

Computación de Alto Desempeño

2023-1 - Clase 2954

Evaluación del Rendimiento

Néstor José Aparicio Huertas Oscar Manuel Beltrán Camacho Gisell Natalia Cristiano Muñoz Elkin Daniel Prada Gómez

- nestorj_aparicioh@javeriana.edu.co
- beltranom@javeriana.edu.co
- gn cristiano@javeriana.edu.co
- elkind.prada@javeriana.edu.co

AGENDA



1. Introducción:

- Computación paralela y HPC.
- OpenMP y MPI.
- Objetivo del estudio.

2. Background:

Conceptos Claves

3. Configuración de Experimentos:

- Esquema variables experimentales.
- Entrada Experimentos Lanzador.
- MM1c, MM1f, MM1fu y MM2f.

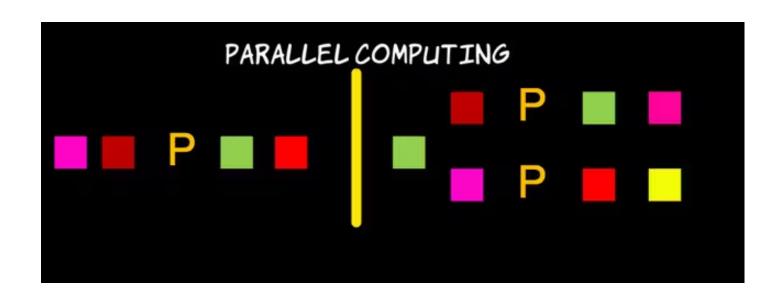
4. Resultados y análisis

- OpenMP
- MPI
- OpenMP vs MPI

5. Conclusiones

Introducción Computación Paralela y HPC





Principio básico: El problema se puede dividir en subproblemas, cada uno de los cuales se puede resolver simultáneamente.

Niveles de Paralelismo





Nivel de tarea.



La computación paralela es una estrategia clave empleada en la computación de alto rendimiento.



API's con las cuales se puede construir programas en paralelo:

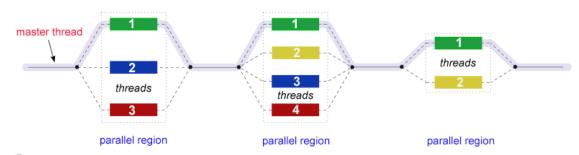
OpenMP y MPI



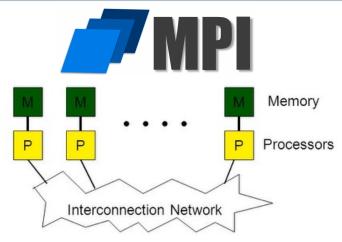
Introducción OpenMP y MPI



OpenMP



- OpenMP permite la ejecución fork-and-join, donde un programa se inicia como un único proceso o subproceso.
- Durante la ejecución, el subproceso se ejecuta secuencialmente hasta que se encuentra una directiva de paralelización
- En ese momento, se crean grupos de subprocesos y el subproceso actual se convierte en el subproceso maestro, y todos los hilos ejecutan el programa hasta el final de la región paralela



- Además de la paralelización dentro de un nodo, se puede lograr otra paralelización mediante la programación de la interfaz de paso de mensajes (MPI).
- MPI es un estándar para escribir programas de paso de mensajes que permite la comunicación entre procesos llamando a rutinas de la biblioteca para enviar y recibir mensajes.
- Esta combinación de técnicas de programación ofrece una gran capacidad de paralelización y escalabilidad en sistemas de alto performance.

Introducción Objetivo del Estudio





Analizar y comparar el rendimiento de cuatro algoritmos de multiplicación de matrices estándar con diferentes técnicas de optimización.



Implementar los algoritmos con dos modelos de programación paralela: MPI y OpenMP.



Evaluar el tiempo de ejecución de la multiplicación de matrices para diferentes tamaños y número de hilos en una arquitectura de memoria distribuida y compartida.



Evaluar el tiempo de ejecución de la multiplicación de matrices para diferentes tamaños y número de hilos en una arquitectura de memoria compartida.

Background **Conceptos Claves**



CPU

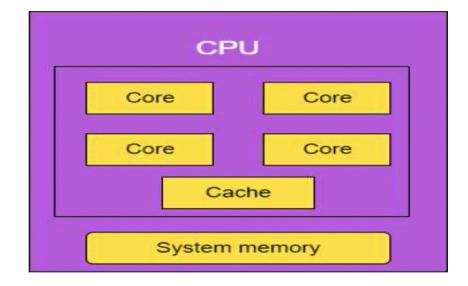
La Unidad Central de Procesamiento (CPU) es el circuito electrónico ejecuta las que instrucciones que componen un programa de computadora.



CORE

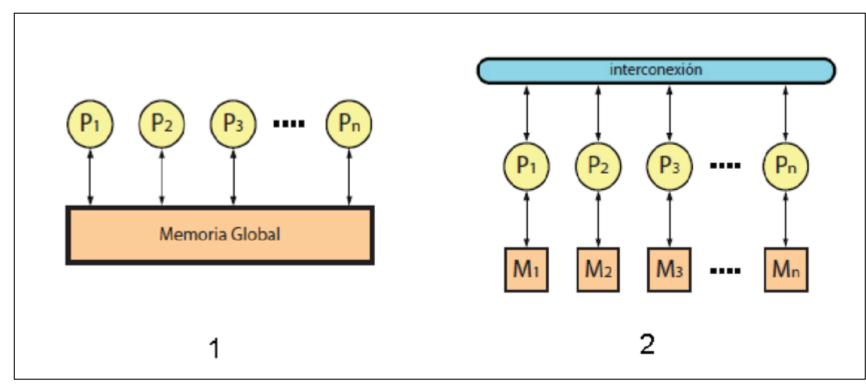
Un core es el cerebro de la CPU recibe que instrucciones y realiza operaciones. Puede tener multi-cores, por ejemplo, puede tener 2 cores, 4 cores, 8 cores, etc.





Background Conceptos Claves





Modelos de programación paralela basados en memoria compartida:

- Modelos de subprocesos.
- Modelos basados en directivas.
- Modelos de asignación de tareas.

Diferencias entre los modelos (1) memoria compartida y (2) memoria distribuida.

Los modelos empleados son: OpenMP como modelo de memoria compartida basado en directivas y MPI como modelo de memoria distribuida y compartida.

Configuración de Experimentos Esquema Variables Experimentales



Variables Independientes

Tamaño de las Matrices:

- Aumentando el tamaño de la matriz de 100 a 1000 usando el paso 100: 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000.
- Aumentando el tamaño de la matriz de 1200 a 3000 usando el paso 200: 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, 2800, 3000.

Número de hilos:

2,4,6,8,10,12,14,16,18,20

Factores NO Controlables

- Características y capacidades del sistema informático utilizado.
- Eficiencia y rendimiento de las implementaciones de los algoritmos de multiplicación de matrices.
- Otros factores externos que podrían influir en el tiempo de ejecución, como la carga de trabajo del sistema operativo.



Sistema de Unidad Experimental (180 Escenarios)



Factores Controlables

- Tamaño de las matrices a emplear en cada experimento.
- Cantidad de hilos a emplear en cada experimento.
- Configuración y ejecución del algoritmo de multiplicación de matrices.

Variables Dependientes

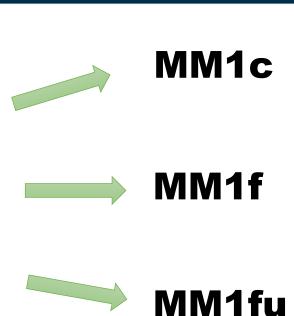
Tiempo de ejecución en segundos.

Configuración de Experimentos Entrada Experimentos



Sistema de Unidad Experimental (180 Escenarios)

¡Cada escenario de configuración se repitió 30 veces!





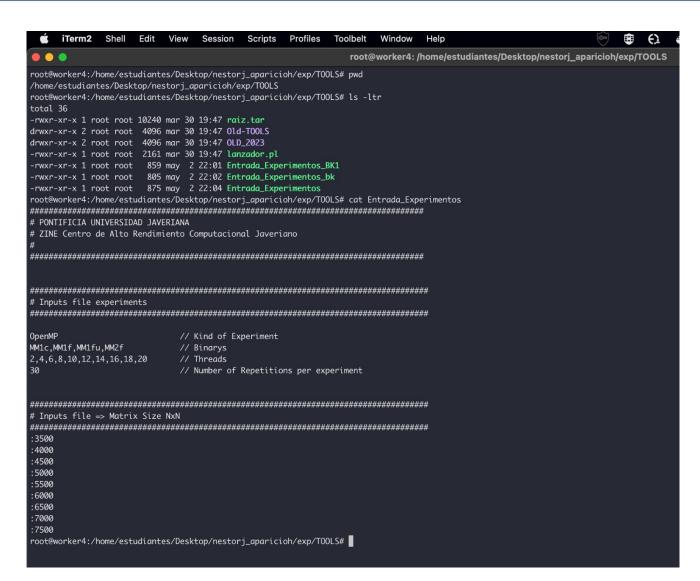




Configuración de Experimentos Entrada Experimentos OpenMP



Ejemplo de cómo se debe configurar el archivo para el ejercicio propuesto (OpenMP):



Configuración de Experimentos Lanzador OpenMP



Este archivo se encarga de ejecutar el ciclo de procesos configurados en el archivo anterior.

> El lanzador se ejecuta con el comando:

```
./lanzador.pl <archivo_con_parametros>
./lanzador.pl Entrada_Experimentos
```

➤ Para las ejecuciones largas como la propuesta en el ejercicio, se sugiere utilizar el nohup para que la ejecución se haga en segundo plano:

```
nohup ./lanzador.pl Entrada Experimentos &
```

```
View Session Scripts Profiles
                                                                  root@worker4: /home/estudiantes/Desktop/nestori_aparicioh/exp/TOOLS
 root@worker4:/home/estudiantes/Desktop/nestorj_aparicioh/exp/T00LS# pwd
/home/estudiantes/Desktop/nestori_aparicioh/exp/TOOLS
root@worker4:/home/estudiantes/Desktop/nestorj_aparicioh/exp/TOOLS# ls -ltr
 -rwxr-xr-x 1 root root 10240 mar 30 19:47 raiz.tar
 drwxr-xr-x 2 root root 4096 mar 30 19:47 Old-TOOLS
 root root 2161 mar 30 19:47 lanzador.pl
                        859 may 2 22:01 Entrada_Experimentos_BK1
 rwxr-xr-x 1 root root 805 may 2 22:02 Entrada_Experimentos_bk
 -rwxr-xr-x 1 root root 875 may 2 22:04 Entrada_Experimentos
 oot@worker4:/home/estudiantes/Desktop/nestorj_aparicioh/exp/T00LS# cat lanzador.pl
# Created by: John Corredor UAB-CAOS
 john@aopcjc.uab.es
# Julio 2008
# Lanza el binary juntos con los argumentos desde argumentos.txt
# y los eventos, desde el archivo Entrada_Experimentos
 if (@ARGV[0]) {
        FInput = "ARGV[0]";
 else {
        usage();
 use Switch;
path0 = pwd;
chomp($path0);
T = index(\frac{path0}{T})-1;
$Path = substr($path0,0,$T);
@Labels = ("Experiment", "Binarys", "Threads", "Repetitions");
&Search(\@Labels):
               = \frac{1}{2}
$Experiment
               = split(/,/,$Inputs[1]);
@Binarys
               = split(/,/,$Inputs[2]);
@Threads
               = 1 \frac{1}{2}
@Separate = ("-",":");
```

Configuración de Experimentos Entrada Experimentos MPI



Ejemplo de cómo se debe configurar el archivo para el ejercicio propuesto (MPI):

```
drwxrwxr-x 2 sistemas sistemas 12288 may 10 21:29 MM1c
sistemas@manager2:/nfs/condor/nestorj_aparicioh$ cat parametrosMPI.txt
threads=(2 4 6 8 10 12 14)
matrixes=(100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2400 2800 3000 3500 4000 4500 5000 5500 6000 6500 7000 7500)
programs=("MM1c")
sistemas@manager2:/nfs/condor/nestorj_aparicioh$
```

Configuración de Experimentos Lanzador MPI



Este archivo se encarga de ejecutar el ciclo de procesos configurados en el archivo anterior.

> El lanzador se ejecuta con el comando: nohup ./lanzadorMPI.sh &

```
• • •
                                                                             sistemas@manager2: /nfs/condor/nestorj_aparicioh
 1 //bin/bash
 3 # Execution Parameters
 4 source parametrosMPI.txt
 6 # Iteration executions
 7 for ((i=0; i<10; i++));
 9 echo "Main FOR - Execute i = ${i}"
      for thread in "${threads[@]}";
       echo "Thread - Execute Thread = ${thread}"
           for matrix in "${matrixes[@]}";
           echo "Matrix - Execute matrix = ${matrix} thread = ${thread}"
               for program in "${programs[@]}";
               filename="MPI-${program}-${matrix}-TH-${thread}.txt"
               echo "Execute MPI-${program}-${matrix}-TH-${thread}"
               mpirun --mca btl_tcp_if_include eno1 --host worker4:${thread},worker5:${thread} mpi${program} ${matrix} >> ${program}/${filename}
               #Comando de referencia:
               #Se debe incluir el parametro --mca btl_tcp_if_include eno1 para
               #restringir el socket de red que se puede usar, pues el proceso
               #estaba evaluando todos, incluido el de docker instalado
               #recientemente.
               #mpirun --mca btl_tcp_if_include eno1 --host worker4:2,worker5:2 ./mpiMM1c 300
               #echo "Ejecutando $cmd"
               #$cmd > "salida_${program}_${thread}_${matrix}.txt"
35 echo "Todas las ejecuciones han finalizado."
```

Configuración de Experimentos Lanzador MPI



| manager2: /nfs/d | ondor/nest | orj_aparicio | h/MM2f (s | ssh) | ¥1 | | sistemas@n | nanager2: ~ (| (ssh) | ₩2 | sistemas@worker4: ~ (ssh |
|--|---------------------|----------------------|----------------------|-------|----------------------------------|--------------------|------------------------------|---------------|-------|----|--------------------------|
| top - 08:49:16 u | o 8 days, | 14:10, | 2 user | s, lo | ad aver | ige: 10,5 | 2, 5,07, | 3,36 | | | |
| Tasks: 398 total | , 17 rur | ıning, 38 | 31 sleep | | 0 stopp | | zombie | | | | |
| %Cpu0 : 100,0 us | | | ni, 0, 0 | | 0,0 wa, | | | | | | |
| %Сри1 : 99,7 us | | | | | 0,0 wa, | | | 0,0 st | | | |
| %Cpu2 : 6,3 us | | | ni, 93,4 | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| %Cpu3 : 100,0 us | | | | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | 0,0 st | | | |
| %Cpu4 : 9,6 us | | | ni, 89,4 | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| %Cpu5 : 100,0 us | | | | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| %Cpu6 : 69,3 us | | | ni, 30,3 | | 0,0 wa, | | | | | | |
| %Cpu7 : 100,0 us | | | | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| %Cpu8 : 99,7 us | | | | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| %Cpu9 : 100,0 us | | | | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| %Cpu10 : 100,0 us | | | | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| %Cpu11 : 100,0 us %Cpu12 : 95,0 us | | | | | 0,0 wa, 0,0 wa, | 0,0 hi, 0,0 hi, | | | | | |
| %Сри12 : 93,0 us %Сри13 : 99,7 us | | | | | 0,0 wa, 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| %Сри13 : 93,7 us | | | ni, 5, 0 | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| %Cpu15 : 100,0 us | | | | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| 6Cpu16 : 31,1 us | | | ni, 68,5 | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| 6Cpu17 : 99,7 us | | | | | 0,0 wa, | 0,0 hi, | | | | | |
| 6Cpu18 : 0,7 us | | | ni, 98, 3 | | 0,7 wa, | | | | | | |
| 6Cpu19 : 100,0 us | | | | | | | 0,0 si, | | | | |
| MiB Mem : 64008 | | | 4 free, | | | | ,8 buff/c | | | | |
| | ,0 total, | | 0 free, | | 0,0 used | | ,9 avail I | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| PID USER | PR NI | VIRT | RES | SHR | S %CPU | J %MEM | TIME+ | COMMAND | | | 1,22 |
| 1220724 sistemas | | 1829264 | | | R 100,3 | | 0:05.66 | | | | |
| L220733 sistemas | | 1829264 | 95508 | | R 100,3 | | 0:05.65 i | | | | |
| L220735 sistemas | | 1829264 | 93556 | | R 100,3 | | 0:05.66 i | | | | |
| 1220815 sistemas | | 1758980 | 98560 | | R 100,3 | | 0:03.66 | | | | |
| L220719 sistemas | | 1829408 | | | R 100,0 | | 0:05.65 | | | | |
| L220720 sistemas | | 1829264 | 95524 | | R 100,0 | | 0:05.65 | | | | |
| 1220721 sistemas | | 1829264 | 94228 | | R 100,0 | | 0:05.65 | | | | |
| 1220722 sistemas | | 1829264 | 94240 | | R 100,0 | | 0:05.65 | | | | |
| 1220723 sistemas | | 1829264 | 94296 | | R 100,0 | | 0:05.65 | | | | |
| 1220726 sistemas | | 1829264 | 94236 | | R 100,0 | | 0:05.65 | | | | |
| .220730 sistemas | | 1829264 | 95620 | | R 100,0 | | 0:05.65 | | | | |
| .220737 sistemas | | 1829264 | | | R 100,0 | | 0:05.65 | | | | |
| 1220739 sistemas | | 1829264 | 94148 | | R 100,0 | | 0:05.65 | | | | |
| L220812 sistemas | | 1758988 | | | R 100,0 | | 0:03.66 | | | | |
| | | 1758980 | 98532 | | R 100,0 | | 0:03.66 | | | | |
| 1220813 sistemas | | | | | | T 1/2 | | | | | |
| 122 0813 sistemas 1 220814 sistemas 1152 avahi | 20 0 20 0 | 1758980 13992 | 98524 9504 | 3428 | R 100,0 | | ا 0:03.65 23:15.93 | | | | |

Configuración de Experimentos MM1c, MM1f, MM1fu y MM2f.



Los programas difieren en la forma como se almacenan las matrices en memoria, lo que afecta el orden en que se acceden a las entradas:



MM1c

- Programa en C.
- Enfoque estándar de bucles anidados triple.
- Accede a los elementos de B en orden de columna principal.



MM1f

- Programa en C.
- Enfoque estándar de bucles anidados triple.
- Accede a los elementos de B en orden de fila principal.



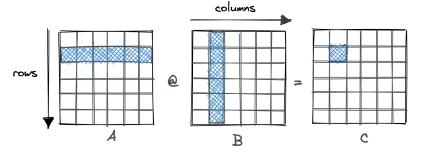
MM1fu

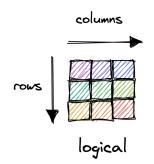
- Programa en C.
- Enfoque estándar de bucles anidados triple.
- Se agregó un bucle adicional en el que se realizan los cálculos en bloques de cuatro elementos y se suman los resultados de cada bloque.

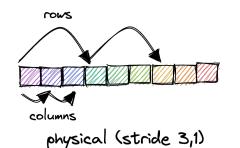


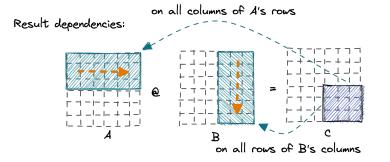
MM2f

- Programa en C.
- Multiplicación de matrices por bloques.
- Las matrices de entrada se dividen en bloques de tamaño 2x2.











Para garantizar que el proceso de evaluación comparativa sea consistente, cada escenario se ejecutó 30 veces y se calculó el tiempo promedio de ejecución.

| Average of Seconds | Etiquetas de columna | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|---------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Etiquetas de fila | | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2400 | 2800 | 30001 | otal general |
| 2 | 0,000346 | 167 0,0 | 003128967 | 0,010976233 | 0,0270999 | 0,052482714 | 0,0960847 | 0,1438056 | 0,2218138 | 0,305484933 | 0,527339286 | 0,80361616 | 1,439023556 | 4,349493483 | 8,437843033 | 12,8241129 | 25,28362777 | 45,3863545 | 56,44949383 | 8,652640094 |
| 4 | 0,000179 | 233 0,0 | 001596733 | 0,0055602 | 0,013946667 | 0,026396914 | 0,046628233 | 0,0720951 | 0,115815367 | 0,153770567 | 0,268720171 | 0,4080311 | 0,717562533 | 2,246682733 | 4,2358426 | 6,477830767 | 12,78402807 | 22,811205 | 29,1330067 | 4,340077356 |
| 6 | 0,000120 | 967 0,0 | 001101633 | 0,003760133 | 0,0093828 | 0,0179862 | 0,031731067 | 0,050962467 | 0,0833249 | 0,110667633 | 0,1859664 | 0,2883178 | 0,503144433 | 1,606454133 | 2,891511933 | 4,454666433 | 8,823794933 | 15,77603317 | 20,30366877 | 3,063477544 |
| 8 | 9,403338 | -05 0,0 | 000834267 | 0,003032367 | 0,007819567 | 0,015057171 | 0,0273863 | 0,046323267 | 0,073932533 | 0,090525867 | 0,152357743 | 0,2451518 | 0,411621 | 1,300408367 | 2,303345333 | 3,532601433 | 7,072430033 | 12,74444577 | 16,32130317 | 2,420540318 |
| 10 | 9,543338 | -05 0,0 | 000784467 | 0,0028583 | 0,007862833 | 0,015718886 | 0,027278767 | 0,053693633 | 0,141096633 | 0,1792428 | 0,239844429 | 0,282090967 | 0,4333418 | 1,207109333 | 2,017941067 | 3,087349067 | 6,129414267 | 11,10667963 | 14,2025213 | 2,1369555 |
| 12 | 0,000 | 082 | 0,00065340 | 0,002483533 | 0,007379767 | 0,014205267 | 0,023992067 | 0,042578967 | 0,138168133 | 0,2146815 | 0,350497967 | 0,458528267 | 0,657113667 | 1,504479133 | 2,494097167 | 3,664927033 | 6,958963067 | 12,34956527 | 15,59637537 | 2,471042865 |
| 14 | 7,243338 | -05 0,0 | 000573233 | 0,002112 | 0,0065858 | 0,0125147 | 0,0210843 | 0,038437833 | 0,123237933 | 0,202510667 | 0,344673267 | 0,584268233 | 0,650731433 | 1,4355505 | 2,304349667 | 3,371408967 | 6,284184867 | 10,9517146 | 13,92626567 | 2,236682006 |
| 16 | 6,546678 | -05 0,0 | 000499533 | 0,001937533 | 0,0056255 | 0,011058267 | 0,019388 | 0,0348843 | 0,1130365 | 0,190987533 | 0,330824333 | 0,6146646 | 0,840726967 | 1,498126567 | 2,325051633 | 3,343930367 | 6,174585033 | 10,6634582 | 13,62769817 | 2,210919361 |
| 18 | 6,003338 | -05 0,0 | 000472467 | 0,0018896 | 0,005200633 | 0,009954967 | 0,017516833 | 0,0322974 | 0,104920867 | 0,174749567 | 0,311814367 | 0,634720667 | 0,9783894 | 1,5683881 | 2,295336233 | 3,263095467 | 5,883987267 | 10,064104 | 12,90285843 | 2,124986461 |
| 20 | 0,003960 | 067 0,0 | 003762433 | 0,0039597 | 0,01091 | 0,0186292 | 0,021398567 | 0,028349967 | 0,085155533 | 0,153491267 | 0,282272067 | 0,591908067 | 0,9661068 | 1,5151067 | 2,2153801 | 3,177853667 | 5,796223633 | 9,802522233 | 12,65054313 | 2,073751841 |
| Total general | 0,000507 | 583 0,0 | 001340713 | 0,00385696 | 0,010181347 | 0,019901272 | 0,033248883 | 0,054342853 | 0,12005022 | 0,177611233 | 0,299283153 | 0,485833386 | 0,752915074 | 1,814730696 | 3,152069877 | 4,71977761 | 9,119123893 | 16,16560824 | 20,51137345 | 3,172971456 |

Tabla para MM1c

| Average of Seconds | Etiquetas de columna | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Etiquetas de fila | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2400 | 2800 | 3000 | Total general |
| 2 | 0,000285933 | 0,003043933 | 0,010218533 | 0,0255654 | 0,049188857 | 0,0858542 | 0,138476567 | 0,206805967 | 0,2936704 | 0,402125143 | 0,6988266 | 1,144414133 | 1,775266 | 2,590798133 | 3,5705266 | 6,201278767 | 9,8684743 | 12,20535393 | 2,146112313 |
| 4 | 0,000143467 | 0,0014747 | 0,005178033 | 0,0126224 | 0,025730257 | 0,043536633 | 0,0694338 | 0,103845633 | 0,148649467 | 0,204921514 | 0,357478367 | 0,586263633 | 0,905204767 | 1,321728767 | 1,827647967 | 3,1713979 | 5,0251974 | 6,196355967 | 1,093377416 |
| 6 | 9,82333E-05 | 0,001018167 | 0,003487567 | 0,008548567 | 0,017055467 | 0,0296546 | 0,0476133 | 0,071306533 | 0,101147933 | 0,1396089 | 0,2443702 | 0,398940667 | 0,6155933 | 0,9050166 | 1,2536493 | 2,1691858 | 3,445024867 | 4,237547467 | 0,760492637 |
| 8 | 7,72667E-05 | 0,000761667 | 0,002662133 | 0,006417633 | 0,013119971 | 0,0226942 | 0,036071867 | 0,0548086 | 0,081022833 | 0,112224171 | 0,193794867 | 0,318116633 | 0,4879978 | 0,712944367 | 0,9882116 | 1,712648533 | 2,719409167 | 3,3509153 | 0,590988507 |
| 10 | 8,15333E-05 | 0,000696567 | 0,002460867 | 0,006010833 | 0,011711286 | 0,0209482 | 0,033336533 | 0,048418833 | 0,068582933 | 0,094218057 | 0,163029 | 0,266422267 | 0,4124684 | 0,6039189 | 0,8332087 | 1,446725833 | 2,3079526 | 2,844256467 | 0,500841965 |
| 12 | 0,0000756 | 0,000596767 | 0,002060633 | 0,0051537 | 0,0101512 | 0,017453033 | 0,0289254 | 0,041603133 | 0,059331033 | 0,082306767 | 0,1423505 | 0,2282528 | 0,3509622 | 0,511367533 | 0,706104467 | 1,221404533 | 1,947208233 | 2,395316333 | 0,430590215 |
| 14 | 6,94333E-05 | 0,000532867 | 0,0018197 | 0,004495267 | 0,0087207 | 0,015283033 | 0,0241646 | 0,036972867 | 0,0521733 | 0,071572933 | 0,124482467 | 0,197146833 | 0,302938767 | 0,445270167 | 0,6124943 | 1,0633185 | 1,687892433 | 2,0875922 | 0,374274465 |
| 16 | 5,94333E-05 | 0,000454267 | 0,001576933 | 0,0038555 | 0,007833867 | 0,013668167 | 0,021716367 | 0,032509067 | 0,0473395 | 0,064801 | 0,109550367 | 0,175794267 | 0,268294433 | 0,3929451 | 0,5384989 | 0,9372532 | 1,495476767 | 1,843485467 | 0,330839589 |
| 18 | 0,0000632 | 0,0004145 | 0,001325333 | 0,0031925 | 0,0069207 | 0,012425467 | 0,019644567 | 0,029434 | 0,041907867 | 0,057570367 | 0,099457567 | 0,158261 | 0,243803233 | 0,352447467 | 0,4873987 | 0,852637933 | 1,359124267 | 1,665595233 | 0,299534661 |
| 20 | 0,006634633 | 0,005458433 | 0,007512267 | 0,008673867 | 0,0144088 | 0,0212151 | 0,022230833 | 0,0301473 | 0,044452167 | 0,057853833 | 0,097668533 | 0,152209 | 0,235079033 | 0,350546533 | 0,4798915 | 0,836135767 | 1,3303315 | 1,652117167 | 0,297364793 |
| Total general | 0,000758873 | 0,001445187 | 0,0038302 | 0,008453567 | 0,017012453 | 0,028273263 | 0,044161383 | 0,065585193 | 0,093827743 | 0,133386016 | 0,223100847 | 0,362582123 | 0,559760793 | 0,818698357 | 1,129763203 | 1,961198677 | 3,118609153 | 3,847853553 | 0,685385688 |



Para garantizar que el proceso de evaluación comparativa sea consistente, cada escenario se ejecutó 30 veces y se calculó el tiempo promedio de ejecución.

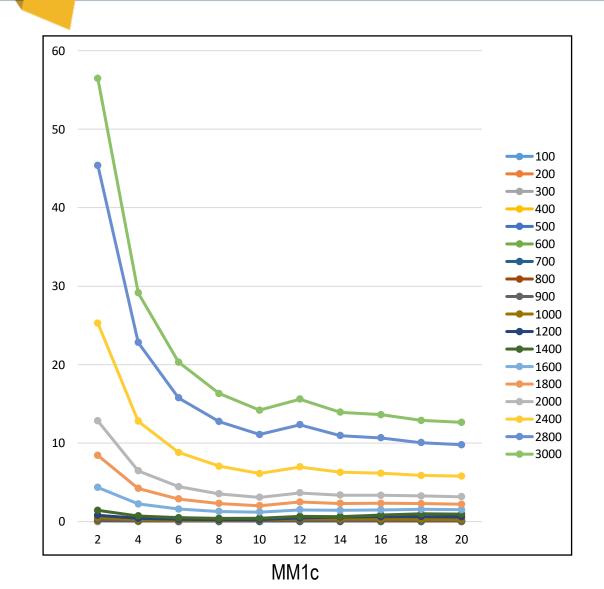
| Average of Seconds | Etiquetas de columna | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Etiquetas de fila | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2400 | 2800 | 3000 | Total general |
| 2 | 0,000265117 | 0,002184567 | 0,007217933 | 0,018150333 | 0,0352715 | 0,059664033 | 0,09823905 | 0,136828283 | 0,19490335 | 0,267494767 | 0,475081133 | 0,815796933 | 1,3020244 | 1,930454767 | 2,693823267 | 4,7135544 | 7,4782428 | 9,1858639 | 1,109917952 |
| 4 | 0,00013635 | 0,001104517 | 0,00369045 | 0,008787533 | 0,01707785 | 0,0297408 | 0,046867367 | 0,069873083 | 0,099215217 | 0,136277133 | 0,237941767 | 0,400199033 | 0,655975233 | 0,987195533 | 1,3706941 | 2,390118867 | 3,793650133 | 4,649334633 | 0,562013806 |
| 6 | 0,00009335 | 0,00076605 | 0,002522433 | 0,006025233 | 0,01180945 | 0,020429 | 0,033630883 | 0,04902945 | 0,068177783 | 0,097022933 | 0,164485933 | 0,282561633 | 0,456546133 | 0,684747933 | 0,955070733 | 1,6734015 | 2,665026233 | 3,276648767 | 0,394091817 |
| 8 | 7,38333E-05 | 0,00056955 | 0,001909367 | 0,00448655 | 0,00887755 | 0,015549333 | 0,02700525 | 0,040119067 | 0,055179933 | 0,078411067 | 0,135872633 | 0,2273147 | 0,3626025 | 0,5423365 | 0,758195167 | 1,3351 | 2,116826733 | 2,6098165 | 0,313852469 |
| 10 | 0,00011025 | 0,000864783 | 0,002980583 | 0,007319833 | 0,0141854 | 0,024285517 | 0,038268617 | 0,05611705 | 0,0809095 | 0,108043267 | 0,152314533 | 0,2343815 | 0,3614781 | 0,533176033 | 0,691798133 | 1,166483233 | 1,833762 | 2,25123 | 0,288249995 |
| 12 | 9,27167E-05 | 0,000734567 | 0,002433417 | 0,005936367 | 0,011927017 | 0,02088545 | 0,033359567 | 0,052627583 | 0,0697815 | 0,0983761 | 0,1706013 | 0,272670033 | 0,416915433 | 0,6018368 | 0,803490467 | 1,351547967 | 2,132478367 | 2,587292433 | 0,32706538 |
| 14 | 8,23167E-05 | 0,00064155 | 0,002098567 | 0,005073267 | 0,010438217 | 0,018203117 | 0,029128267 | 0,0463212 | 0,061813417 | 0,086496133 | 0,1491757 | 0,237745 | 0,365577467 | 0,527049667 | 0,718818567 | 1,218671233 | 1,902419467 | 2,3371393 | 0,292247865 |
| 16 | 7,41833E-05 | 0,000564017 | 0,001951783 | 0,00487045 | 0,009684517 | 0,016895933 | 0,02715235 | 0,040366317 | 0,056083067 | 0,077751267 | 0,133825867 | 0,213977133 | 0,327671333 | 0,478057567 | 0,662632467 | 1,163965267 | 1,846575367 | 2,265541267 | 0,277232695 |
| 18 | 7,01833E-05 | 0,000529633 | 0,001794567 | 0,00441145 | 0,008665517 | 0,015316483 | 0,024111367 | 0,03644395 | 0,051276833 | 0,070908667 | 0,122780333 | 0,195147733 | 0,2986544 | 0,4368827 | 0,6072977 | 1,061492233 | 1,7031926 | 2,101327933 | 0,254923121 |
| 20 | 0,005767917 | 0,005541633 | 0,0080436 | 0,00787015 | 0,011368067 | 0,011724767 | 0,024301083 | 0,030757683 | 0,04359445 | 0,0569236 | 0,101770367 | 0,172948433 | 0,278271867 | 0,408252867 | 0,5651762 | 0,992984567 | 1,571080233 | 1,933968433 | 0,236270936 |
| Total general | 0,000676622 | 0,001350087 | 0,00346427 | 0,007293117 | 0,013930508 | 0,023269443 | 0,03820638 | 0,055848367 | 0,078093505 | 0,107770493 | 0,184384957 | 0,305274213 | 0,482571687 | 0,712999037 | 0,98269968 | 1,706731927 | 2,704325393 | 3,319816317 | 0,405586604 |

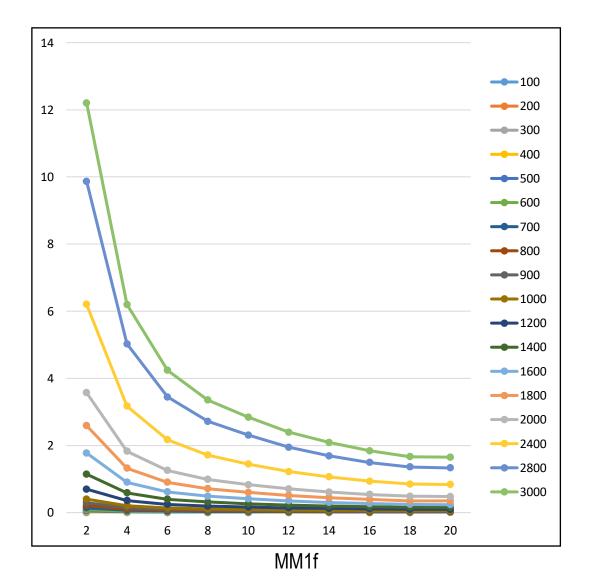
Tabla para MM1fu

| Average of Seconds | Etiquetas de columna | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Etiquetas de fila | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2400 | 2800 | 30001 | Total general |
| 2 | 0,0001019 | 0,000830283 | 0,002610733 | 0,006254783 | 0,012749867 | 0,024143917 | 0,0356248 | 0,051097117 | 0,072081067 | 0,098463267 | 0,1727196 | 0,3032825 | 0,490103533 | 0,741069967 | 1,059327633 | 1,845118833 | 2,877548567 | 3,673580633 | 0,432303832 |
| 4 | 5,29833E-05 | 0,000427183 | 0,00136015 | 0,003167267 | 0,006110833 | 0,0106203 | 0,01652415 | 0,02600945 | 0,036162667 | 0,050357067 | 0,089930533 | 0,153205267 | 0,240282233 | 0,366105367 | 0,527019033 | 0,917572667 | 1,450806867 | 1,820447433 | 0,215429498 |
| 6 | 0,00003855 | 0,000293767 | 0,00092205 | 0,002216883 | 0,004297933 | 0,007712617 | 0,012073117 | 0,018974883 | 0,026909667 | 0,037660733 | 0,0666038 | 0,1104271 | 0,172193 | 0,259324133 | 0,3735832 | 0,649544433 | 1,026649333 | 1,289430967 | 0,153047986 |
| 8 | 0,00003275 | 0,000229433 | 0,000706633 | 0,001677883 | 0,0032488 | 0,006079883 | 0,0109058 | 0,015640117 | 0,024747467 | 0,032378667 | 0,058601967 | 0,0894978 | 0,1370736 | 0,2072851 | 0,3015866 | 0,521898333 | 0,826734767 | 1,038248467 | 0,123697883 |
| 10 | 3,79167E-05 | 0,000275683 | 0,00092865 | 0,002341617 | 0,0047933 | 0,008391867 | 0,013436717 | 0,019974133 | 0,027971767 | 0,039139533 | 0,068253533 | 0,1033147 | 0,154121133 | 0,211685367 | 0,2971498 | 0,479691033 | 0,7448167 | 0,956166733 | 0,11891266 |
| 12 | 0,00003695 | 0,0002441 | 0,000800533 | 0,002026 | 0,004055467 | 0,0070109 | 0,01146375 | 0,01707705 | 0,0243917 | 0,033710867 | 0,058392633 | 0,090697567 | 0,146331233 | 0,213676667 | 0,3034202 | 0,525964867 | 0,819130767 | 1,022716067 | 0,124009399 |
| 14 | 0,00003505 | 0,00022125 | 0,00071525 | 0,001778917 | 0,003480883 | 0,006129733 | 0,009838733 | 0,01479205 | 0,021927817 | 0,029017733 | 0,050714967 | 0,0795827 | 0,1249271 | 0,1883298 | 0,266997333 | 0,464578033 | 0,735727967 | 0,914629333 | 0,110086827 |
| 16 | 0,0000336 | 0,000198083 | 0,000636167 | 0,001539217 | 0,003105317 | 0,005434383 | 0,008726167 | 0,01303375 | 0,01897935 | 0,026172367 | 0,0453177 | 0,072331367 | 0,111419167 | 0,167580667 | 0,235556733 | 0,413136933 | 0,6646688 | 0,8239056 | 0,098646719 |
| 18 | 0,0000326 | 0,000179533 | 0,000583617 | 0,0014131 | 0,00275275 | 0,004885617 | 0,007939383 | 0,011907183 | 0,016989133 | 0,023414133 | 0,041992833 | 0,0647034 | 0,103379967 | 0,152565333 | 0,211263633 | 0,3754016 | 0,605044267 | 0,754667433 | 0,089844386 |
| 20 | 0,0047564 | 0,006890217 | 0,003747983 | 0,005982767 | 0,0067989 | 0,010518467 | 0,0149667 | 0,01721235 | 0,019779383 | 0,026744133 | 0,03147 | 0,0653288 | 0,0946065 | 0,143434 | 0,2012634 | 0,3549363 | 0,5705173 | 0,706315533 | 0,087997122 |
| Total general | 0,00051587 | 0,000978953 | 0,001301177 | 0,002839843 | 0,005139405 | 0,009092768 | 0,014149932 | 0,020571808 | 0,028994002 | 0,03970585 | 0,068399757 | 0,11323712 | 0,177443747 | 0,26510564 | 0,377716757 | 0,654784303 | 1,032164533 | 1,30001082 | 0,155397631 |

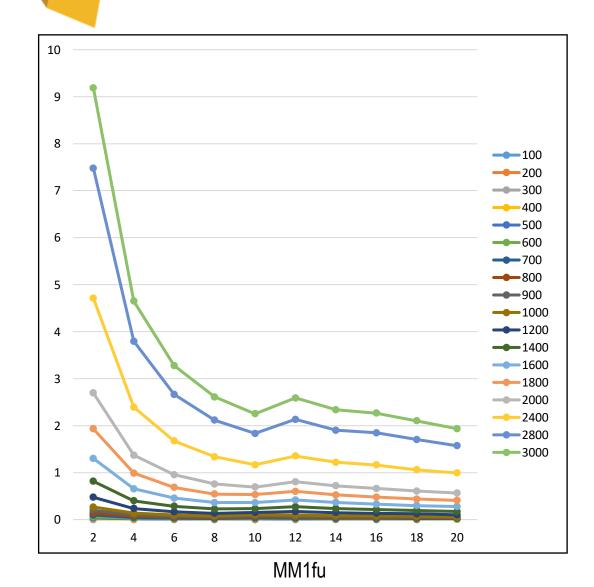
Tabla para MM2f

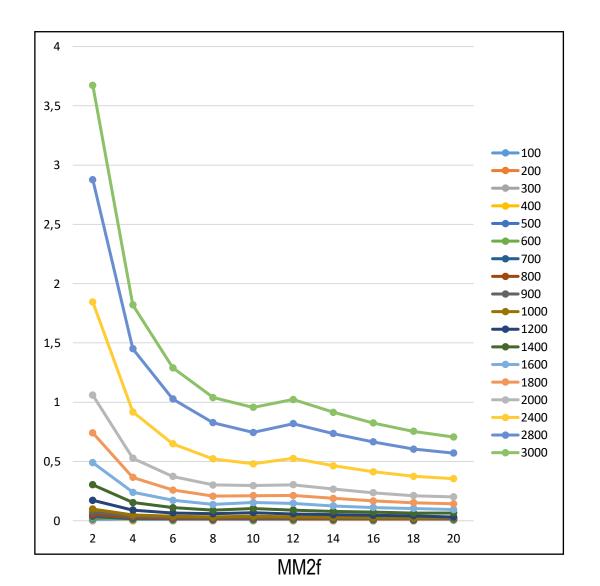




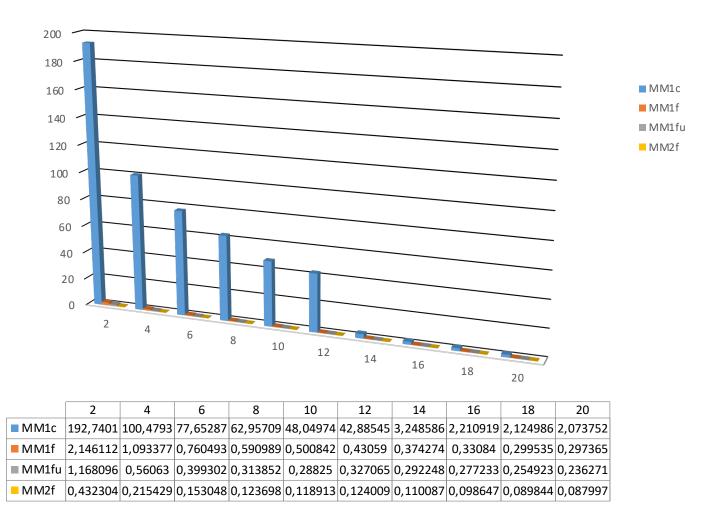












Rendimiento de los algoritmos para diferentes números de threads.



Para garantizar que el proceso de evaluación comparativa sea consistente, cada escenario se ejecutó 30 veces y se calculó el tiempo promedio de ejecución.

| Average of Seconds | Etiquetas de columna | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Etiquetas de fila | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2400 | 2800 | 3000 | Total general |
| 2 | 0,016692 | 0,035734857 | 0,10879 | 0,131763143 | 0,274317 | 0,322559154 | 0,560503 | 1,016577643 | 1,485548357 | 1,881141071 | 3,549886643 | 6,237480571 | 11,45839214 | 16,66823321 | 26,06075336 | 40,241897 | 66,42818185 | 83,83140554 | 14,03114797 |
| 4 | 0,011513 | 0,017957077 | 0,044224692 | 0,109020692 | 0,119817077 | 0,220832385 | 0,361342538 | 0,557382385 | 0,876042615 | 1,141082538 | 1,919085462 | 3,140357154 | 5,612220615 | 7,815687692 | 11,98229831 | 21,989815 | 39,30948738 | 49,64239175 | 7,869849215 |
| 6 | 0,032687538 | 0,068460308 | 0,075975077 | 0,158627231 | 0,444901308 | 0,340416923 | 0,832528692 | 0,543048846 | 0,924875308 | 1,231360538 | 1,912758308 | 2,885723308 | 5,812599923 | 7,048345769 | 9,938028923 | 18,54166092 | 28,40917023 | 32,17140792 | 6,187365393 |
| 8 | 0,045102231 | 0,037582692 | 0,151128769 | 0,294809385 | 0,081140923 | 0,135666538 | 0,232140769 | 0,356278462 | 0,535799846 | 0,623730769 | 1,093116308 | 1,832392077 | 3,215391385 | 4,608069769 | 6,648542154 | 11,85087992 | 19,41044315 | 24,87977431 | 4,223999415 |
| 10 | 0,025434 | 0,015963154 | 0,138836385 | 0,046606308 | 0,268675417 | 0,130518769 | 0,246017077 | 0,404153231 | 0,499836692 | 0,702939 | 0,994457231 | 1,947444538 | 3,079551846 | 4,222215 | 5,428357154 | 10,67860538 | 19,07410362 | 22,54894354 | 3,928420983 |
| 12 | 0,057056462 | 0,10864375 | 0,192558385 | 0,306498385 | 0,289732077 | 0,359956538 | 0,652971385 | 1,119570154 | 1,038524692 | 0,912188462 | 1,554867462 | 2,0209145 | 3,868609923 | 4,579415615 | 6,779008231 | 12,42838869 | 20,82149931 | 24,192106 | 4,545444276 |
| 14 | 0,068609 | 0,089107154 | 0,159261 | 0,388031769 | 0,565986077 | 1,003779231 | 1,327983538 | 1,348290308 | 1,143760538 | 1,927811 | 2,073870615 | 2,206345615 | 3,204901231 | 4,823490077 | 7,489563615 | 12,93662492 | 20,33616769 | 25,49182015 | 4,810300197 |
| Total general | 0,036509967 | 0,052548659 | 0,124226696 | 0,20425438 | 0,292143407 | 0,35910422 | 0,601476457 | 0,766364033 | 0,935245576 | 1,210265598 | 1,889396011 | 2,942144143 | 5,247065913 | 7,246120451 | 10,78593398 | 18,61874164 | 30,54129332 | 37,40232942 | 6,586915694 |

Tabla para MM1c

| Average of Seconds | Etiquetas de columna | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Etiquetas de fila | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2400 | 2800 | 3000 | Total general |
| 2 | 0,019001125 | 0,057157625 | 0,069106438 | 0,133860813 | 0,258772938 | 0,446173 | 0,615924563 | 0,896292875 | 1,328708875 | 1,663959375 | 3,074816625 | 4,54109925 | 6,95644625 | 7,806059438 | 11,547865 | 22,44794181 | 31,40355675 | 39,66318925 | 7,384996222 |
| 4 | 0,027777563 | 0,035297563 | 0,08994 | 0,089542938 | 0,13209 | 0,199461357 | 0,2624905 | 0,386709438 | 0,541394938 | 0,734062938 | 1,176147813 | 1,96302425 | 2,801732625 | 4,014462688 | 5,519769438 | 10,15969288 | 15,24806263 | 19,32191507 | 3,451004758 |
| 6 | 0,022733563 | 0,02219125 | 0,054699625 | 0,124166063 | 0,179660375 | 0,2324285 | 0,295601938 | 0,382464438 | 0,593580063 | 0,624237667 | 1,332499313 | 1,973246125 | 2,568603625 | 3,754289438 | 4,595650875 | 8,120483125 | 12,63691263 | 15,88820606 | 2,974920686 |
| 8 | 0,113020938 | 0,059805875 | 0,374383375 | 0,33895725 | 0,1762625 | 0,526229188 | 0,408432 | 0,55276375 | 0,568817313 | 0,709275313 | 0,769928938 | 1,66279375 | 2,191186938 | 3,368394563 | 4,418793063 | 6,9364694 | 11,62318313 | 13,89501713 | 2,690463279 |
| 10 | 0,125539067 | 0,17454325 | 0,333520625 | 0,62760925 | 1,083602375 | 1,40016225 | 1,383178 | 1,51971625 | 1,025905813 | 0,859065563 | 1,02418375 | 1,804139375 | 2,496040125 | 3,345883188 | 4,332650438 | 6,793514125 | 10,16390313 | 12,76061175 | 2,856915519 |
| 12 | 0,114442438 | 0,155554875 | 0,490853438 | 0,9727565 | 0,4036315 | 1,540316438 | 1,453987063 | 2,268275375 | 1,85453025 | 1,08971975 | 1,085042563 | 1,881167 | 2,539572188 | 2,652073733 | 4,0180532 | 5,235956667 | 9,744831188 | 11,92346667 | 2,700556842 |
| 14 | 0,25125525 | 0,25008825 | 0,806403063 | 1,374015063 | 2,016538875 | 2,251896 | 2,861511438 | 4,333853 | 1,791565188 | 3,953452063 | 2,507022813 | 3,313106313 | 2,90010375 | 3,8859216 | 4,451545933 | 6,192660733 | 9,010768429 | 12,67274233 | 3,517612745 |
| Total general | 0,095989009 | 0,107805527 | 0,316986652 | 0,522986839 | 0,607222652 | 0,955888591 | 1,040160786 | 1,477153589 | 1,100643205 | 1,383028153 | 1,567091688 | 2,448368009 | 3,207669357 | 4,133594173 | 5,578905891 | 9,502957917 | 14,35707226 | 18,11086466 | 3,657620079 |



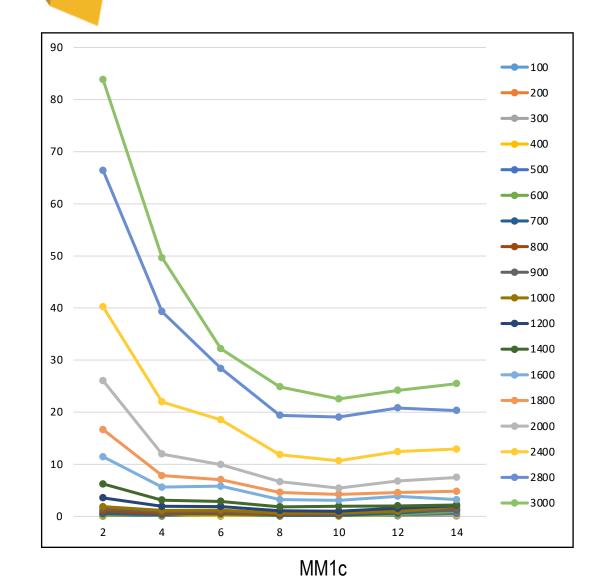
Para garantizar que el proceso de evaluación comparativa sea consistente, cada escenario se ejecutó 30 veces y se calculó el tiempo promedio de ejecución.

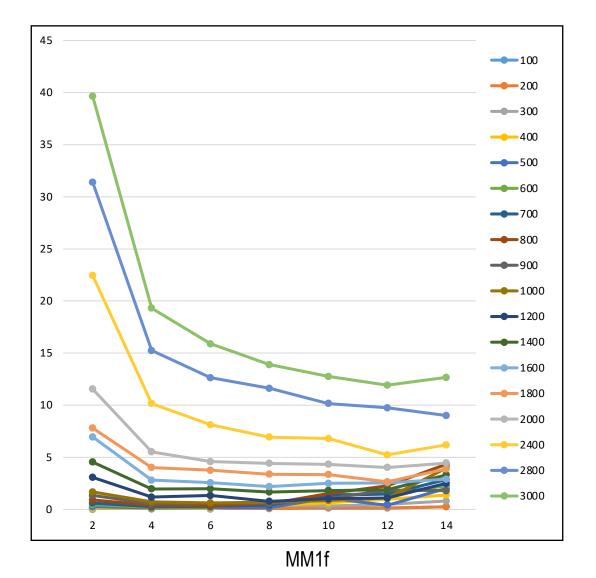
| Average of Seconds | Etiquetas de columna | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Etiquetas de fila | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2400 | 2800 | 3000 | Total general |
| 2 | 0,015628056 | 0,022962056 | 0,038400278 | 0,081593556 | 0,139646667 | 0,198321889 | 0,337142111 | 0,501892944 | 0,703540389 | 0,892529556 | 1,495667 | 2,361091444 | 3,433069222 | 5,042189333 | 6,685276944 | 11,19508767 | 18,96123511 | 22,31506861 | 4,134463491 |
| 4 | 0,033061333 | 0,049718278 | 0,063524 | 0,091645667 | 0,128053235 | 0,164637611 | 0,256284333 | 0,315175278 | 0,497107722 | 0,667434235 | 1,098106471 | 1,532331389 | 2,014842389 | 3,463149722 | 4,429823176 | 6,229358 | 9,615375111 | 12,61082 | 2,413639519 |
| 6 | 0,081102 | 0,080770278 | 0,207198222 | 0,214785722 | 0,238087611 | 0,338453556 | 0,338531824 | 0,410611222 | 0,375053167 | 0,480266611 | 0,738572111 | 1,619743824 | 2,070437278 | 2,533373556 | 3,235105778 | 5,039373278 | 8,197248222 | 9,839602333 | 2,014486981 |
| 8 | 0,046270944 | 0,040113556 | 0,202980167 | 0,373701778 | 0,895339611 | 0,354376444 | 0,376951944 | 0,471175167 | 0,641507222 | 0,623560667 | 0,904736778 | 1,053761444 | 1,530098167 | 2,674652056 | 2,863329444 | 5,509282 | 7,868732471 | 10,32063517 | 2,023693368 |
| 10 | 0,175769444 | 0,100160111 | 0,438297056 | 0,315632 | 0,605170389 | 0,850367556 | 0,427206389 | 1,338581889 | 1,328692333 | 0,835569722 | 1,146633706 | 1,109514389 | 1,960506 | 2,135100167 | 2,976111941 | 5,547202 | 7,911477611 | 8,642308 | 2,102716357 |
| 12 | 0,059856444 | 0,078186667 | 0,398080667 | 0,751702556 | 1,134073222 | 0,354782556 | 0,715769235 | 1,119526667 | 0,679777222 | 0,616798111 | 0,949771056 | 0,983890111 | 1,6826195 | 2,625122667 | 2,830232333 | 5,169422667 | 7,668154111 | 8,516912556 | 2,022626752 |
| 14 | 0,189596471 | 0,556471389 | 0,574638278 | 1,055114333 | 1,026893222 | 1,746465833 | 2,1815385 | 2,815248111 | 2,453741722 | 1,862205278 | 1,745254647 | 2,781797944 | 2,524780647 | 2,796876765 | 3,218661706 | 5,733327412 | 8,613145118 | 9,665866647 | 2,826777604 |
| Total general | 0,08510021 | 0,132626048 | 0,274731238 | 0,412025087 | 0,599061584 | 0,572486492 | 0,664091427 | 0,996030183 | 0,954202825 | 0,855544968 | 1,149815911 | 1,634708848 | 2,170956616 | 3,04057184 | 3,753407699 | 6,351053016 | 9,859312435 | 11,71788778 | 2,505948834 |

Tabla para MM1fu

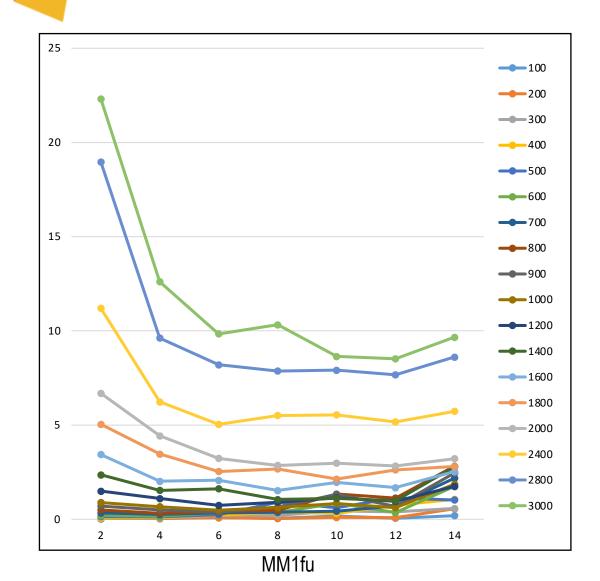
| Average of Seconds | Etiquetas de columna | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Etiquetas de fila | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1200 | 1400 | 1600 | 1800 | 2000 | 2400 | 2800 | 30001 | Total general |
| 2 | 0,01016575 | 0,024889438 | 0,0548035 | 0,115191813 | 0,19805725 | 0,346405875 | 0,534105375 | 0,815099 | 1,138313875 | 1,559033 | 2,6874075 | 4,226938375 | 6,444738438 | 8,7833435 | 12,68119844 | 21,36877513 | 26,89000706 | 32,44323181 | 6,684539174 |
| 4 | 0,028758313 | 0,029818375 | 0,041742625 | 0,1073335 | 0,188645563 | 0,250176357 | 0,357961938 | 0,515185438 | 0,715331688 | 0,858261125 | 1,440323125 | 2,143891188 | 3,036582313 | 4,247720875 | 6,406453438 | 11,10927556 | 17,22459219 | 21,27956188 | 3,913305927 |
| 6 | 0,02521575 | 0,047532438 | 0,162018938 | 0,131499438 | 0,18304525 | 0,240343625 | 0,269353063 | 0,3736424 | 0,529889625 | 0,872835188 | 1,33378275 | 1,749178625 | 2,799416063 | 3,752756313 | 5,192388188 | 8,9345465 | 13,26534925 | 15,90153525 | 3,107510857 |
| 8 | 0,099490563 | 0,113449667 | 0,368039125 | 0,619808938 | 0,471491 | 0,332835188 | 0,75442625 | 0,949928 | 0,867745125 | 0,77691775 | 1,436283125 | 2,016049 | 3,052364813 | 4,08751675 | 4,93992925 | 8,381202625 | 12,02928338 | 15,509945 | 3,175952266 |
| 10 | 0,155082375 | 0,135148188 | 0,947498267 | 0,578375933 | 1,3162135 | 0,913434875 | 1,298821563 | 1,555630438 | 1,11033525 | 1,043152313 | 1,556805625 | 2,38844325 | 2,898243733 | 3,742516375 | 4,1846645 | 6,955758188 | 9,744034688 | 13,50016956 | 3,017421544 |
| 12 | 0,2115085 | 0,673442938 | 0,747053875 | 0,868728875 | 1,478681563 | 1,619373625 | 2,241755125 | 3,297923938 | 1,93281325 | 3,579645875 | 1,824457875 | 1,830285188 | 2,81985275 | 3,354475938 | 4,4402475 | 5,931072688 | 10,49652788 | 11,25635788 | 3,255789181 |
| 14 | 0,1396852 | 0,2439502 | 0,410544867 | 0,721406867 | 1,398814333 | 1,124321333 | 2,460105 | 1,957544933 | 1,813473067 | 2,441064267 | 1,569232267 | 2,577692467 | 2,017932467 | 2,529892733 | 2,961578929 | 5,1430696 | 6,6125724 | 8,965762 | 2,503227007 |
| Total general | 0,095304667 | 0,181220909 | 0,384992509 | 0,445252209 | 0,744444273 | 0,693629174 | 1,11895809 | 1,355527991 | 1,152368982 | 1,582463856 | 1,693724721 | 2,417495108 | 3,310817391 | 4,373348351 | 5,881638236 | 9,73005527 | 13,81608376 | 17,05170497 | 3,677994585 |

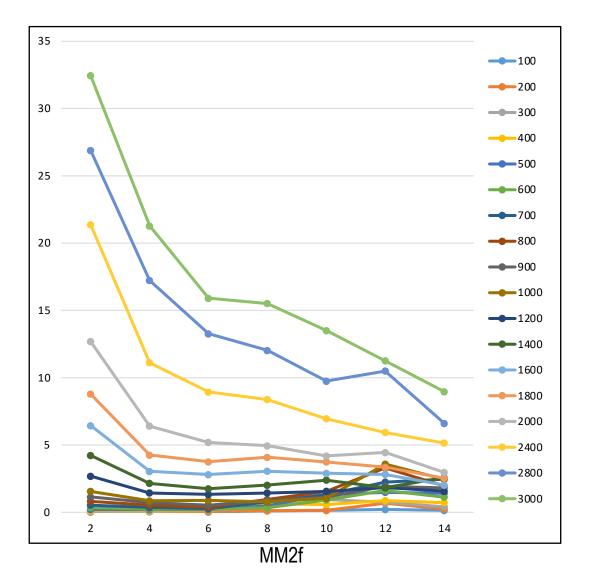




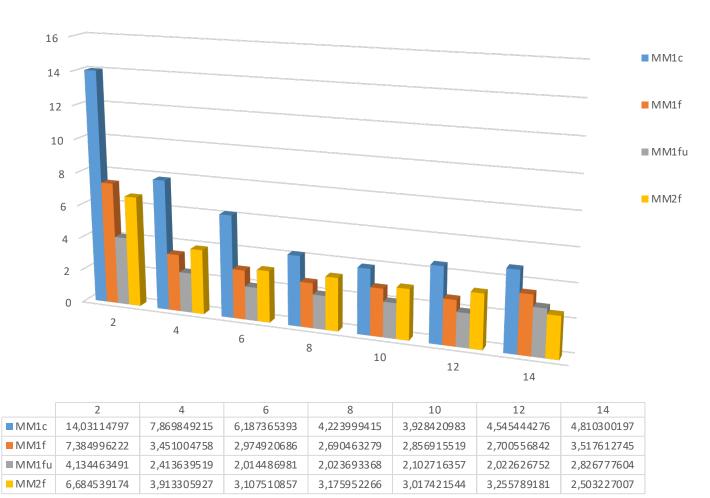






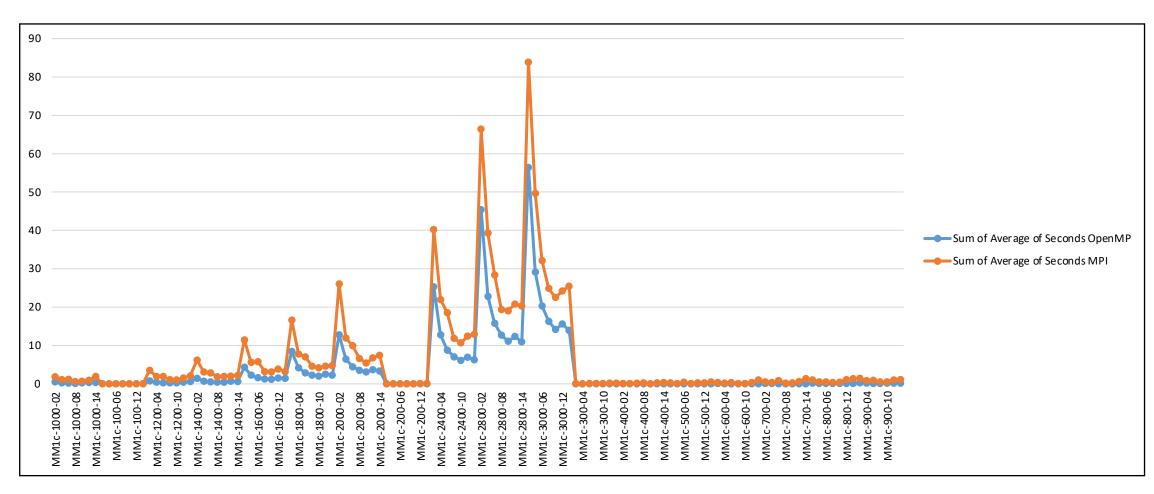




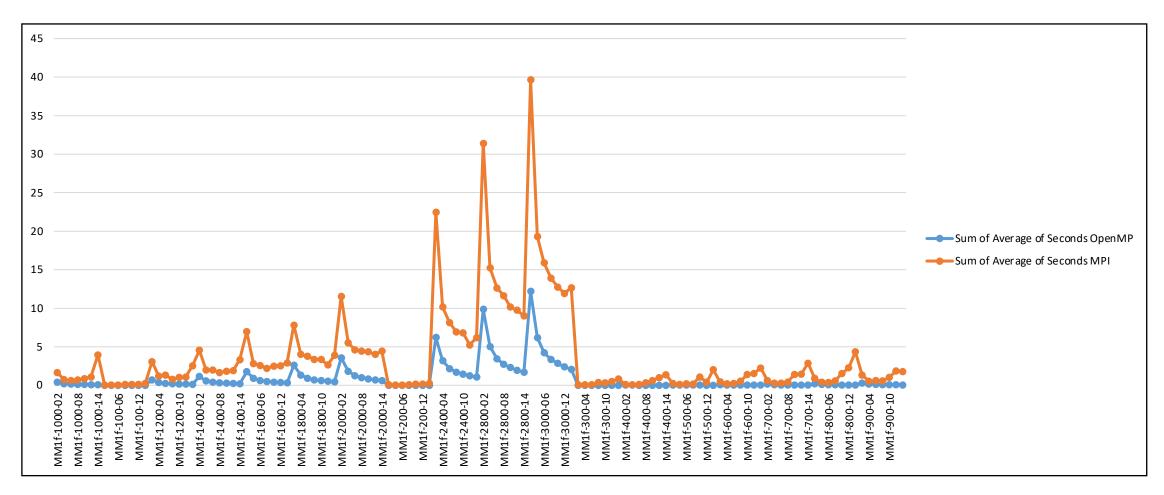


Rendimiento de los algoritmos para diferentes números de threads.

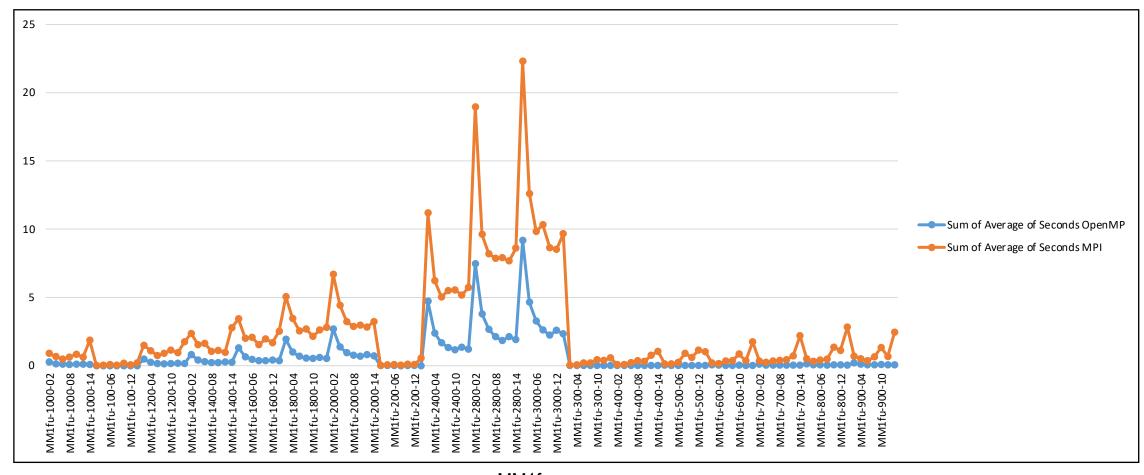




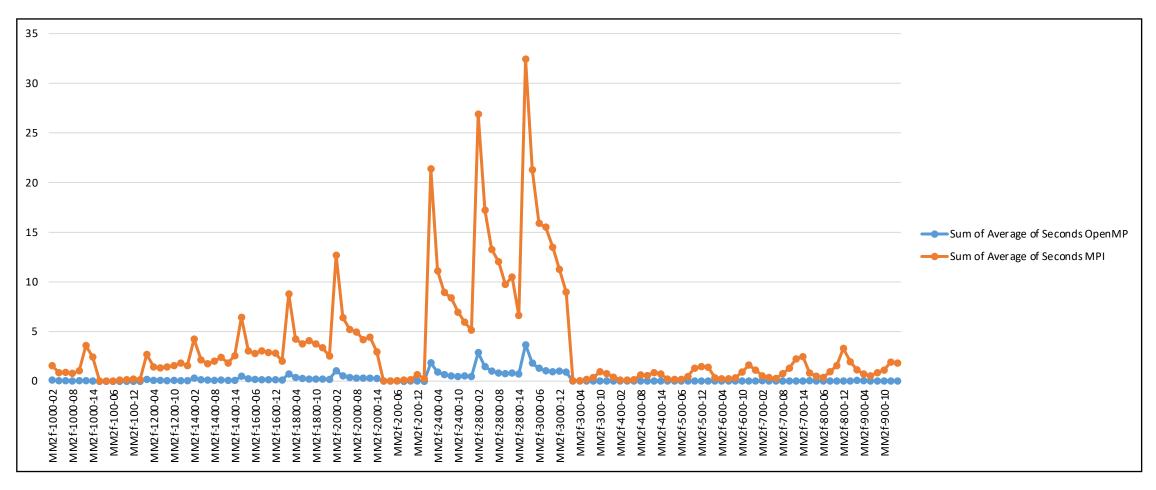












Conclusiones



- El rendimiento de los algoritmos de multiplicación de matrices mejora al aumentar el número de hilos utilizados, pero se ralentiza a medida que se incrementa, con un límite en el rendimiento alcanzado.
- → MM2f es el código más eficiente en términos de rendimiento, seguido por MM1fu y MM1f. MM1c tiene el rendimiento más bajo entre los cuatro algoritmos.
- ☐ MM2f y MM1fu utilizan un particionamiento de matrices más eficiente y minimizan las operaciones de memoria, lo que mejora su rendimiento y eficiencia en comparación con MM1f y MM1c.
- La elección del mejor modelo para aplicaciones en paralelo depende de varios factores, por un lado la implementación de MPI requiere más esfuerzo y experiencia. Pero, MPI tiene la ventaja de ser compatible con sistemas de memoria compartida y distribuida.
- □ La implementación paralela de algoritmos de multiplicación de matrices mejora el rendimiento. El particionamiento eficiente de matrices y la optimización de operaciones de memoria son clave para obtener un mejor rendimiento.

Bibliografía



- ➤ Al-Mulhem, M.S., Aidhamin, A., Al-Shaikh, R.: On benchmarking the matrix multiplication algorithm using OpenMP, MPI and CUDA programming languages. ResearchGate (2013)
- ➤ Tim.Lewis: cOMPunity The Independent Community for OpenMP (2019). https://www.openmp.org/compunity/.
- Nayfeh, B.A., Olukotun, K.: A single-chip multiprocessor. IEEE Computer 30(9), 79–85 (1997). https://doi.org/10.1109/2.612253.
- ➤ Jerraya, A.A., Tenhunen, H., Wolf, W.: Guest Editors' Introduction: Multiprocessor Systems-on-Chips. IEEE Computer 38(7), 36–40 (2005). https://doi.org/10.1109/mc.2005.231.
- ➢ Gorder, P.F.: Multicore Processors for Science and Engineering. Computing in Science and Engineering 9(2), 3–7 (2007). https://doi.org/10.1109/mcse.2007.35.
- Academy, S.: CS201: Words in Computer Architecture Saylor Academy. https://learn.saylor.org/mod/page/view.php?id=18960.
- ➢ Gorder, P.F.: Multicore Processors for Science and Engineering. Computing in Science and Engineering 9(2), 3–7 (2007). https://doi.org/10.1109/mcse.2007.35.

Bibliografía



- > Quinn, M.A.: Parallel Programming in C with MPI and OpenMP, (2003). http://www.inf.puc-rio.br/noemi/cd-06/cd3.pdf.
- Performance Comparison of MPI Implementations over InfiniBand, Myrinet and Quadrics (2003). https://ieeexplore.ieee.org/document/1592961.
- Chandrashekar, B.N., Shastry, K.A., Manjunath, B.A., Geetha, V.: Performance Model of HPC Application On CPU-GPU Platform*. (2022). https://doi.org/10.1109/mysurucon55714.2022.9972737.
- Syberfeldt, A.: A Comparative Evaluation of the GPU vs The CPU for Parallelization of Evolutionary Algorithms Through Multiple Independent Runs (2021). https://ssrn.com/abstract=3937048.
- Pacheco, P., Malensek, M.: An Introduction to Parallel Programming. Morgan Kaufmann, (2021).
- Fast Multidimensional Matrix Multiplication on CPU from Scratch (2022). https://siboehm.com/articles/22/Fast-MMM-on-CPU.



¡Gracias por su atención!