



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Modelo de Ising 2D: Explorando la paralelización

Presentado por:

Santiago Ruiz Piedrahita

Maestría en Física

Universidad de Antioquia

● Contenido

- Modelo de Ising.
- Análisis modelo Ising 2D y transiciones de fase .
- Comparación entre computación en serie y paralela.

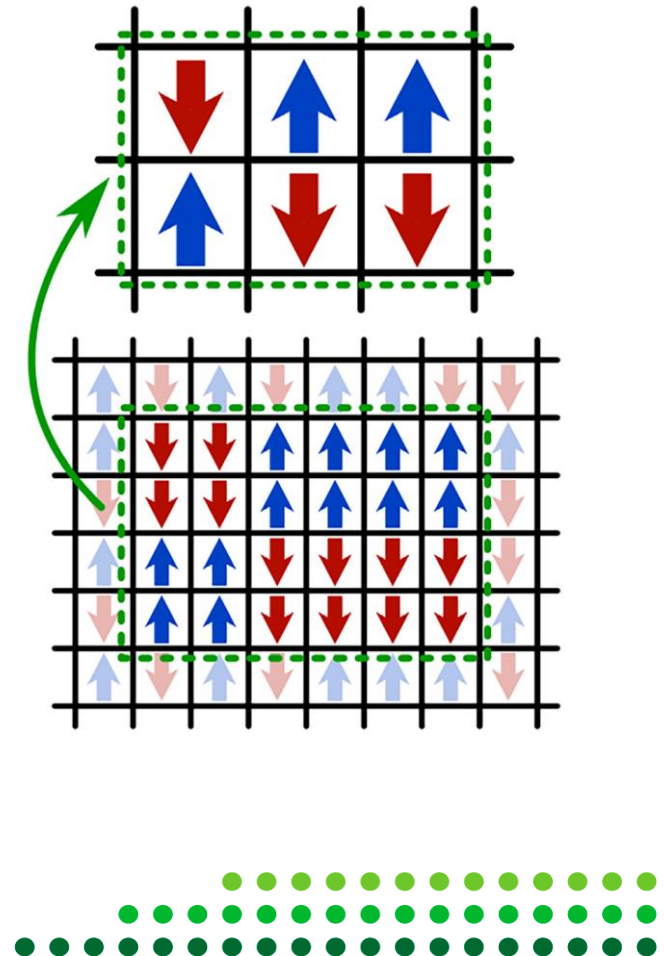


● Modelo de Ising

Es un modelo clásico de la física estadística que describe sistemas de espines en una red. Cada espín puede tomar dos valores (+1 o -1) y puede interactuar con sus vecinos. Este modelo es clave para entender transiciones de fase.



$$\mathcal{H} = -J \sum_{\langle i,j \rangle} \sigma_i \sigma_j - h \sum_i \sigma_i$$



● Modelo de Ising

El sistema evoluciona hacia configuraciones con menor energía según la estadística de Boltzmann:

$$P(S) = \frac{e^{-H/K_B T}}{Z}$$

Unidades adimensionales.

$$K_B = 1$$

Solo para ($J = 1$) – Sistemas ferromagnéticos.

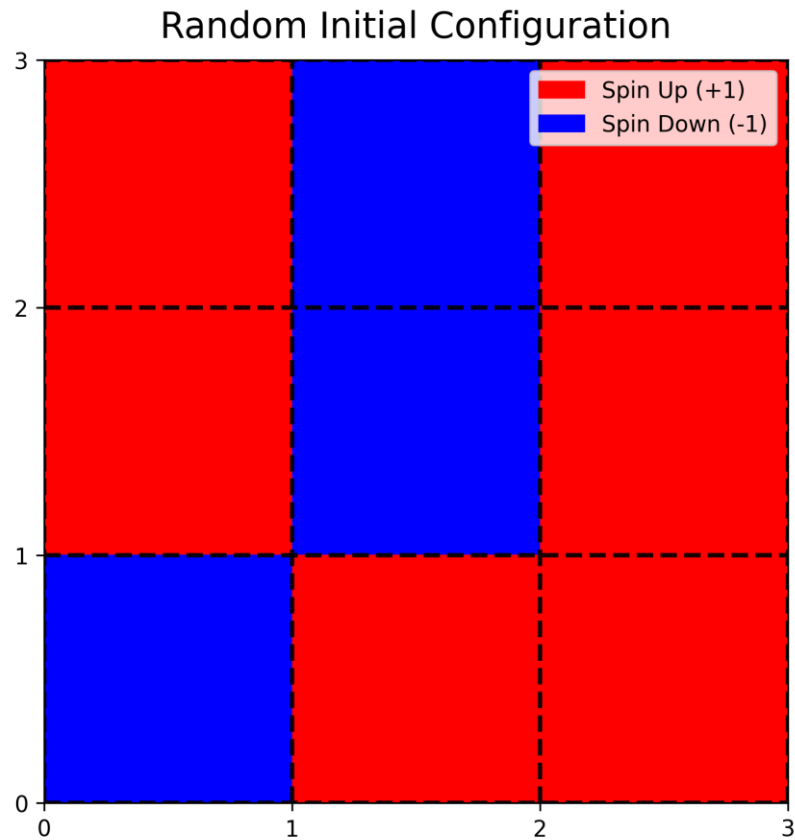
$$M = \sum_i \sigma_i$$

$$C_v = \frac{1}{k_B T^2} (\langle E^2 \rangle - \langle E \rangle^2)$$

$$\chi = \frac{1}{k_B T} (\langle M^2 \rangle - \langle M \rangle^2)$$



● Modelo básico 2D



Condiciones de frontera:

- Periódicas
- No periódicas

Configuración inicial:

- Aleatorio
- Ordenado

Temperatura:

- $T = 1.0$
- $T = 2.269$
- $T = 5$

Campo magnético:

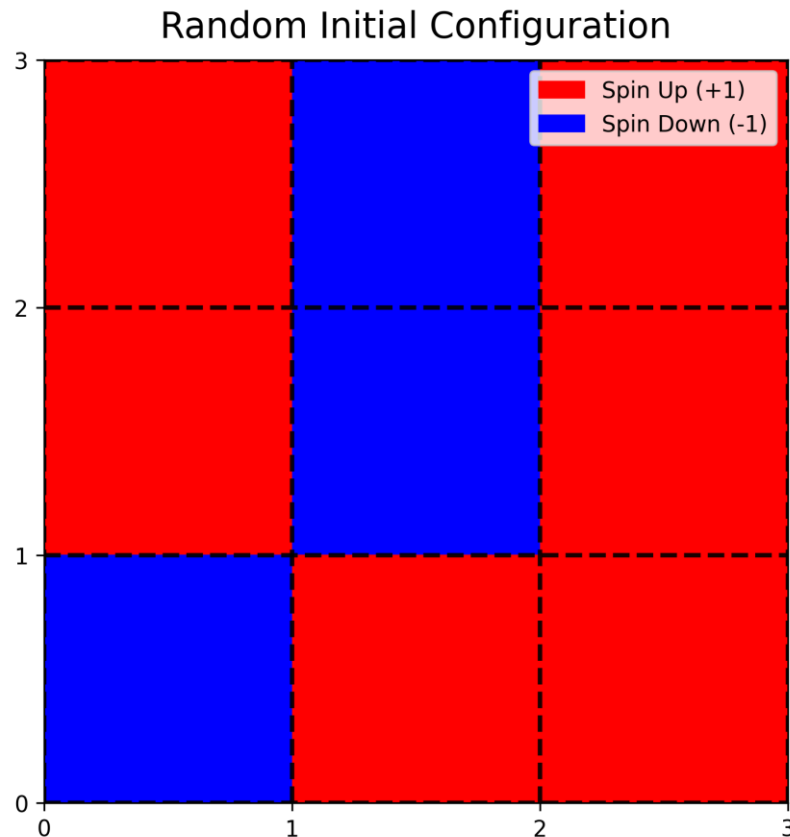
- $h = 0$
- $h \neq 0$

Integral de intercambio:

- $J = 1$
- $J = -1$



● Algoritmo de metrópolis



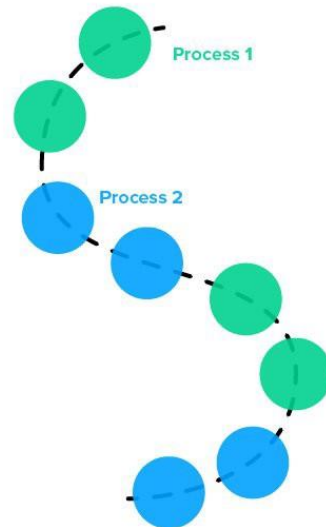
- Seleccionar un espín al azar.
- Calcular la variación de energía ΔE al invertir el espín.
- generar un número aleatorio r entre $[0, 1]$
- Si $r < e^{-\beta \Delta E}$ aceptar el cambio.
- Si el cambio es aceptado, actualizar el espín y la energía.
- Repetir hasta n iteraciones.



● Objetivo

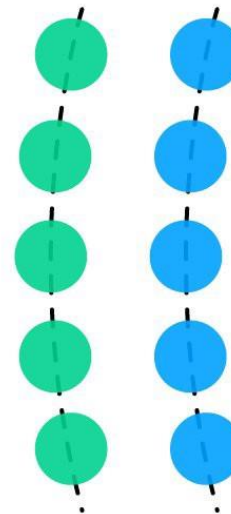


Concurrency

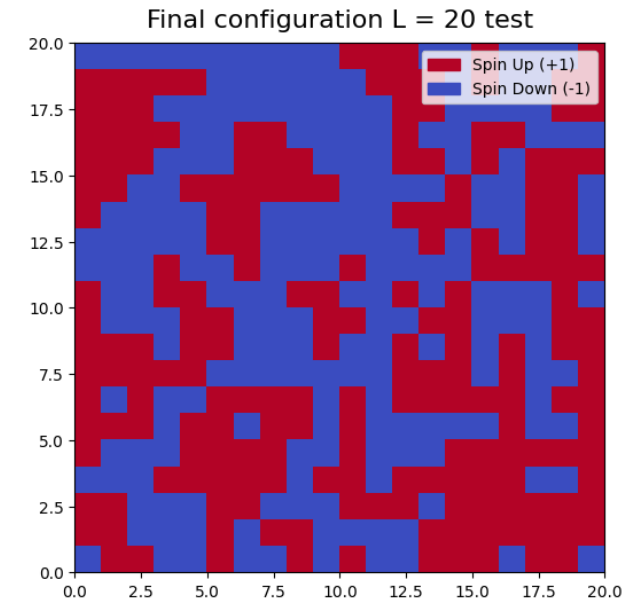
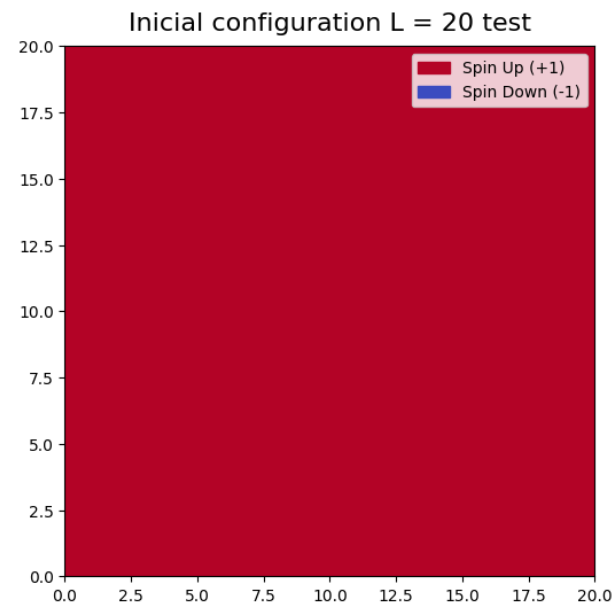


VS

Parallelism



- Test ($L = 20$, $T = 5$)



Programa de testeo para $L = 20$

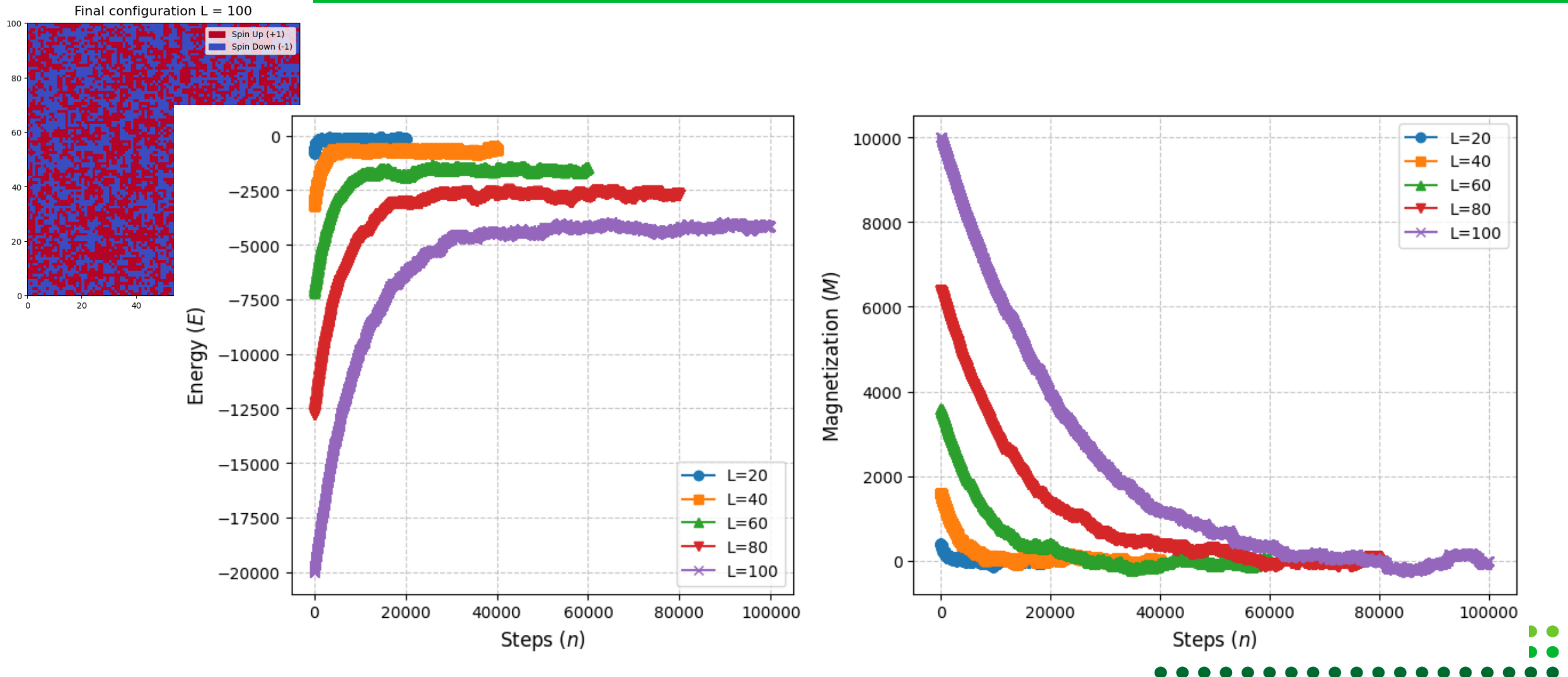
El testeo para $L = 20$, para $T = 5.0$, se demora 0.29757 s



Programa de testeo para $L = 20$

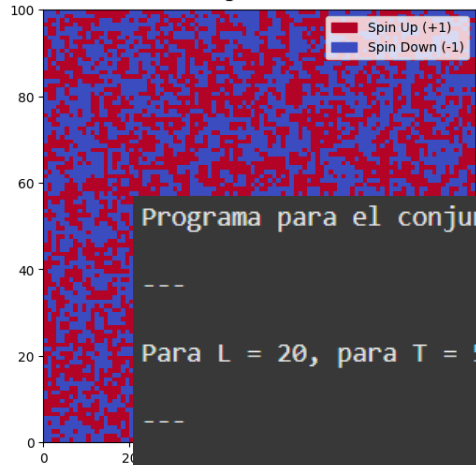
El testeo para $L = 20$, para $T = 5.0$, se demora 0.08101 s

¿Cuántos pasos se dan? ($T = 5$)



● ¿Cuál es el tiempo de computo? ($T = 5$)

Final configuration $L = 100$



Programa para el conjunto $L = [20, 40, 60, 80, 100]$

Para $L = 20$, para $T = 5.0$, con 20000 pasos, se demora 0.37760 s

Para $L = 40$, para $T = 5.0$, con 40000 pasos, se demora 2.53502 s

Para $L = 60$, para $T = 5.0$, con 60000 pasos, se demora 3.68276 s

Para $L = 80$, para $T = 5.0$, con 80000 pasos, se demora 7.31327 s

Para $L = 100$, para $T = 5.0$, con 100000 pasos, se demora 14.06273 s

Programa para el conjunto $L = [20, 40, 60, 80, 100]$

Para $L = 20$, para $T = 5.0$, con 20000 pasos, se demora 0.07065 s

Para $L = 40$, para $T = 5.0$, con 40000 pasos, se demora 0.40304 s

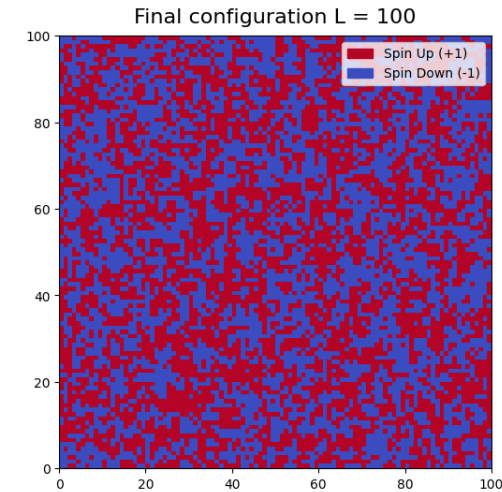
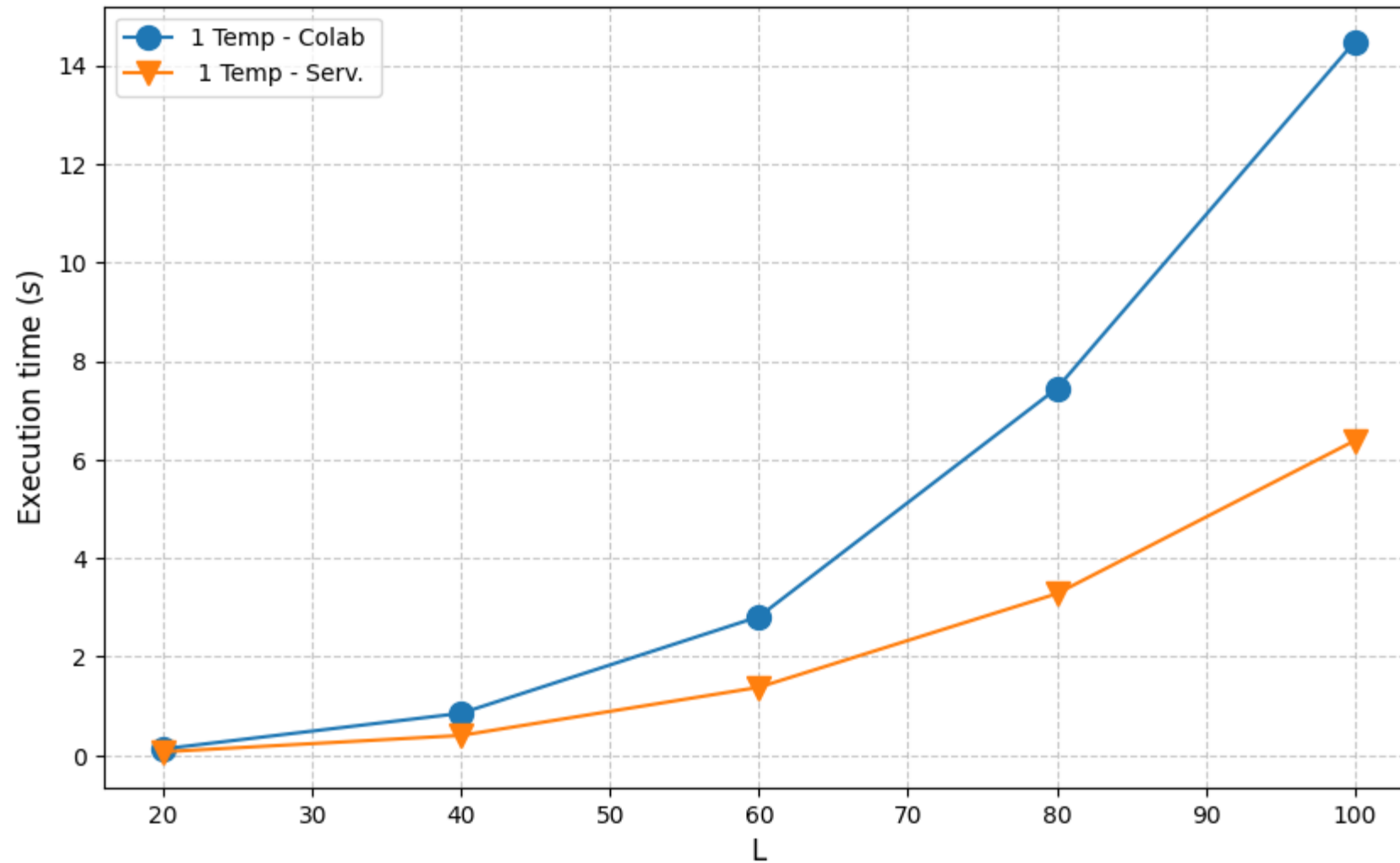
Para $L = 60$, para $T = 5.0$, con 60000 pasos, se demora 1.38029 s

Para $L = 80$, para $T = 5.0$, con 80000 pasos, se demora 3.27857 s

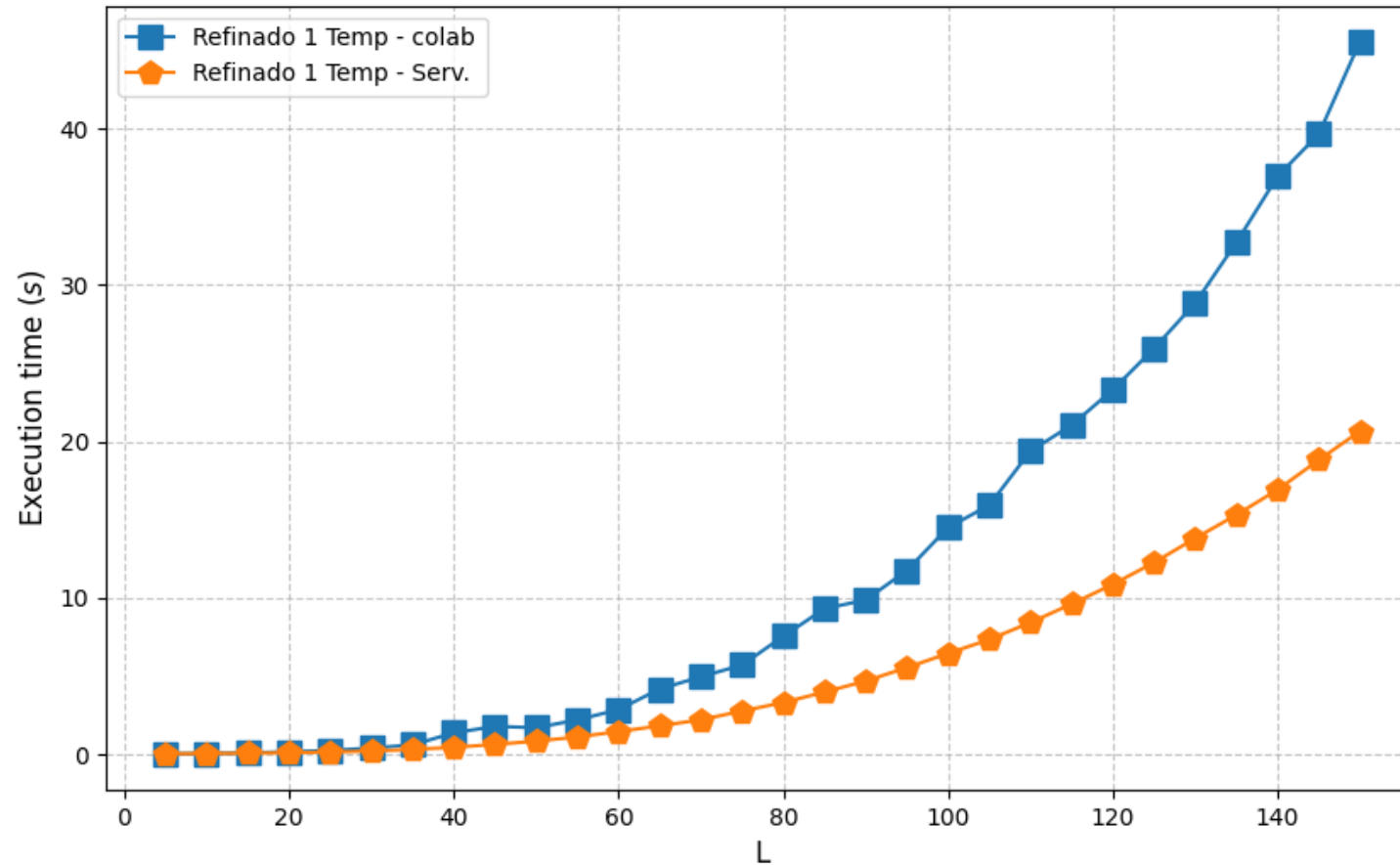
Para $L = 100$, para $T = 5.0$, con 100000 pasos, se demora 6.38258 s



● ¿Cuál es el tiempo de computo? ($T = 5$)



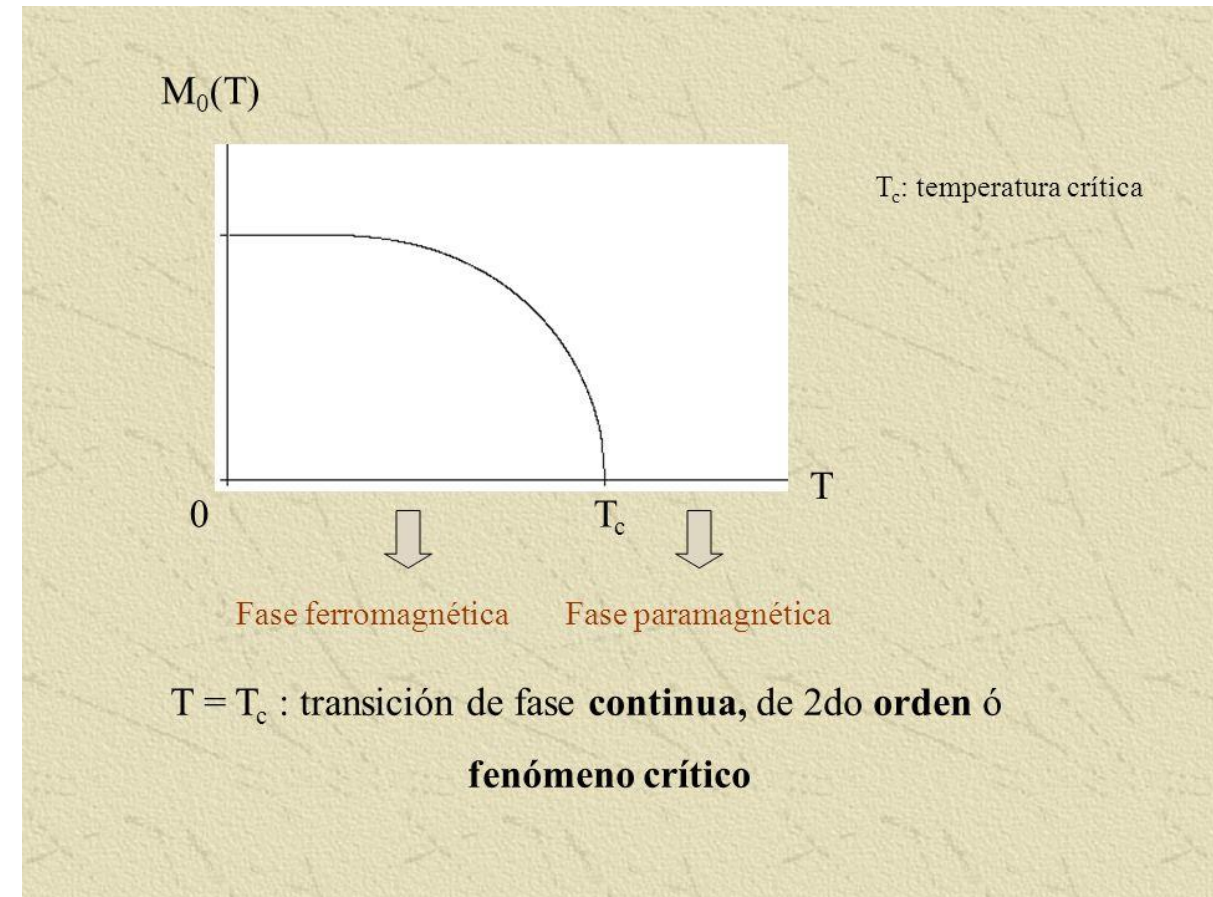
● ¿Cuál es el tiempo de computo? ($T = 5$)



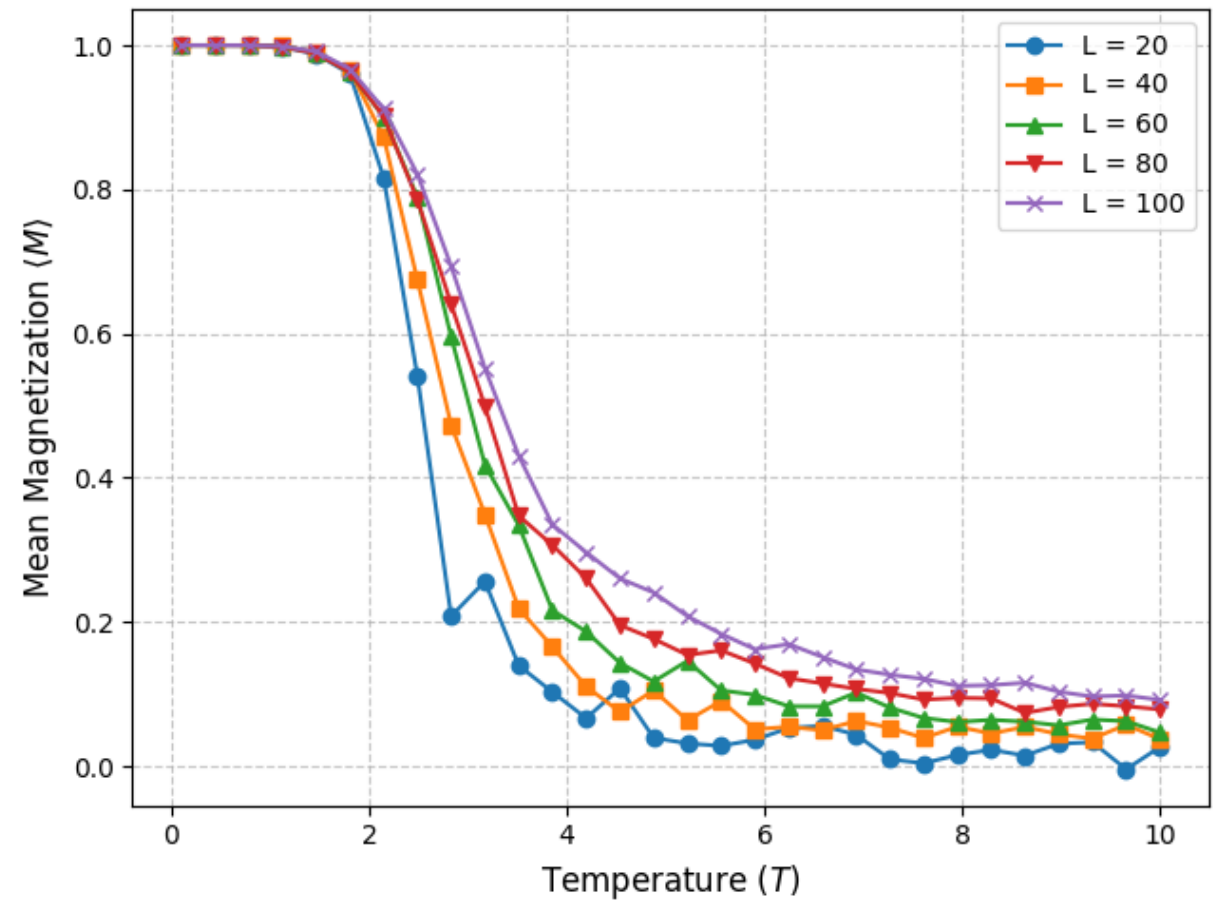
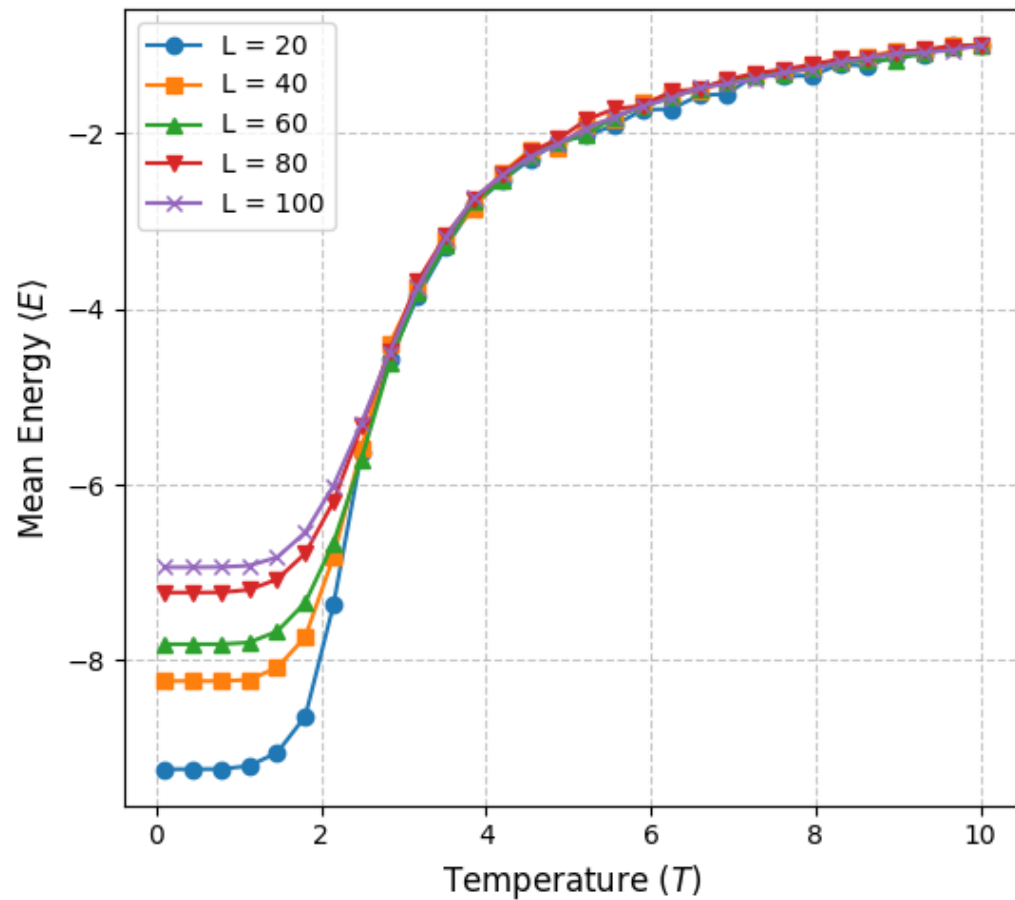
● Transición de fase

Una de las cosas más importantes de este modelo es que presenta una transición de fase.

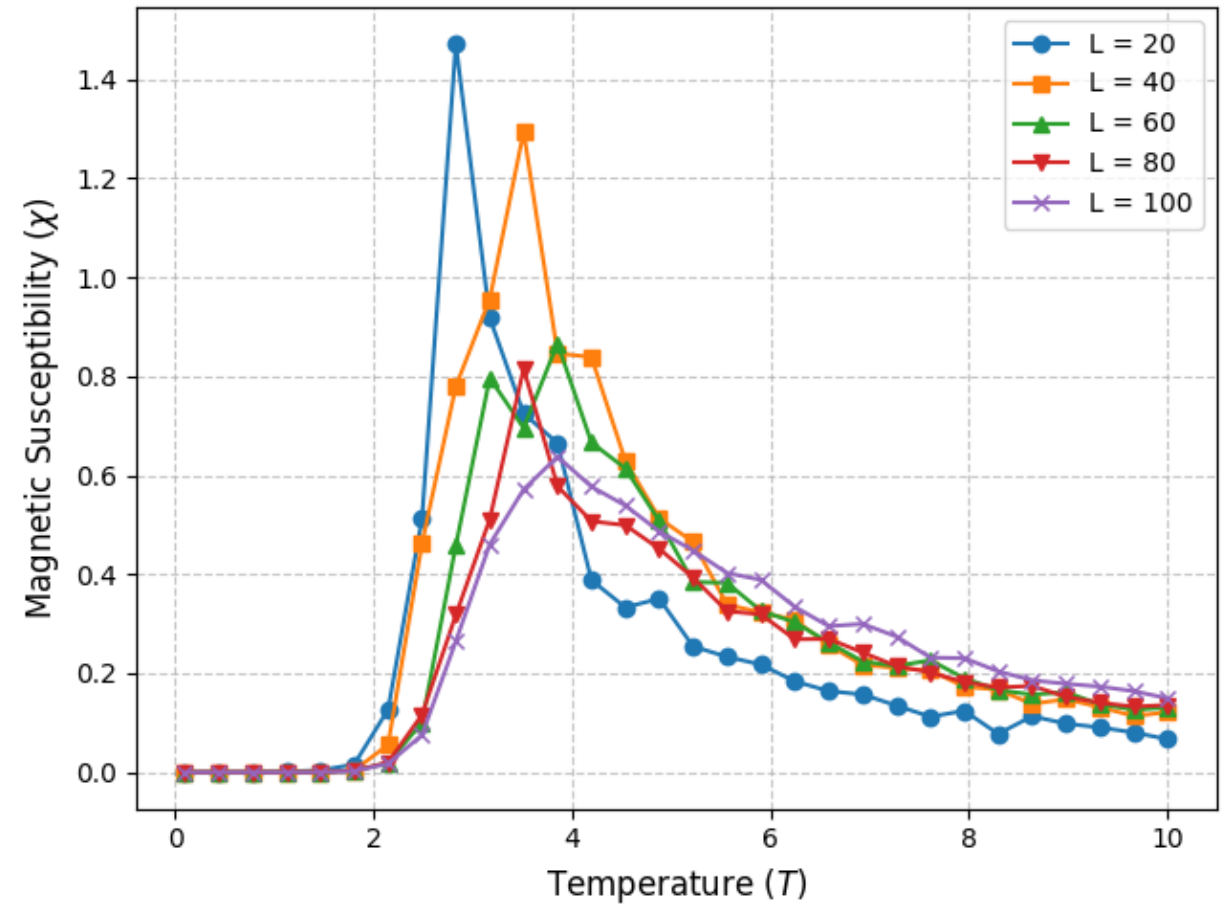
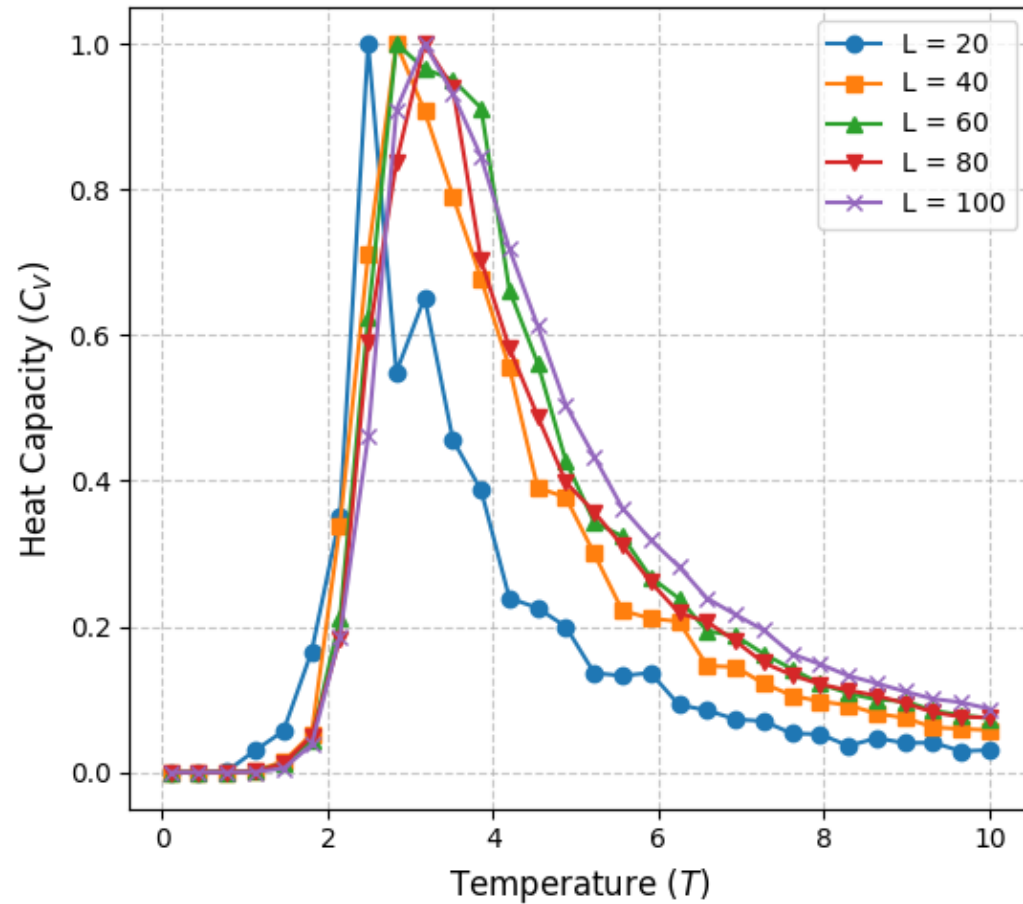
$$T_c = \frac{2J}{k_B \log(\sqrt{2} + 1)}$$



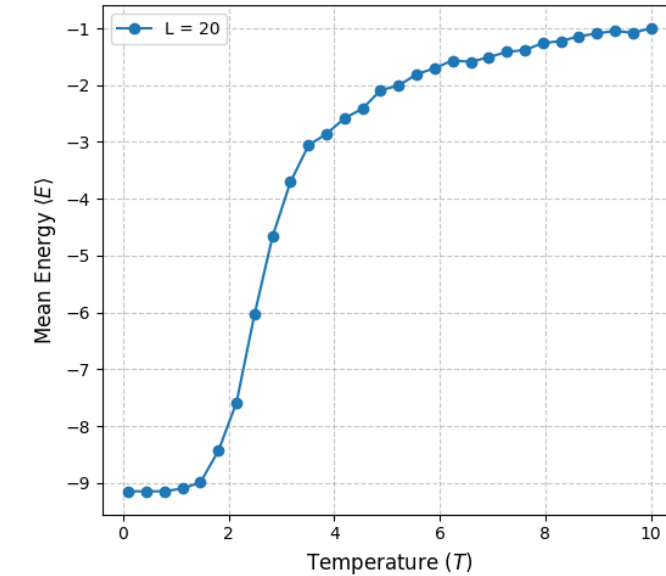
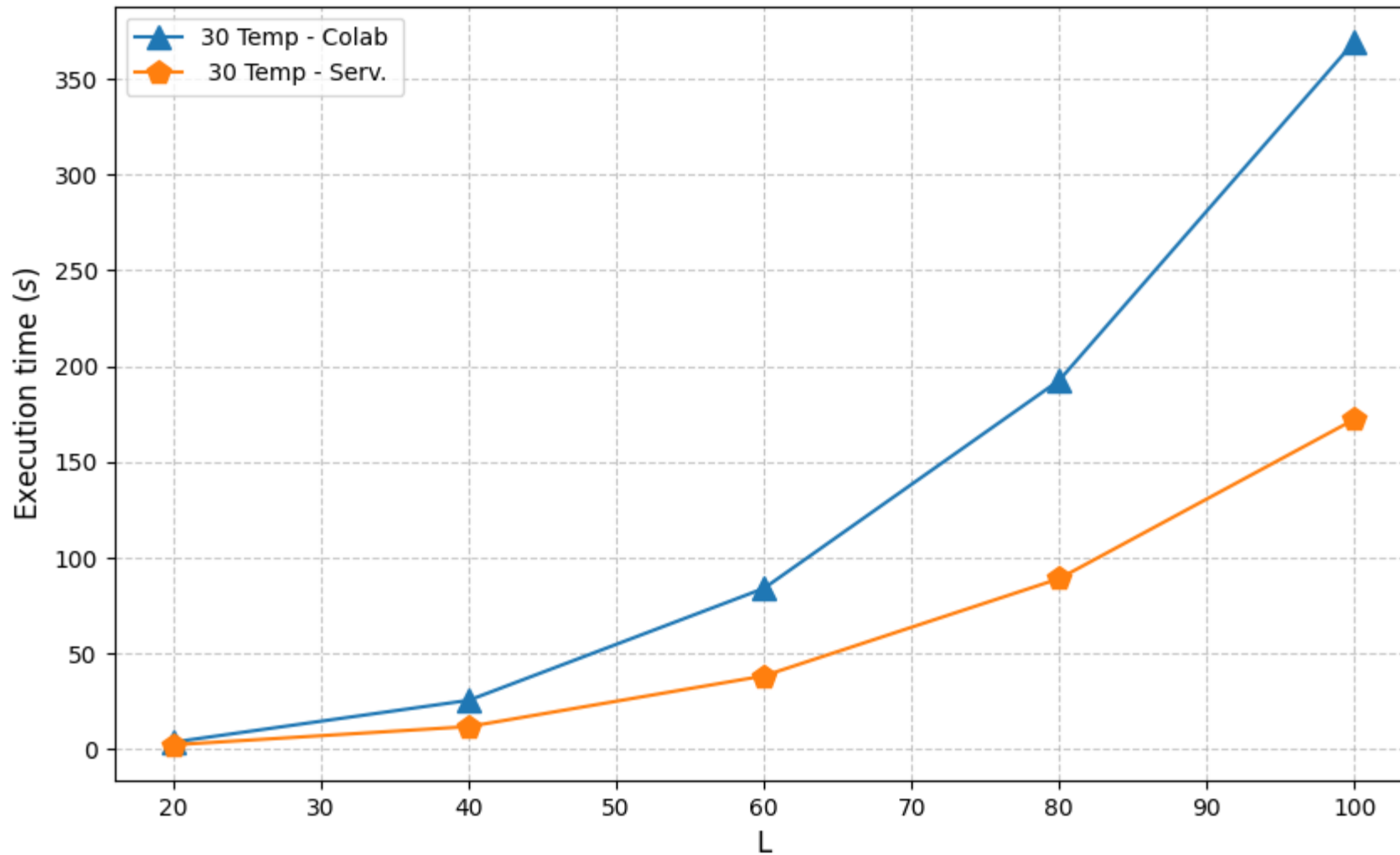
● Análisis diferentes valores de T



● Análisis diferentes valores de T

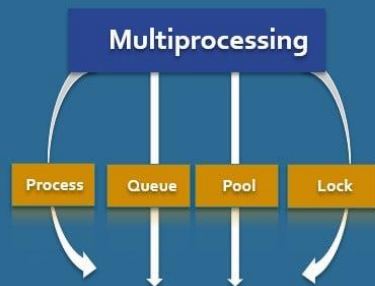


¿Cuál es el tiempo de computo?



● Paralelización

Python Multiprocessing



www.educba.com

Tiempo total externo: 5.70942 s
Tiempo interno promedio: 0.32609 s

Programa para $L = 20$ y 30 valores de temperatura

Number of processors: 2

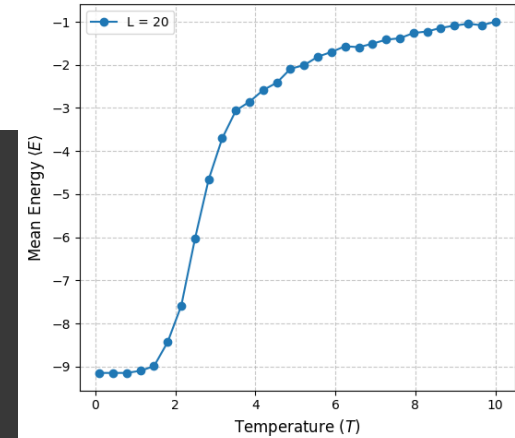
```
[PID 121699] Iniciando simulación para T = 0.10
[PID 121700] Iniciando simulación para T = 1.47
[PID 121699] Terminó simulación para T = 0.10 - Duración: 0.30 s

[PID 121699] Iniciando simulación para T = 0.44
[PID 121700] Terminó simulación para T = 1.47 - Duración: 0.33 s

[PID 121700] Iniciando simulación para T = 1.81
[PID 121699] Terminó simulación para T = 0.44 - Duración: 0.23 s

[PID 121699] Iniciando simulación para T = 0.78
[PID 121700] Terminó simulación para T = 1.81 - Duración: 0.28 s

[PID 121700] Iniciando simulación para T = 2.15
[PID 121699] Terminó simulación para T = 0.78 - Duración: 0.22 s
```



● Paralelización



```
Programa para el conjunto L = [20, 40, 60, 80, 100] y diferentes valores de temperatura.  
Number of processors: 2
```

```
---
```

```
Para L = 20, para 30 valores de temperatura, con 20000 pasos Montecarlo:  
Tiempo total externo: 4.89512 s  
Tiempo interno promedio: 0.30022 s
```

```
---
```

```
Para L = 40, para 30 valores de temperatura, con 40000 pasos Montecarlo:  
Tiempo total externo: 22.20866 s  
Tiempo interno promedio: 1.40998 s
```

```
---
```

```
Para L = 60, para 30 valores de temperatura, con 60000 pasos Montecarlo:  
Tiempo total externo: 73.83923 s  
Tiempo interno promedio: 4.60221 s
```

```
---
```

```
Para L = 80, para 30 valores de temperatura, con 80000 pasos Montecarlo:  
Tiempo total externo: 166.94736 s  
Tiempo interno promedio: 10.60610 s
```

```
---
```

```
Para L = 100, para 30 valores de temperatura, con 100000 pasos Montecarlo:  
Tiempo total externo: 318.12456 s  
Tiempo interno promedio: 20.30363 s
```

```
Programa para el conjunto L = [20, 40, 60, 80, 100] y diferentes valores de temperatura.  
Total de procesadores disponibles: 12  
Número de procesadores usados: 6
```

```
---
```

```
Para L = 20, para 30 valores de temperatura, con 20000 pasos Montecarlo:  
Tiempo total externo: 0.54434 s  
Tiempo interno promedio: 0.07412 s
```

```
---
```

```
Para L = 40, para 30 valores de temperatura, con 40000 pasos Montecarlo:  
Tiempo total externo: 2.44149 s  
Tiempo interno promedio: 0.40497 s
```

```
---
```

```
Para L = 60, para 30 valores de temperatura, con 60000 pasos Montecarlo:  
Tiempo total externo: 8.11301 s  
Tiempo interno promedio: 1.34040 s
```

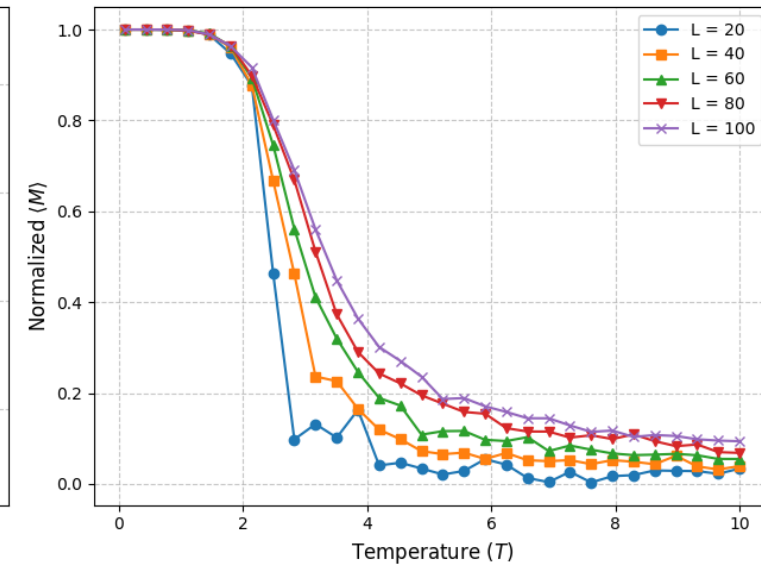
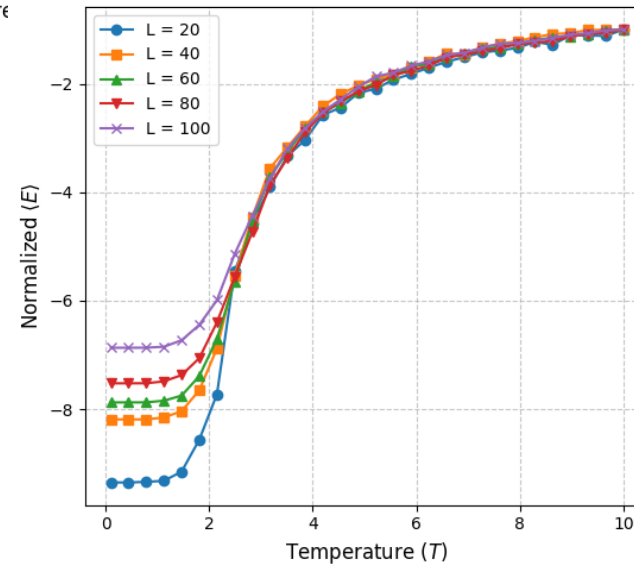
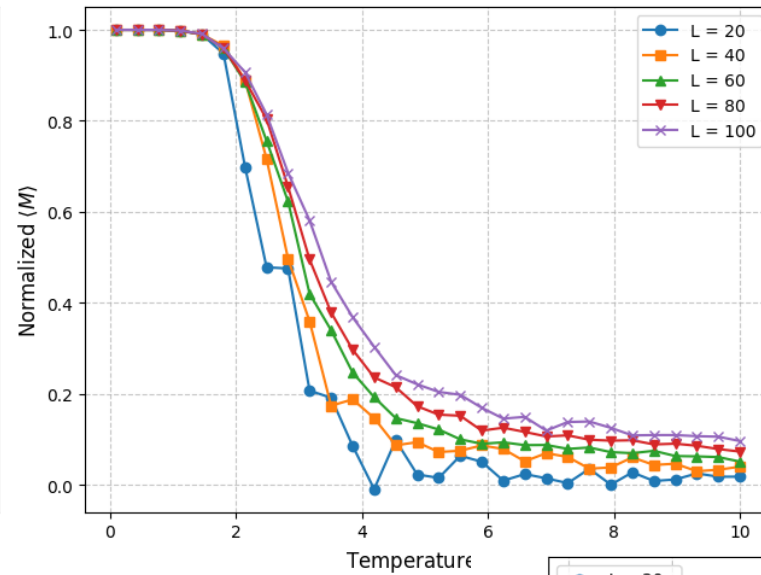
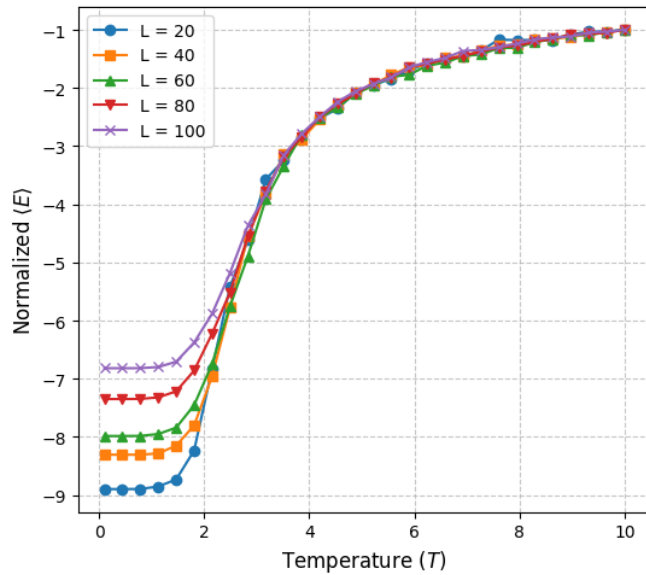
```
---
```

```
Para L = 80, para 30 valores de temperatura, con 80000 pasos Montecarlo:  
Tiempo total externo: 19.16478 s  
Tiempo interno promedio: 3.17920 s
```

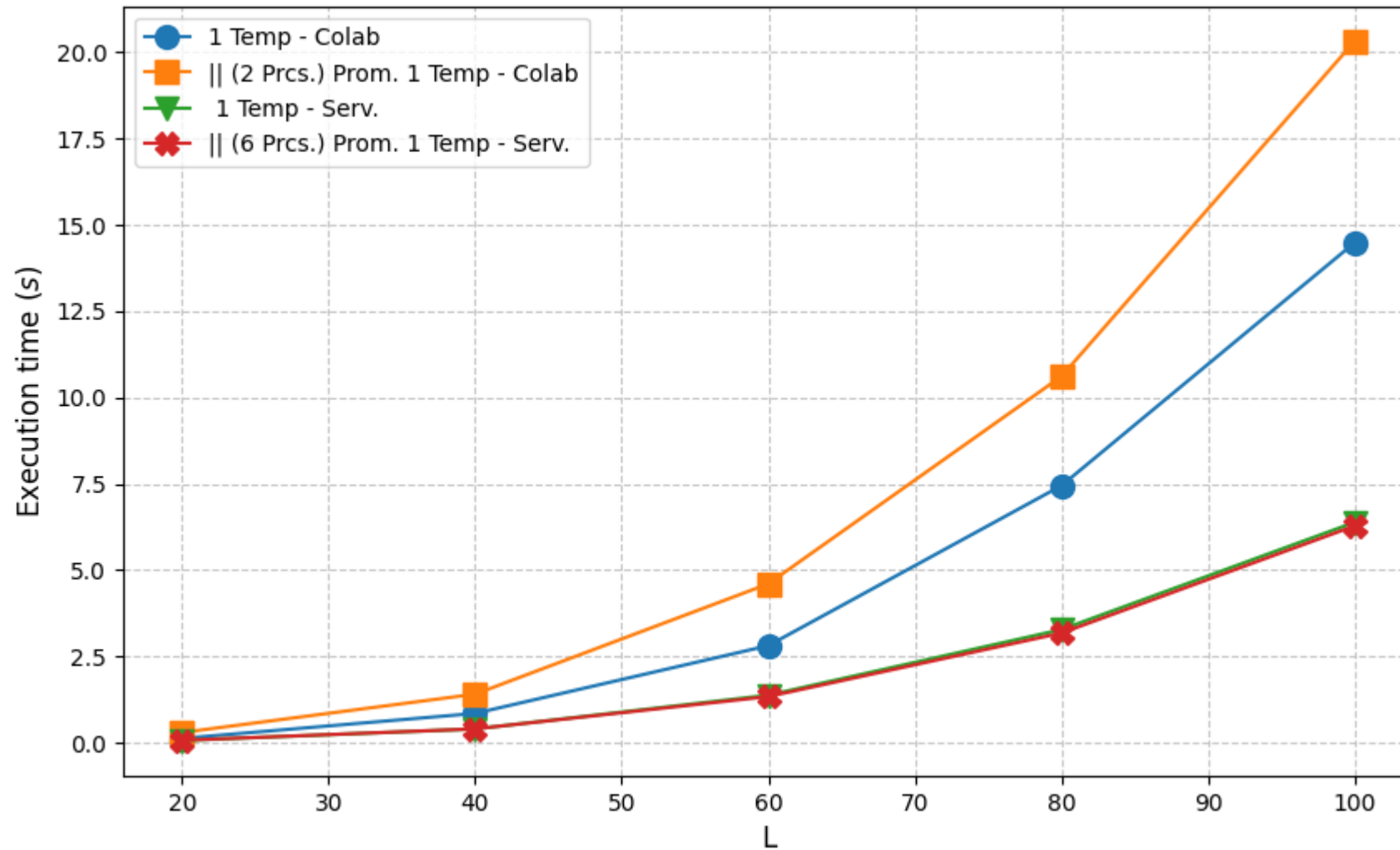
```
---
```

```
Para L = 100, para 30 valores de temperatura, con 100000 pasos Montecarlo:  
Tiempo total externo: 37.78168 s  
Tiempo interno promedio: 6.28069 s
```

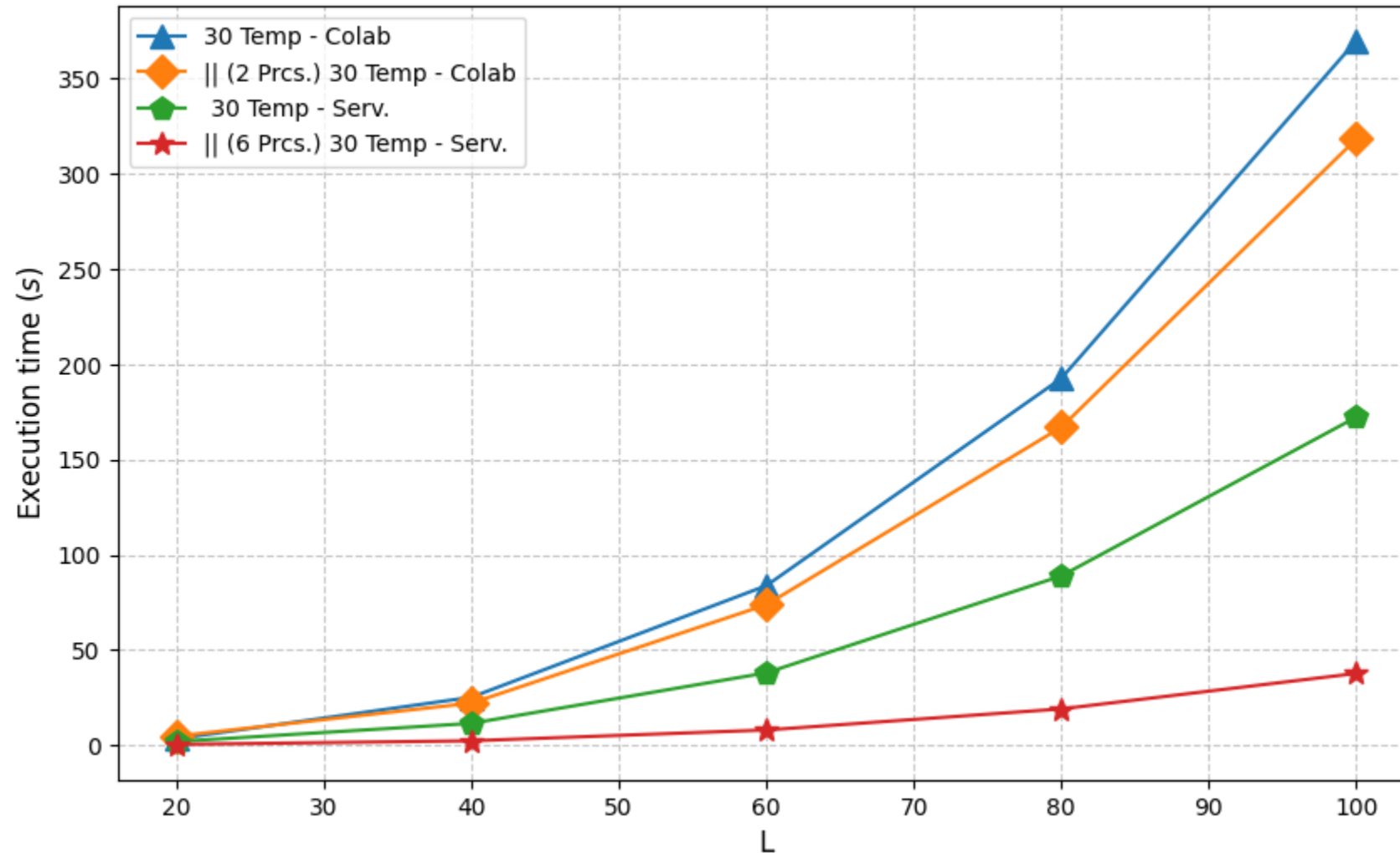
● Paralelización



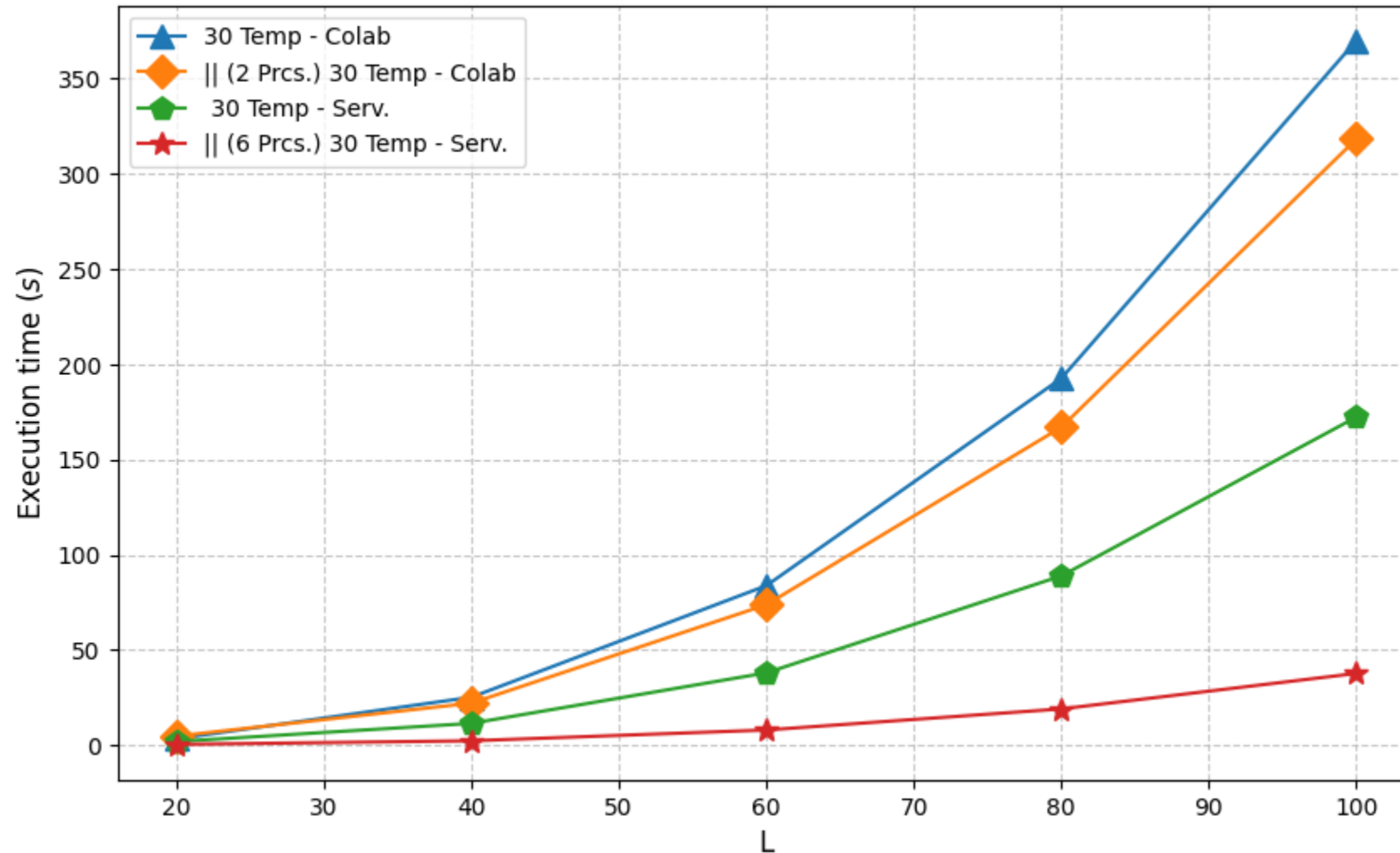
¿Cuál es el tiempo de computo?



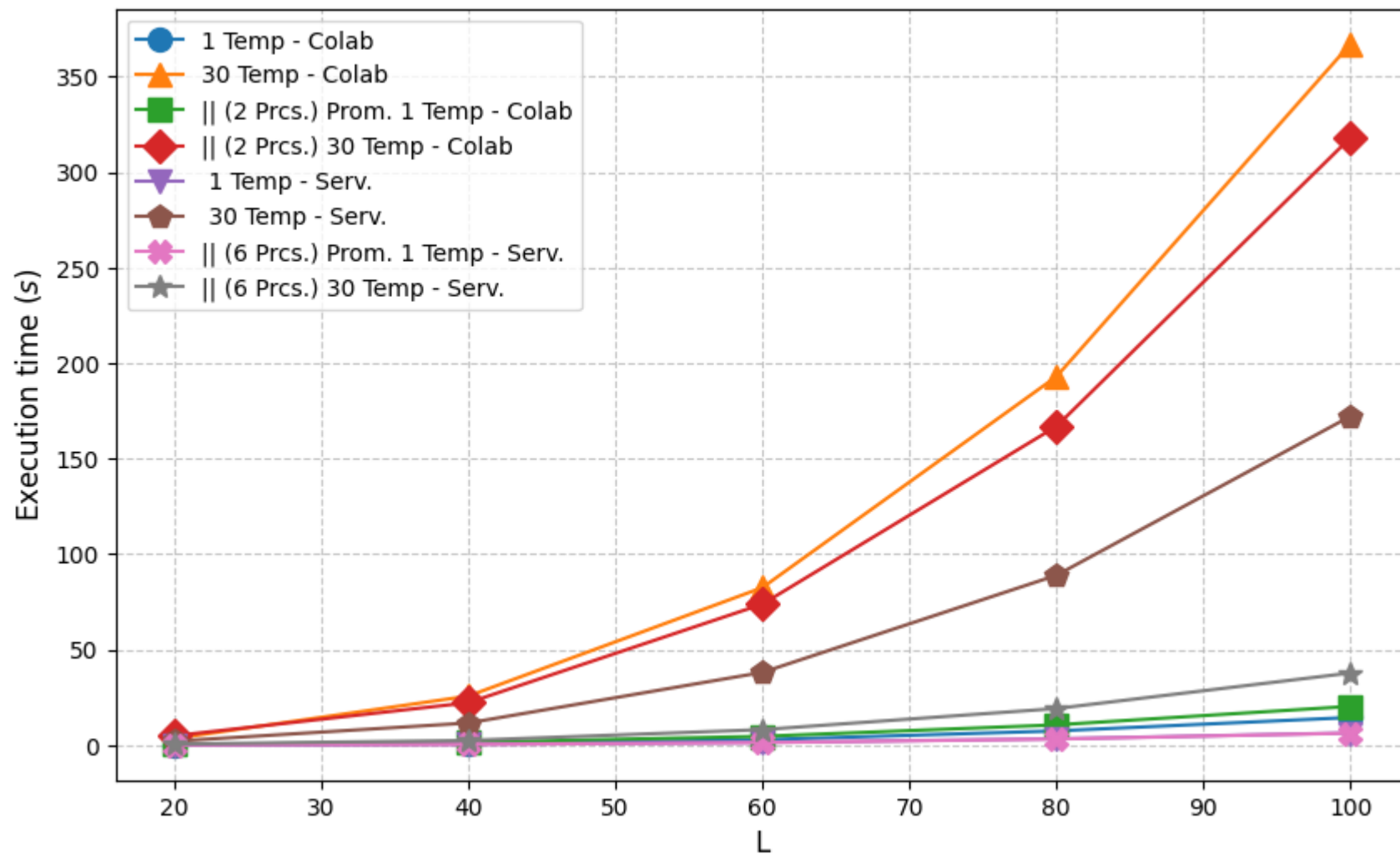
¿Cuál es el tiempo de computo?



¿Cuál es el tiempo de computo?

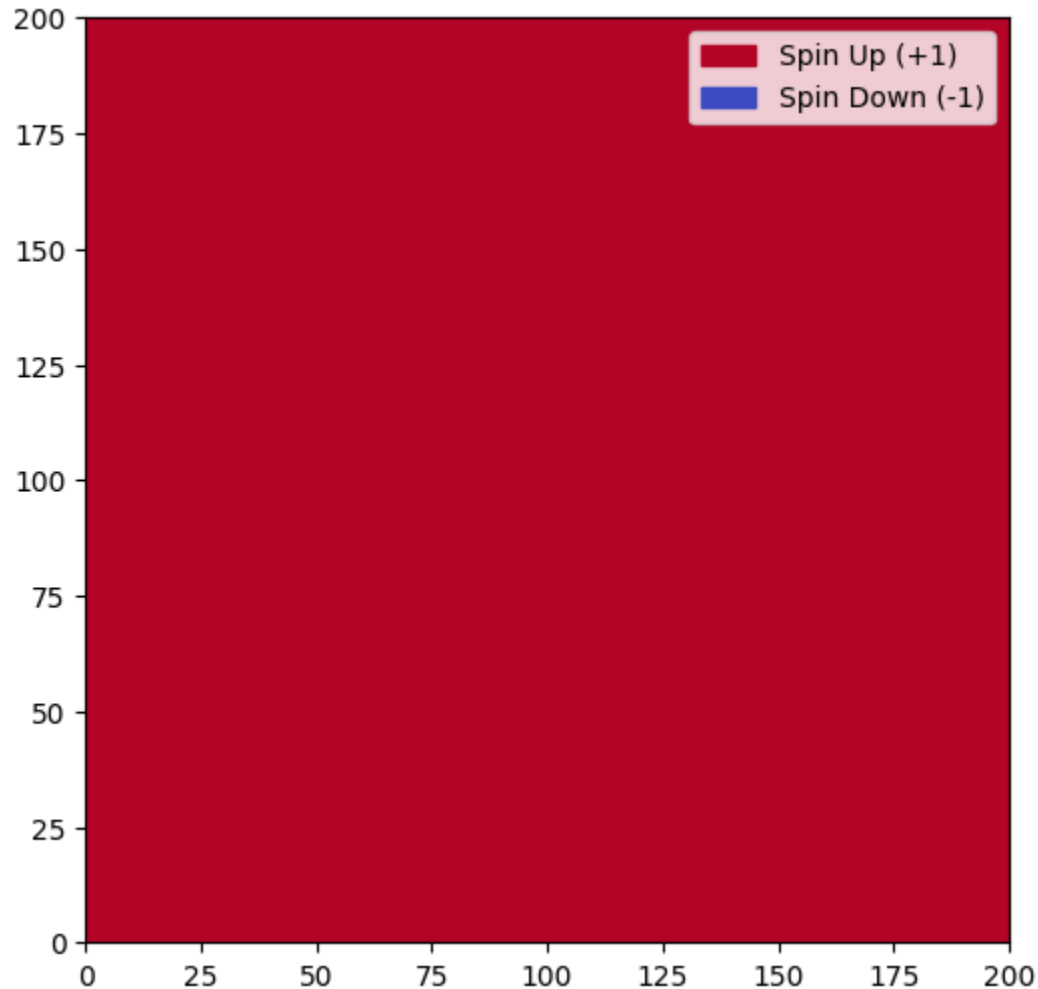


● Comparación

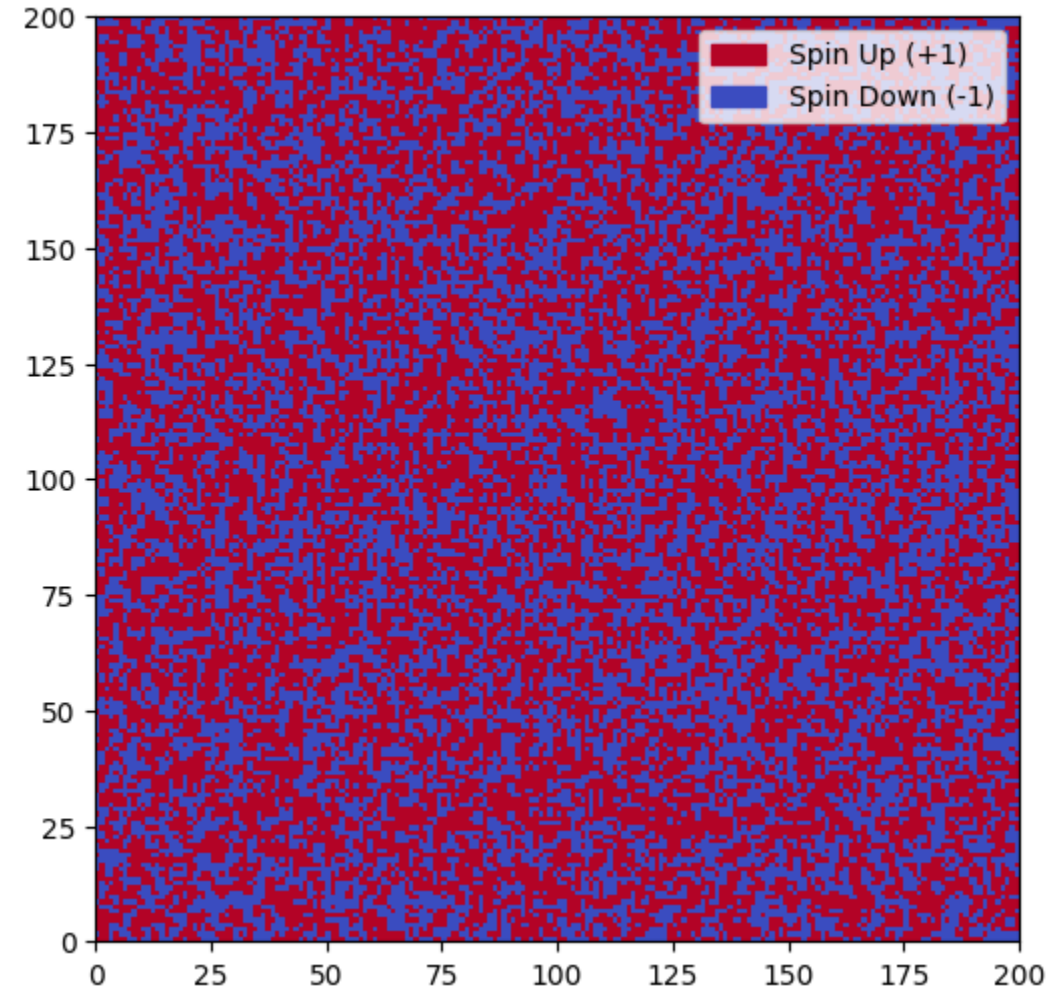


Se amplia el sistema hasta ($L = 200$)
40,000 espines ; $n = 200,000$; 12 Prcs.

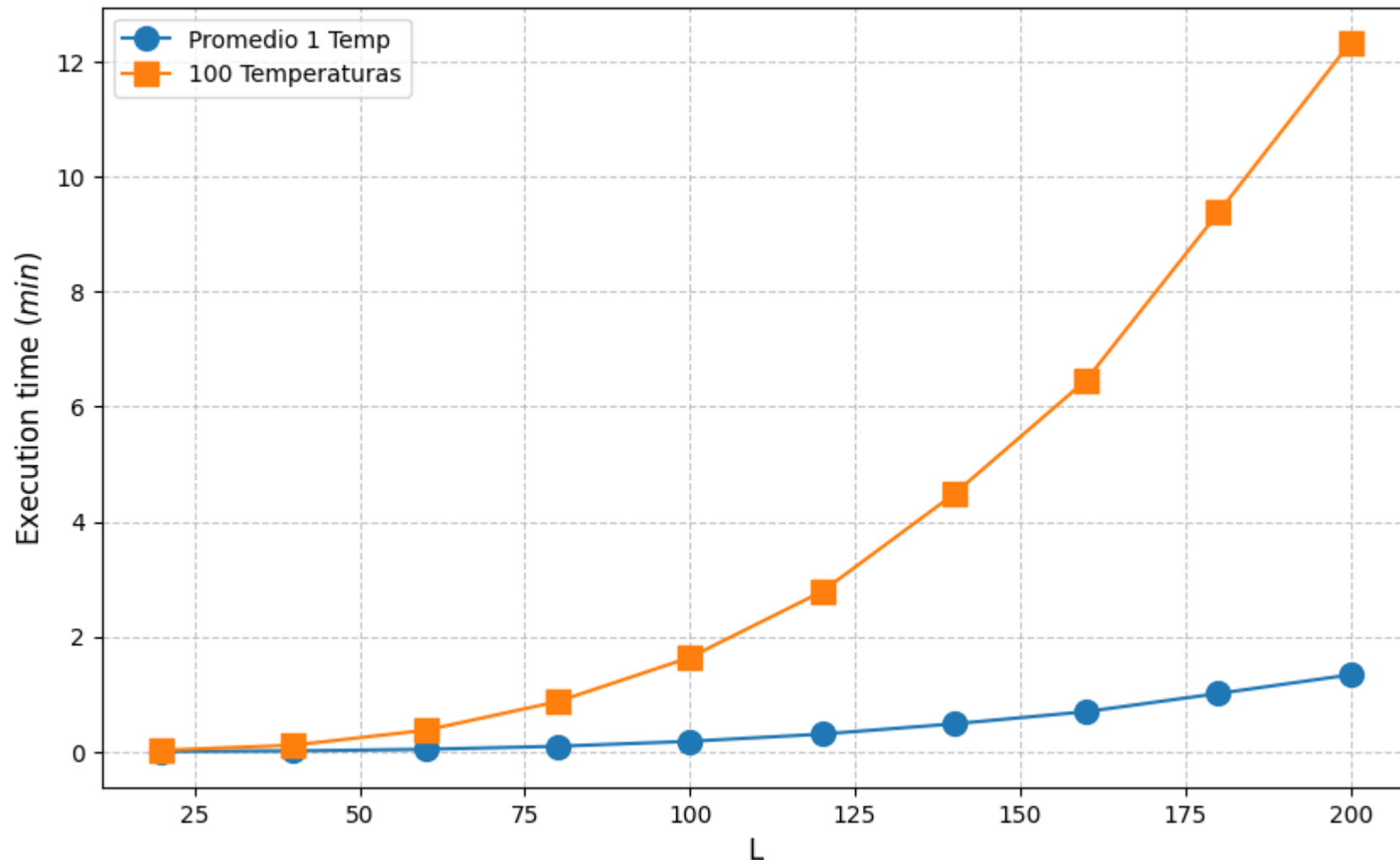
Inicial configuration



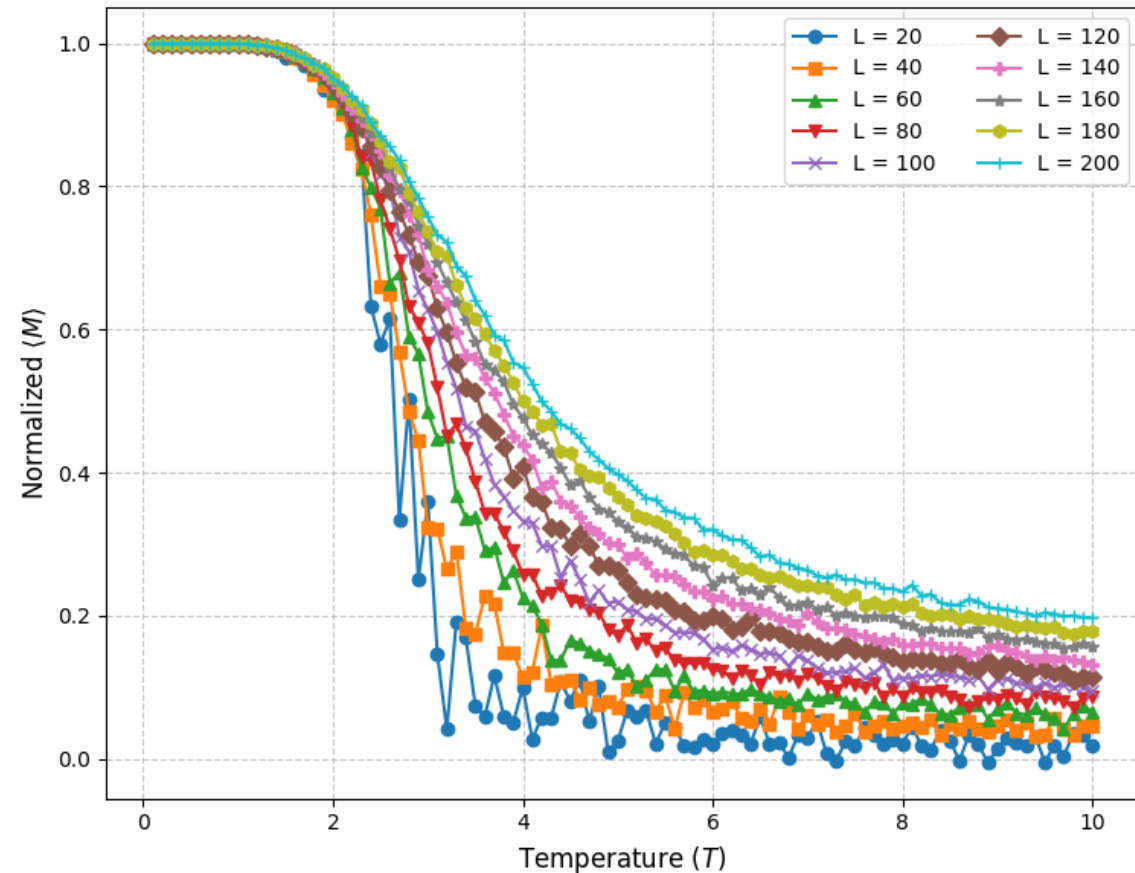
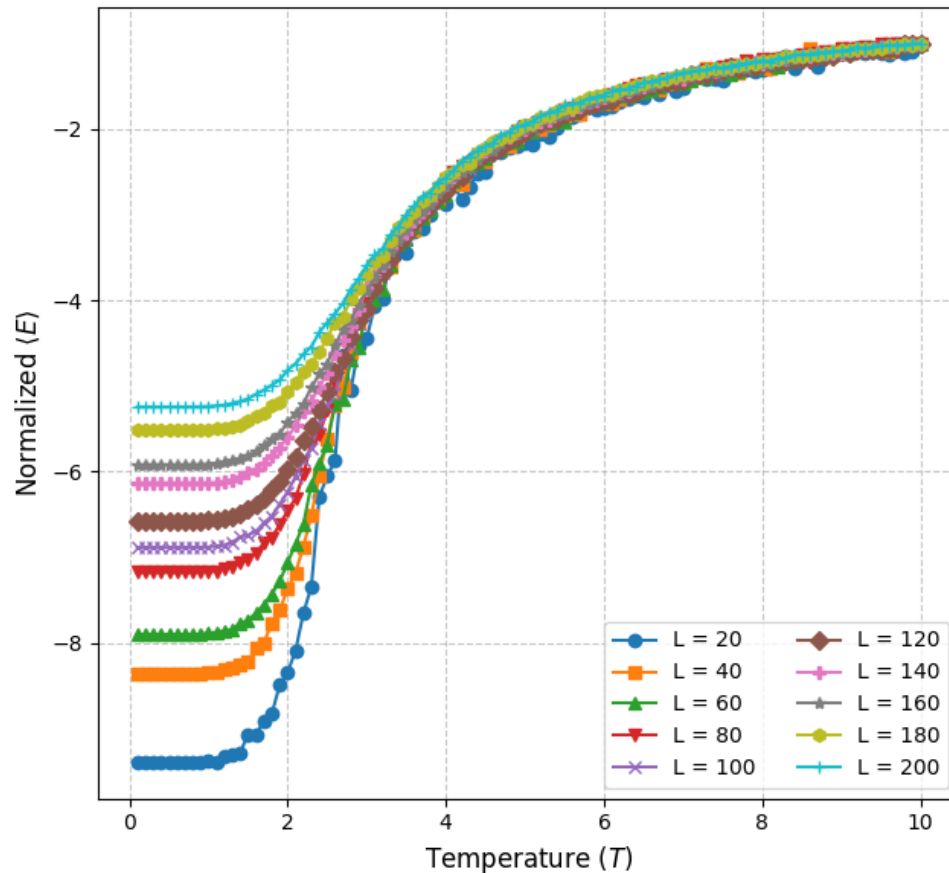
Final configuration



Se amplia el sistema hasta ($L = 200$)
40,000 espines ; $n = 200,000$; 12 Prcs.



Se amplia el sistema hasta ($L = 200$)
40,000 espines ; $n = 200,000$; 12 Prcs.



● Conclusiones

Desempeño computacional: Al comparar las ejecuciones en serie y en paralelo usando *multiprocessing*, se observó una mejora significativa en los tiempos de ejecución. La paralelización logró reducir los tiempos hasta 5 veces respecto a la versión en serie. Además, el servidor mostró un desempeño muy superior al de Google Colab, con tiempos de ejecución casi un 50% menores.

Comportamiento físico del modelo: Al analizar la energía y magnetización normalizadas para diferentes tamaños del sistema (L), se observó el cambio de fase característico del modelo de Ising. Este cambio de fase se volvió más suave a medida que aumentaba L , en línea con lo esperado teóricamente para sistemas más grandes.





UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA



@UdeA



@universidaddeantioquia



@UdeA



@universidaddeantioquia



@UdeA