

## Control retardado de una flashing ratchet

M. Feito\* y F. J. Cao

*Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear, Universidad Complutense de Madrid, Avenida Complutense s/n, 28040 Madrid, Spain.*

Las ratchets o motores brownianos son rectificadores de fluctuaciones térmicas con interés teórico en física estadística fuera del equilibrio y con potenciales aplicaciones en biología, materia condensada y nanotecnología<sup>1</sup>. En particular, las flashing ratchets consiguen un flujo neto de partículas mediante el apagado y encendido de un potencial periódico asimétrico. Se habla de ratchets de ciclo abierto<sup>1</sup> cuando se actúa sobre el potencial independientemente del estado del sistema, como por ejemplo un encendido y apagado periódico. En contraposición, las ratchets retroalimentadas o de ciclo cerrado<sup>2</sup> usan información de la posición de las partículas para operar sobre el potencial. Estas últimas tienen especial relevancia teórica como rectificadores brownianos capaces de producir altos rendimientos, por lo que pueden ser relevantes como dispositivos nanotecnológicos. Además, las ratchets de ciclo cerrado han sido sugeridas recientemente como mecanismos que explican el comportamiento de ciertos motores moleculares biológicos<sup>3</sup>.

En sistemas físicos reales hay siempre un retardo temporal entre la medida del estado del sistema y la posterior acción del controlador. En esta presentación discutiremos los efectos de un retardo temporal en el control retroalimentado de una flashing ratchet colectiva<sup>4</sup> que opera de acuerdo al protocolo de maximización instantánea de la velocidad<sup>2</sup>. Discutiremos también como nuestros resultados apuntan hacia la viabilidad de la implementación experimental (mediante un dispositivo de monitorización de partículas<sup>5</sup>) de una ratchet retroalimentada con un rendimiento igual o mayor que el obtenido para ciclo abierto.

Para ratchets de una y pocas partículas hemos encontrado que el flujo decrece conforme el retardo temporal aumenta hasta alcanzar un valor asintótico no nulo como consecuencia de la decorrelación del estado real del sistema con la información que el controlador usa. Aun así, la ratchet de ciclo cerrado tiene un mayor rendimiento que su homóloga de ciclo abierto siempre que los retardos sean menores que los tiempos característicos de la dinámica del sistema. Véase Fig. 1 (panel superior). Por otra parte, en el caso de muchas partículas hemos encontrado que para retardos suficientemente grandes el rendimiento del sistema es mayor que el de la ratchet instantáneamente retroalimentada. Este resultado sorprendente se explica por la aparición de un nuevo régimen dinámico en el que gracias al retardo se estabilizan soluciones cuasiperiódicas. Además, el sistema puede presentar multiestabilidad, esto es, varias soluciones pueden ser estables para un retardo temporal dado. Véase Fig. 1 (panel inferior). Resultados similares se han encontrado cuando se mide de forma discreta si los intervalos entre

medidas son menores que el retardo temporal<sup>6</sup>.

Finalmente, comentaremos cómo la presencia de retardo temporal en el control puede dar lugar a inversiones de corriente cuando la dirección del flujo favorecida por la asimetría del potencial compite con la dirección del flujo favorecida por el propio protocolo retroalimentado<sup>7</sup>. La variación del retardo permite modificar el peso efectivo de estas asimetrías y variar así el sentido del flujo neto.

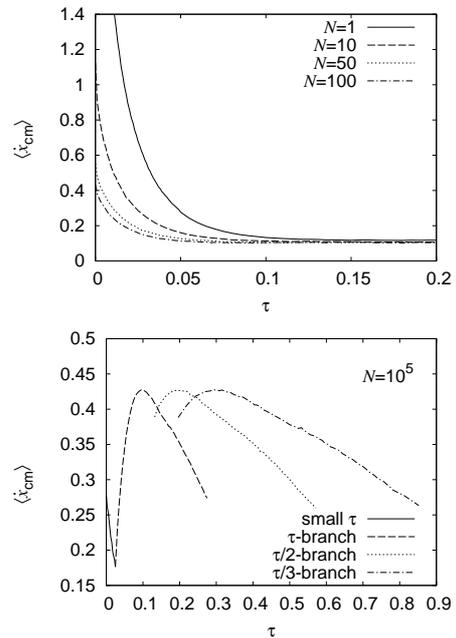


Figura 1. Panel superior: Flujo vs retardo temporal para distinto número  $N$  de partículas en el régimen de pocas partículas. Panel inferior: Flujo vs retardo temporal en el régimen de muchas partículas.

\* feito@fis.ucm.es

<sup>1</sup> P. Reimann, Phys. Rep. **361**, 57 (2002).

<sup>2</sup> F. J. Cao, L. Dinis, and J. M. R. Parrondo, Phys. Rev. Lett. **93**, 040603 (2004).

<sup>3</sup> M. Bier, Biosystems **88**, 301 (2007).

<sup>4</sup> M. Feito and F. J. Cao, Phys. Rev. E **76**, 061113 (2007).

<sup>5</sup> J. Rousselet, L. Salome, A. Ajdari, and J. Prost, Nature **370**, 446 (1994); C. Marquet, A. Buguin, L. Talini, and P. Silberzan, Phys. Rev. Lett. **88**, 168301 (2002); A. E. Cohen and W. E. Moerner, PNAS **103**, 4362 (2006).

<sup>6</sup> E. M. Craig, B. R. Long, J. M. R. Parrondo, and H. Linke, Europhys. Lett. **81**, 10002 (2008).

<sup>7</sup> M. Feito and F. J. Cao, *Transport reversal in a delayed feedback ratchet*, arXiv:0711.4784 (2007).