

Interacción entre partículas en 2D

Física computacional I

Luis Hernando Beltrán García

Universidad de Pamplona



En este proyecto, desarrollamos una simulación en Python para estudiar cómo se comporta un conjunto de partículas cargadas que interactúan entre sí mediante la fuerza de Coulomb. A través de este modelo, analizamos la evolución dinámica del sistema, observando aspectos como las trayectorias, las energías cinética y potencial, y la temperatura, entendida como una manifestación macroscópica de la energía cinética promedio.

Análisis de trayectorias

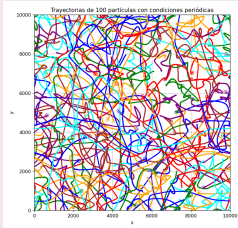


Figure: Trayectorias de 100 partículas.



Figure: Trayectorias de 50 partículas.

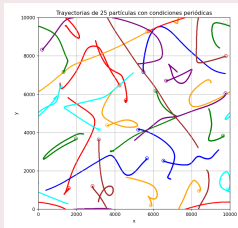


Figure: Trayectorias de 25 partículas.

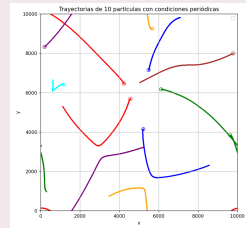


Figure: Trayectorias de 10 partículas.

- La primera interpretación que podemos obtener del análisis de estas gráficas es que, a mayor número de partículas, el sistema se comporta de forma más colectiva y compleja. Las interacciones dominan y el movimiento individual es impredecible.
- Podemos observar que a medida que va disminuyendo el número de partículas la dinámica colectiva pierde fuerza; el movimiento es más individualizado.
- Para el último caso que son diez partículas podemos observar trayectorias claramente separadas y reconocibles y se pueden identificar fácilmente los efectos de reflexión por los bordes periódicos.

Análisis de energías

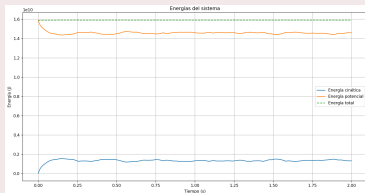


Figure: Energías del sistema para 100 partículas.

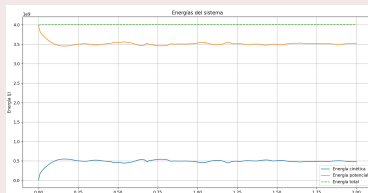


Figure: Energías del sistema para 50 partículas.

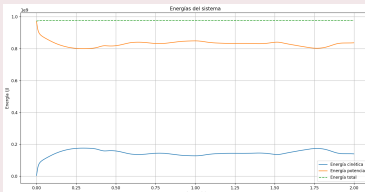


Figure: Energías del sistema para 25 partículas.

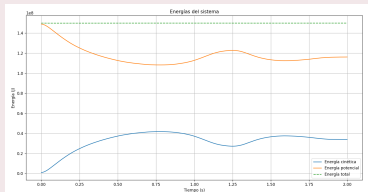


Figure: Energías del sistema para 10 partículas.

Análisis de energías

- Analizando la primera gráfica de energía, podemos observar que el sistema se estabiliza rápido. El gran número de partículas suaviza las oscilaciones por promediar muchas interacciones.
- Analizando la segunda gráfica se nota un ligero desbalance transitorio en la energía total al principio. Con menos partículas, las fluctuaciones individuales pesan más. Aun así, el sistema alcanza un equilibrio razonable.
- Para la tercera gráfica tenemos Mayor amplitud de oscilación en la energía potencial y cinética. El sistema aún conserva energía, pero el menor número de partículas genera mayor sensibilidad a las interacciones individuales.
- Para la cuarta gráfica la cinética y la potencial muestran oscilaciones amplias e irregulares, no se alcanza un equilibrio claro como en los casos con más partículas. En sistemas muy pequeños, el comportamiento es menos estable y la energía total puede verse afectada por efectos numéricos o de borde.

Análisis de evolución de la energía y la temperatura

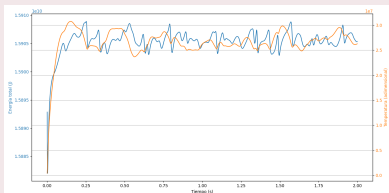


Figure: Evolución de la EvsT para 100 partículas

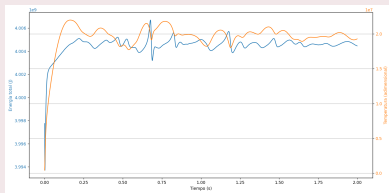


Figure: Evolución de la EvsT para 50 partículas

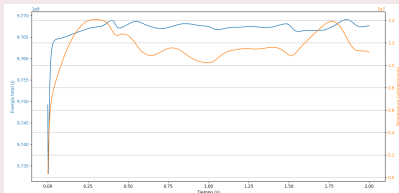


Figure: Evolución de la EvsT para 25 partículas

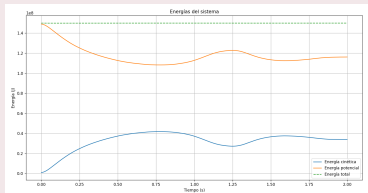


Figure: Evolución de la EvsT para 10 partículas

Análisis de evolución de la energía y la temperatura

- Para las 100 partículas, podemos observar tanto la energía total como la temperatura muestran fluctuaciones acotadas tras un aumento inicial. Tras una fase de “calentamiento inicial”, las propiedades termodinámicas se estabilizan.
- Para 50 partículas, el comportamiento es muy similar aunque con oscilaciones ligeramente más pronunciadas. Reducción de partículas aumenta la variabilidad del sistema, pero sigue manteniendo la relación proporcional $E \propto T$.
- Para 25 partículas las oscilaciones de energía y temperatura son más amplias y menos regulares. Menos partículas implican menos capacidad para amortiguar perturbaciones y más sensibilidad al azar de las condiciones iniciales.
- Para 10 partículas hay un comportamiento más caótico y menos sincronizado. A escalas muy pequeñas, el sistema pierde su carácter termodinámico. La relación entre energía y temperatura se vuelve menos confiable y más susceptible a errores de simulación.

Análisis del estado del sistema de TvsE a lo largo del tiempo

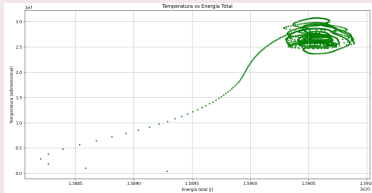


Figure: Sistema de TvsE a lo largo del tiempo 100 partículas

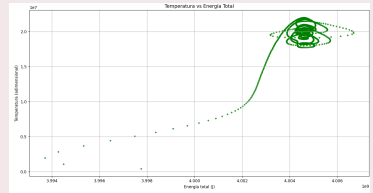


Figure: Sistema de TvsE a lo largo del tiempo 50 partículas

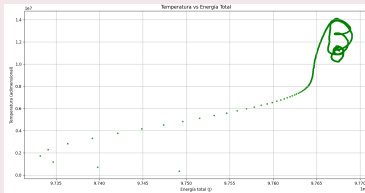


Figure: Sistema de TvsE a lo largo del tiempo 25 partículas

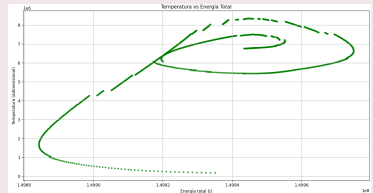


Figure: Sistema de TvsE a lo largo del tiempo 10 partículas

Análisis del estado del sistema de TvsE a lo largo del tiempo

- Para 100 partículas el sistema grande y estable, con comportamiento termodinámico bien definido. El “nudo” indica que el sistema ha llegado a un equilibrio en el que las variables fluctúan de forma acoplada.
- Para 0 partículas, con menos partículas, el sistema sigue alcanzando un equilibrio dinámico, pero con mayor dispersión y menos suavidad.
- Para 25 partículas, el sistema aún logra entrar en una región de estabilidad, pero las fluctuaciones son más pronunciadas. Indica menor amortiguación de las variaciones de energía.
- Para 10 partículas, el sistema no alcanza un equilibrio bien definido. Las fluctuaciones de energía y temperatura son grandes y menos predecibles. Refleja que el número reducido de partículas limita la validez estadística del sistema.

Conclusion

- A mayor número de partículas, las trayectorias se vuelven altamente caóticas e impredecibles, con múltiples entrecruzamientos y bucles.
- Los sistemas grandes alcanzan un estado de equilibrio dinámico, representado por una espiral cerrada o “nudo” en el espacio T vs E .
- Sistemas grandes reproducen de forma efectiva los principios de la termodinámica clásica.
- Sistemas pequeños permiten observar con más claridad el efecto de las condiciones iniciales y de borde, pero son menos representativos de un comportamiento colectivo estable.

Thank you!
Questions?