

Reducción de entropía por información en *flashing ratchets* retroalimentadas

Daniel Villarrubia Moreno¹ y Francisco J. Cao García^{1,2}

¹Departamento de Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica, Universidad Complutense de Madrid, pl. Ciencias 1, 28040 Madrid, España

²Instituto Madrileño de Estudios Avanzados en Nanociencia (IMDEA Nanociencia), c. Faraday 9, 28049 Madrid, España

Las *ratchets* son sistemas que generan un flujo de partículas en contra de una cierta fuerza externa mediante la rectificación de su movimiento browniano, de manera que puede obtenerse una cierta cantidad de trabajo de ellas. Su funcionamiento se basa en el encendido o apagado de un determinado potencial que obliga a las partículas a desplazarse hasta sus mínimos cuando está encendido, y que las permite difundir libremente cuando está apagado. El encendido y apagado del potencial está determinado por un protocolo que puede ser retroalimentado. En este caso, cada cierto tiempo se mide la posición de las partículas en el sistema, y con la información obtenida se determina qué acción realizar con el potencial. El uso de la información sobre el estado del sistema permite optimizar el protocolo de control y así extraer una cantidad mayor de trabajo.

En el estudio de los motores brownianos, supondremos que las partículas que lo componen siguen una evolución caracterizada por una cadena markoviana, lo que lleva a que su ecuación de evolución es la ecuación de Langevin sobreamortiguada

$$\gamma\dot{x} = -\alpha(t)\partial_x V(x) + F_{\text{ext}}(x) + \xi(t). \quad (1)$$

La correlación existente entre la medida de la posición de la partícula y la consecuente acción posterior del controlador implica una reducción de la entropía física del sistema entre antes y después de cada medida y actuación del controlador. Esta reducción resulta ser exactamente la información mutua entre la posición y la acción llevada a cabo.

Generalizando esto para una serie de k medidas consecutivas, y teniendo en cuenta la no markovicidad del historial de acciones del controlador (por venir prefijadas por la posición), se obtiene la tasa de reducción de entropía

$$\Delta H_k(C) = \lim_{k \rightarrow \infty} \frac{H(C_k, C_{k-1}, \dots, C_1)}{k}. \quad (2)$$

Este límite no se sabe obtener explícitamente por la no markovicidad de las acciones del controlador; por eso aquí obtenemos numéricamente los primeros órdenes del mismo. Se entiende por órdenes los distintos valores crecientes del número de medidas k . Existen unas cotas entre las cuales debe encontrarse el valor de dicho límite: H_{up} y H_{low} .

El análisis de estos resultados muestra que debido a la redundancia de la información, la reducción de entropía es mayor para mayores periodos de control, mientras que la reducción de entropía por unidad de tiempo es mayor para tiempos de control más cortos.

[2] J. Jarillo, T. Tangarife, and F. J. Cao, Efficiency at maximum power of a discrete feedback ratchet, Phys. Rev. E **93**, 012142 (2016).

[3] F. J. Cao and M. Feito, Thermodynamics of feedback controlled systems, Phys. Rev. E **79**, 041118 (2009).

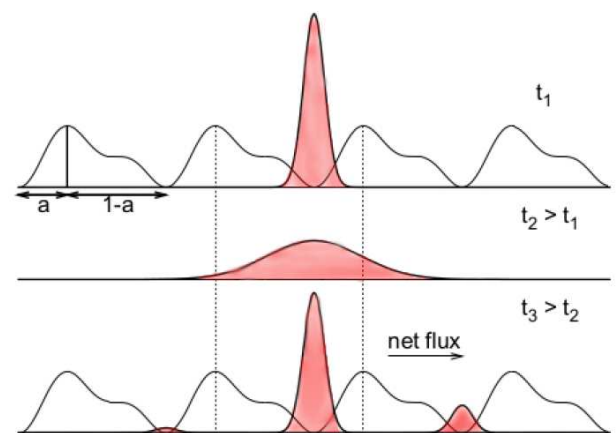


Fig. 1. Evolución de las partículas en el interior de la *ratchet*. Obsérvese cómo la fase del potencial apagado permite sobrepasar el máximo del potencial, lo que es poco probable cuando está encendido. La asimetría del potencial o del protocolo son claves para generar transporte dirigido.

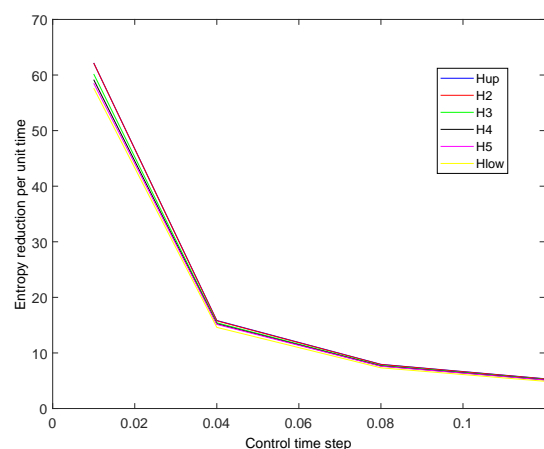


Fig. 2. Reducción de entropía por unidad de tiempo en función del tiempo de control. Las distintas líneas muestran los distintos órdenes calculados, así como las cotas superior e inferior existentes.

[1] D. V. Moreno, *Reducción de Entropía por Información en Ratches Retroalimentadas Espacialmente Continuas*, trabajo de fin de máster, Universidad Complutense de Madrid, 2017.