En ese régimen, la teoría cinética convenientemente adaptada a sistemas disipativos resulta ser una herramienta útil para poder entender a nivel más fundamental el fenómeno de la segregación.

Nuestro modelo va a ser una mezcla binaria de discos ( $d = 2$ ) o esferas ( $d = 3$ ) duras inelásticas de masas  $m_i$  and tamaños  $\sigma_i$ . Sin pérdida de generalidad supondremos que  $\sigma_1 > \sigma_2$ . Las colisiones entre las distintas parejas son inelásticas y están caracterizadas por 3 coeficientes normales de restitución  $\alpha_{ij} \leq 1$ . El sistema está en presencia del campo gravitatorio  $\mathbf{g} = -g\hat{\mathbf{e}}_z$ , donde  $g$  es una constante positiva y  $\hat{\mathbf{e}}_z$  es el vector unitario en la dirección positiva del eje  $z$ . La mezcla está calentada por la acción de una fuerza externa estocástica que imita el papel de un baño térmico. Aunque en los experimentos reales la energía es inyectada en el sistema mediante paredes vibrantes, resultados obtenidos recientemente<sup>1</sup> en presencia de este termostato estocástico muestran un buen acuerdo con datos de simulación<sup>2</sup> de mezclas vibradas. El factor de difusión térmico  $\Lambda_{12}$  se define en el estado estacionario en el que los flujos de masa  $\mathbf{j}_i$  se anulan. En estas condiciones,  $\Lambda_{12}$  viene dado por

$$-\Lambda_{12}\nabla\ln T = \left(\frac{\nabla n_1}{n_1} - \frac{\nabla n_2}{n_2}\right), \quad (1)$$

donde  $n_i$  es la densidad numérica de partículas de la especie  $i$ . Si suponemos que la gravedad y el gradiente térmico son paralelos (de modo que la pared inferior está más caliente que la superior), si  $\Lambda_{12} > 0$  las partículas de mayor tamaño se acumularán en la parte superior de la muestra, mientras que si  $\Lambda_{12} < 0$ , las partículas de mayor tamaño se acumularán en la parte inferior de la muestra. La primera situación se suele referir como el efecto de nueces de Brasil (BNE) mientras que la segunda es el efecto inverso de nueces de Brasil (RBNE). En consecuencia la determinación de  $\Lambda_{12}$  nos proporciona un criterio de segregación en el sistema.

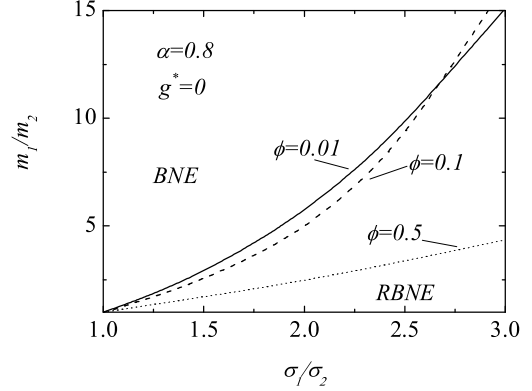


Figura 1. Diagrama fases para la transición BNE/RBNE para  $\alpha_{ij} \equiv \alpha = 0.8$  en ausencia de campo gravitatorio para tres valores distintos de la fracción sólida de volumen  $\phi$ .

El objetivo de este trabajo es calcular el factor de difusión térmica en el caso límite de difusión de un intruso o impureza ( $n_1/n_2 \rightarrow 0$ ) en un gas granular denso. El punto de partida será la reciente solución<sup>3</sup> encontrada para la ecuación de Enskog, la cual es válida para cualquier grado de disipación y para sistemas moderadamente densos. En particular, a primer orden en los gradientes, el flujo de masa  $j_{1,z}$  viene dado por

$$j_{1,z} = -\frac{m_1^2}{\rho}D_{11}\partial_z n_1 - \frac{m_1 m_2}{\rho}D_{12}\partial_z n_2 - \frac{\rho}{T}D_1^T\partial_z T, \quad (2)$$

donde  $D_{11}$ ,  $D_{12}$ , y  $D_1^T$  son los coeficientes de transporte relevantes. El conocimiento de las expresiones de dichos coeficientes así como de la ecuación de estado nos permite obtener el factor  $\Lambda_{12}$  en términos de los parámetros del sistema. La condición  $\Lambda_{12} = 0$  proporciona un criterio para la transición BNE  $\Leftrightarrow$  RBNE. A modo ilustrativo, en la Fig. 1 se muestra un diagrama de fases BNE/RBNE característico en ausencia de campo gravitatorio. La región por encima (debajo) de las líneas corresponde a BNE (RBNE). Es claro que en este caso el tamaño de la región RBNE disminuye a medida que aumenta la densidad del gas granular.

\* vicenteg@unex.es

<sup>1</sup> V. Garzó, Europhys. Lett. **75**, 521 (2006).

<sup>2</sup> M. Schröter *et al.*, Phys. Rev. E **74**, 011307 (2006).

<sup>3</sup> V. Garzó, J. W. Dufty and C. M. Hrenya, Phys. Rev. E **76**, 031303 (2007); V. Garzó, C. M. Hrenya and J. W. Dufty, Phys. Rev. E **76**, 031304 (2007).

<sup>4</sup> <http://www.unex.es/fisteor/vicente>