2º curso / 2º cuatr.

Grado en
Ing. Informática

Arquitectura de Computadores
Tema 2

Programación paralela

Material elaborado por los profesores responsables de la asignatura:
Mancia Anguita – Julio Ortega

ugr | Universidad de Granada

ETSIIT
Escuela Técnica Superior de Ingenierías Informática y de Telecomunicación

ATC
Departamento de Arquitectura y Tecnología de Computadores
UNIVERSIDAD DE GRANADA

Lecciones

- Lección 4. Herramientas, estilos y estructuras en programación paralela
  - Problemas que plantea la programación paralela al programador. Punto de partida
  - Herramientas para obtener código paralelo
  - Estilos/paradigmas de programación paralela
  - Estructuras típicas de códigos paralelos
- Lección 5. Proceso de paralelización
- Lección 6. Evaluación de prestaciones en procesamiento paralelo

Objetivos Lección 4

- Distinguir entre los diferentes tipos de herramientas de programación paralela: compiladores paralelos, lenguajes paralelos, API Directivas y API de funciones.
- Distinguir entre los diferentes tipos de comunicaciones colectivas.
- Diferenciar el estilo/paradigma de programación de paso de mensajes del de variables compartidas.
- Diferenciar entre OpenMP y MPI en cuanto a su estilo de programación y tipo.
- Distinguir entre las estructuras de tareas/procesos/treads master-slave, cliente-servidor, descomposición de dominio, flujo de datos o segmentación, y divide y vencerás.

Bibliografía Lección 4

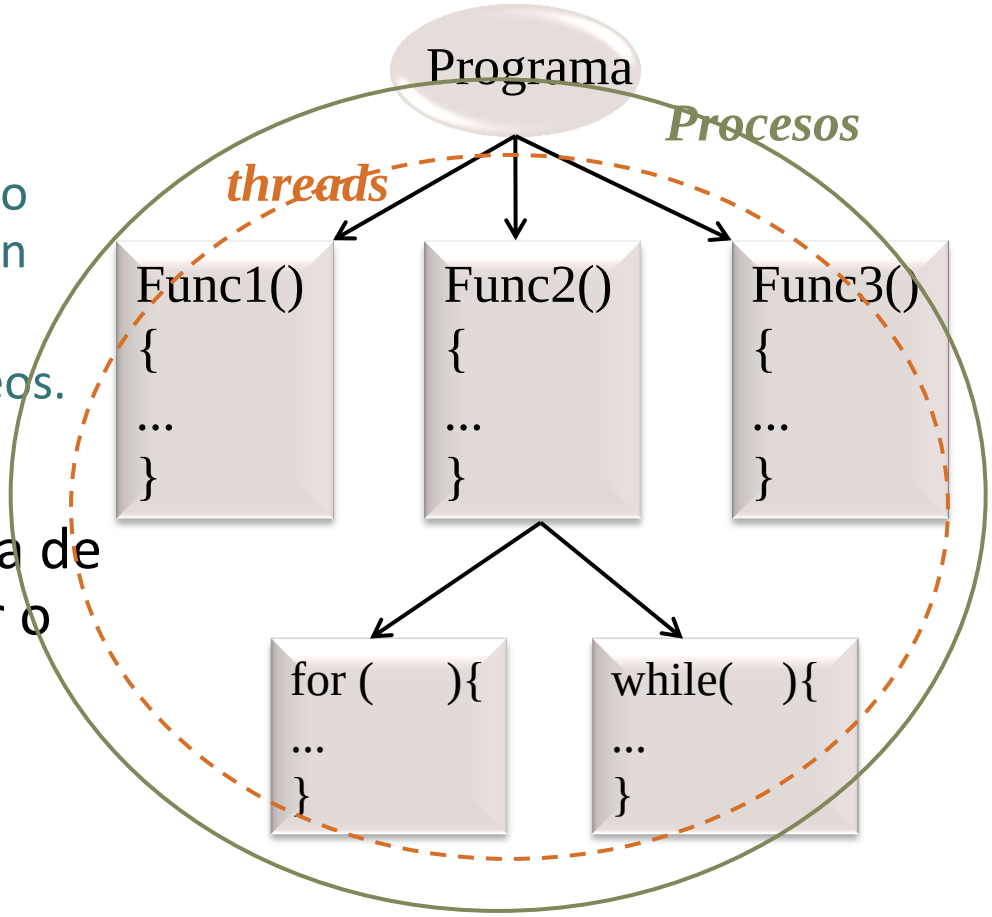
- Fundamental
  - Capítulo 7. Sección 7.4. J. Ortega, M. Anguita, A. Prieto. "Arquitectura de Computadores". ESII/C.1 ORT arq
- Complementaria
  - Thomas Rauber, Gudula Rünger. "Parallel Programming: for Multicore and Cluster Systems." Springer, 2010. Disponible en línea (biblioteca UGR): http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-04818-0
  - Barry Wilkinson."Parallel programming : techniques and applications using networked workstations and parallel computer", 2005. ESIIT/D.1 WIL par

Contenido Lección 4

- Problemas que plantea la programación paralela al programador. Punto de partida
- Herramientas para obtener código paralelo
- Estilos/paradigmas de programación paralela
- Estructuras típicas de códigos paralelos

Problemas que plantea la programación paralela

- Nuevos problemas, respecto a programación secuencial:
  - División en unidades de cómputo independientes (tareas).
  - Agrupación/asignación de tareas o carga de trabajo (código, datos) en procesos/threads.
  - Asignación a procesadores/núcleos.
  - Sincronización y comunicación.
- Los debe abordar la herramienta de programación o el programador o ambos



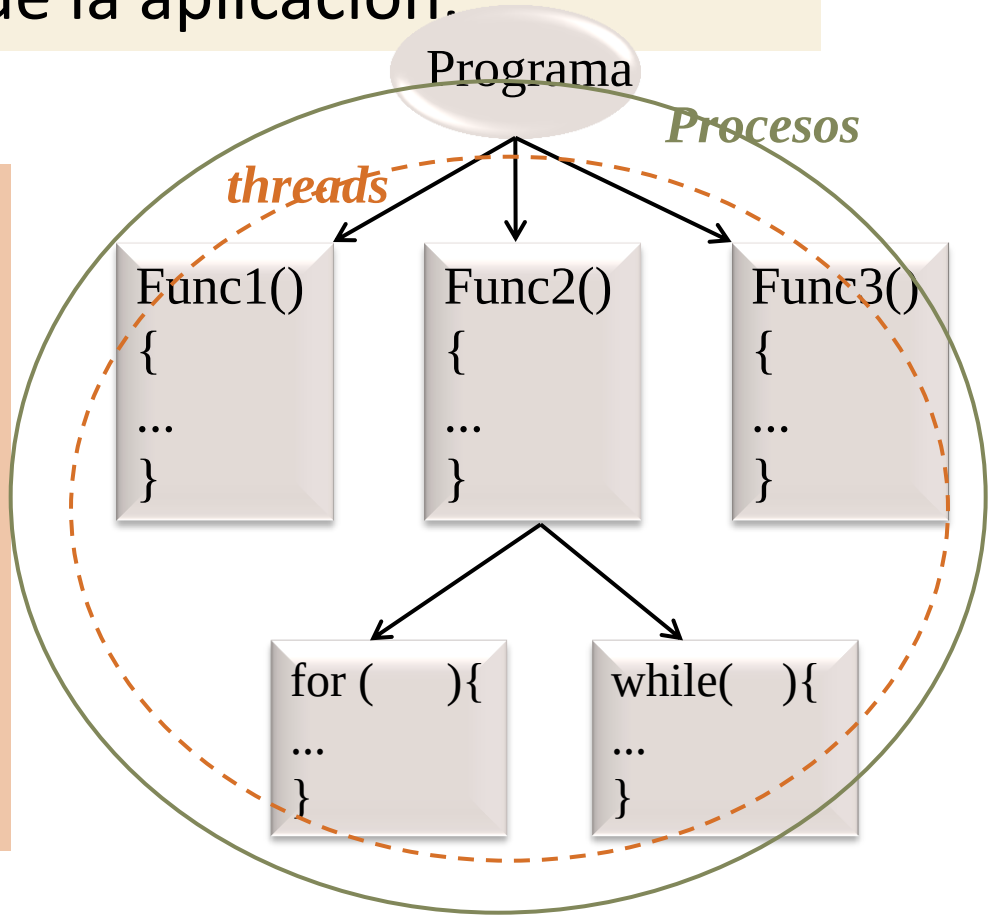
Punto de partida

- Partir de una versión secuencial.
- Descripción o definición de la aplicación.

Apoyo:

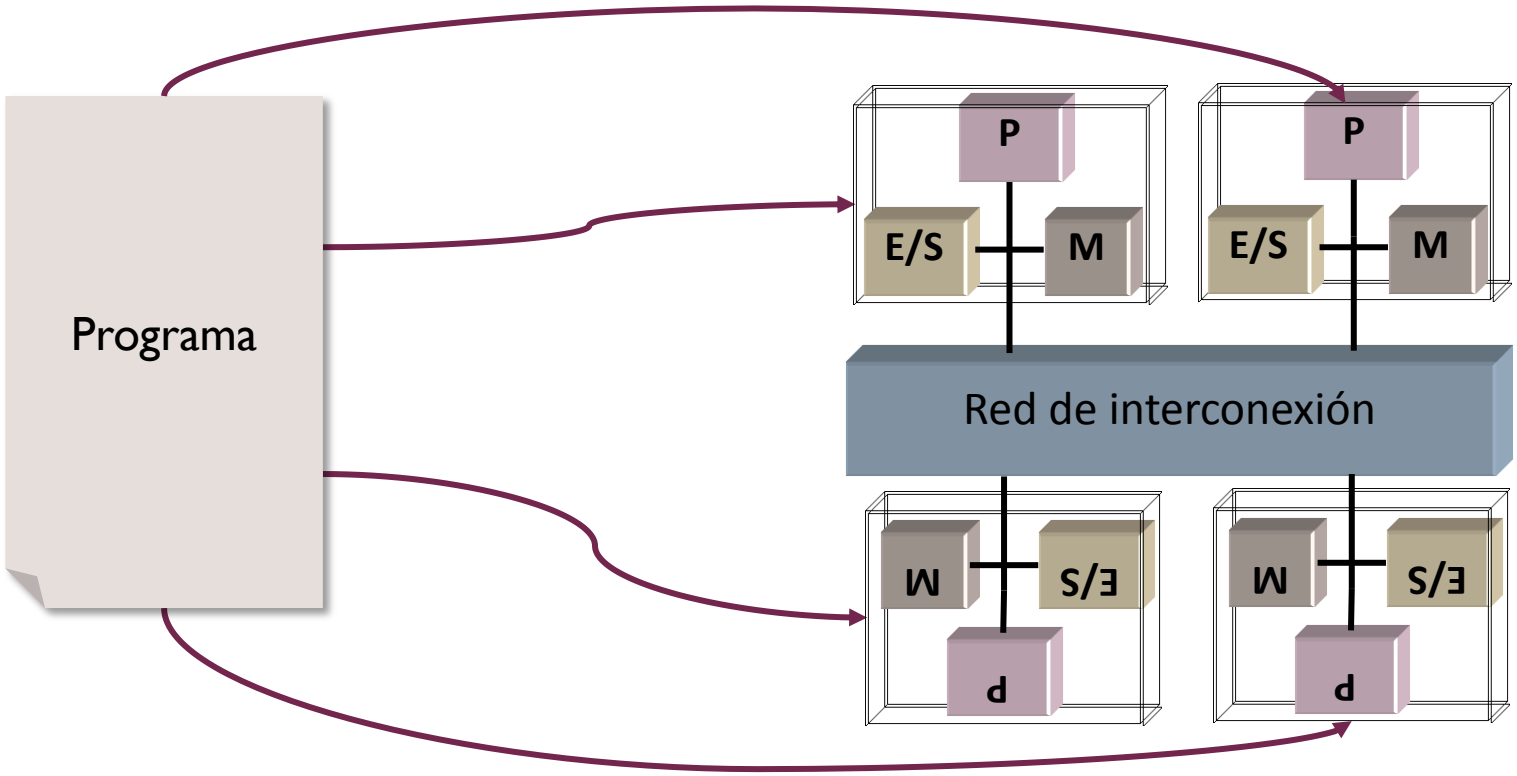
- Programa paralelo que resuelva un problema parecido.
- Versiones paralelas u optimizadas de bibliotecas de funciones:

BLAS (*Basic Linear Algebra Subroutine*), LAPACK (*Linear Algebra PACKage*), ...



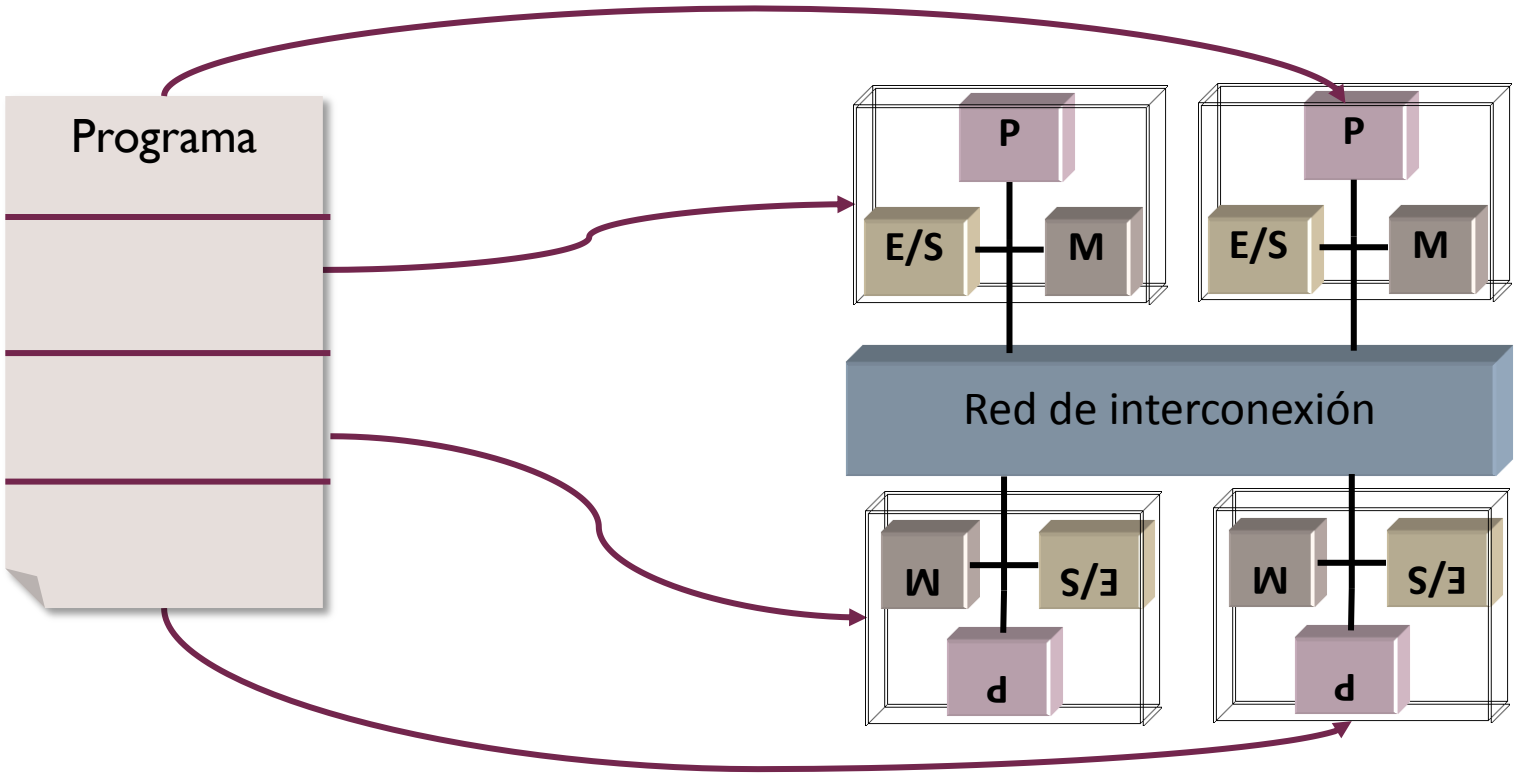
Modos de programación MIMD

- SPMD (*Single-Program Multiple Data*)



Modos de programación MIMD

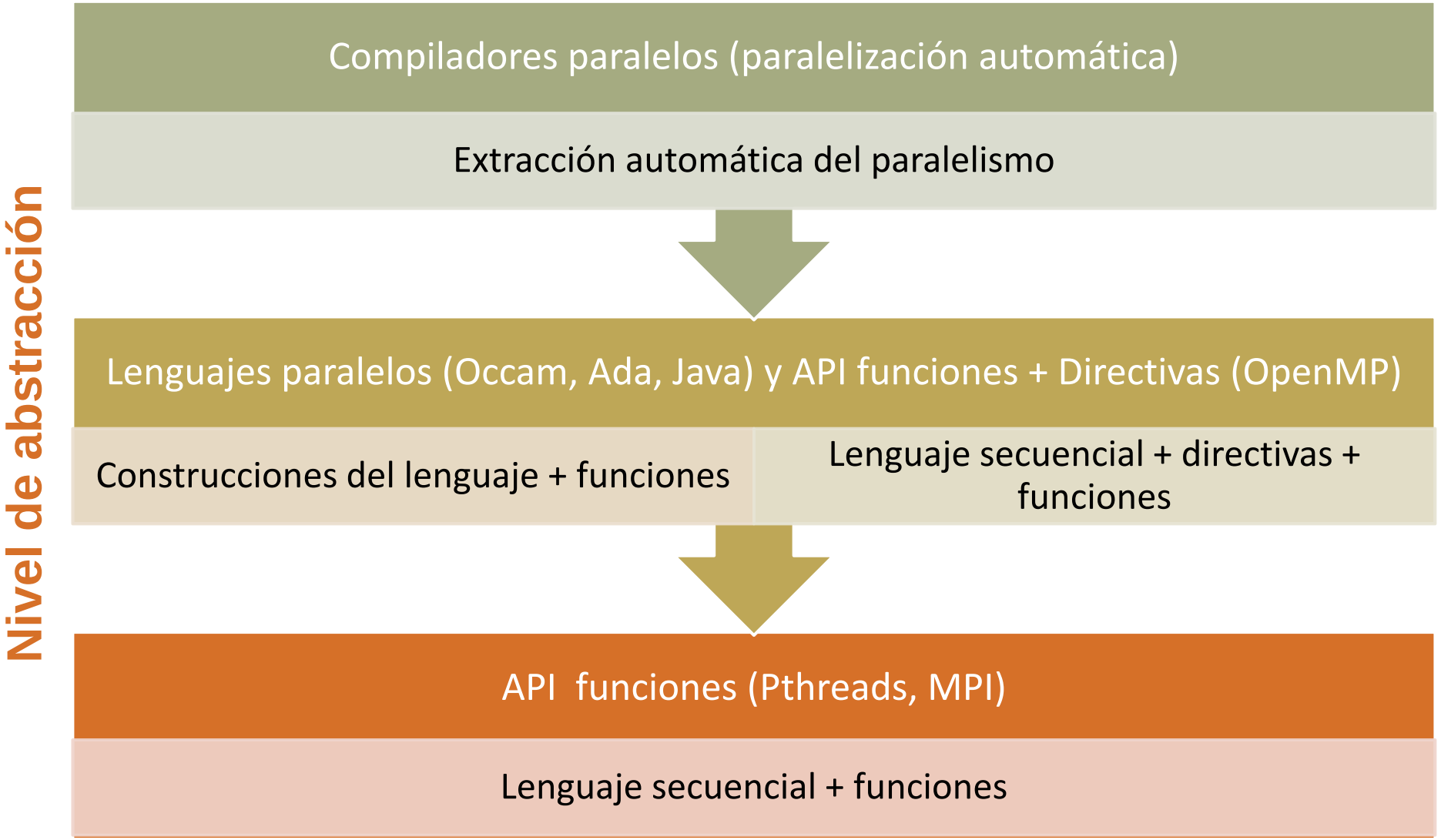
- MPMD (*Multiple-Program Multiple Data*)



Contenido Lección 4

- Problemas que plantea la programación paralela al programador. Punto de partida
- Herramientas para obtener código paralelo
- Estilos/paradigmas de programación paralela
- Estructuras típicas de códigos paralelos

Herramientas de programación paralela



Herramientas para obtener programas paralelos

- Las herramientas permiten de forma implícita o explícita (lo hace el programador):
  - Localizar paralelismo o descomponer en tareas independientes (descomposition)
  - Asignar las tareas, es decir, la carga de trabajo (código + datos), a procesos/threads (*scheduling*)
  - Crear y terminar procesos/threads (o enrolar y desenrolar en un grupo)
  - Comunicar y sincronizar procesos/threads
- El programador, la herramienta o el SO se encarga de
  - Asignar procesos/threads a unidades de procesamiento (*mapping*)

Ejemplo: cálculo de PI con OpenMP/C


```
#include <omp.h>
#define NUM_THREADS 4
main(int argc, char **argv)  {
   double ancho,x, sum=0;  int intervalos, i;
   intervalos = atoi(argv[1]);
   ancho = 1.0/(double) intervalos;
   omp_set_num_threads(NUM_THREADS);
#pragma omp parallel
{
  #pragma omp for reduction(+:sum) private(x) \
                                  schedule(dynamic)
   for (i=0;i< intervalos; i++) {
        x = (i+0.5)*ancho; sum = sum + 4.0/(1.0+x*x);
   }
}
   sum* = ancho;
}
```

Crear y Terminar

Comunicar y sincronizar

Localizar

Agrupar/Asignar

Ejemplo: cálculo de PI en MPI/C


```
#include <mpi.h>
main(int argc, char **argv)  {
 double ancho,x,sum,lsum; int intervalos,i,nproc,iproc;
    if (MPI_Init(&argc, &argv) != MPI_SUCCESS) exit(1);
    MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &nproc);
    MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &iproc);
    intervalos=atoi(argv[1]);
    ancho=1.0/(double) intervalos;  lsum=0;
    for (i=iproc; i<intervalos; i+=nproc) {
         x = (i+0.5)*ancho;  lsum+= 4.0/(1.0+x*x);
    }
    lsum*= ancho;
    MPI_Reduce(&lsum, &sum, 1, MPI_DOUBLE,
                    MPI_SUM,0,MPI_COMM_WORLD);
    MPI_Finalize();
}
```

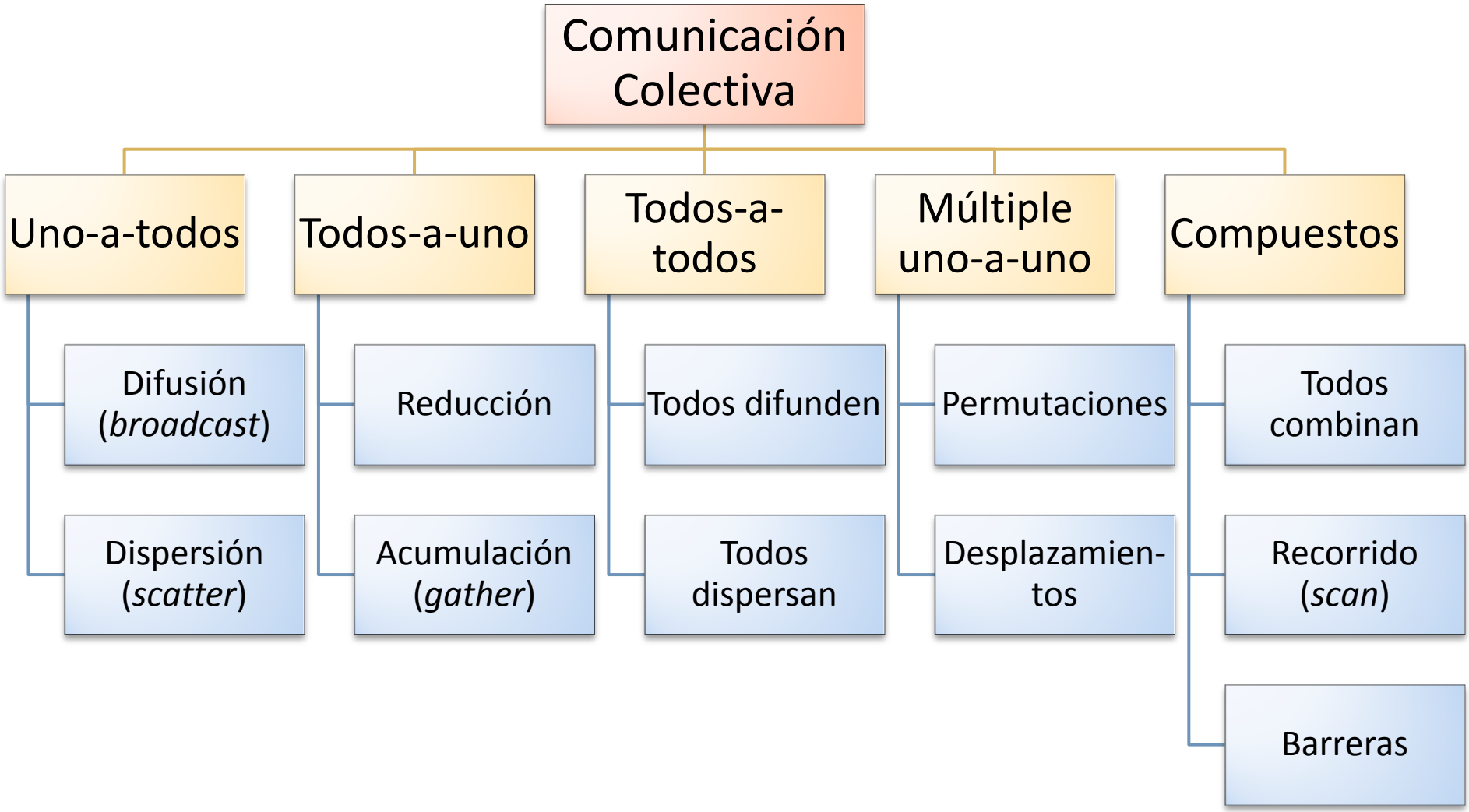
Enrolar

Localizar y Asignar

Comunicar/sincronizar

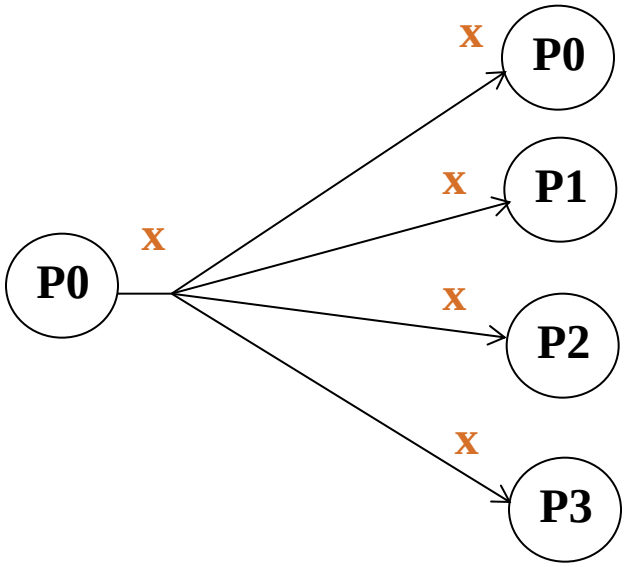
Desenrolar

Comunicaciones colectivas

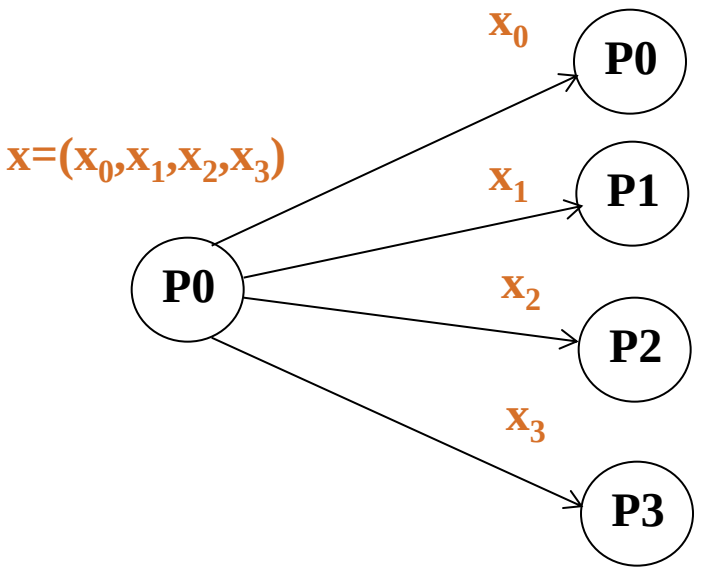


Comunicación uno-a-todos

Difusión (*broadcast*)

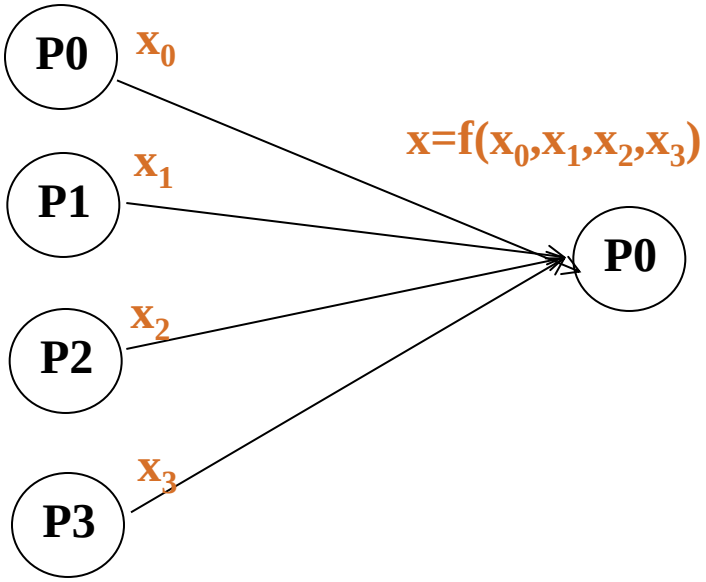


Dispersión (*scatter*)

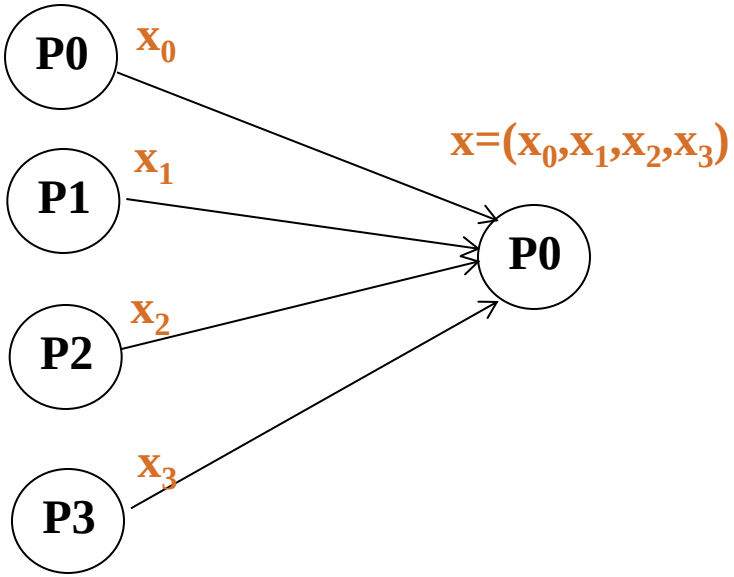


Comunicación todos-a-uno

Reducción

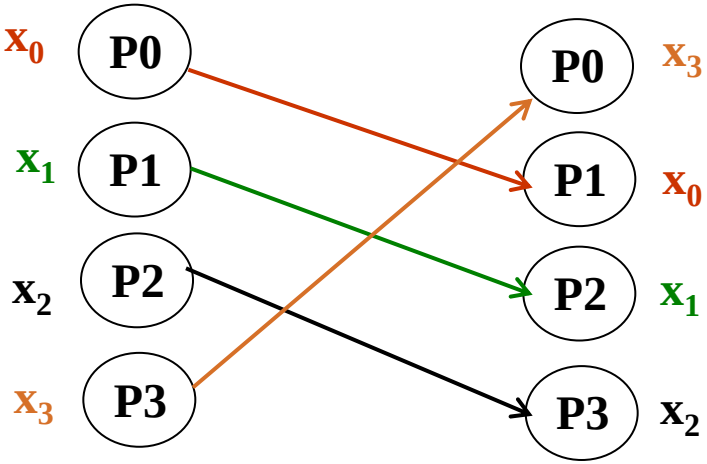


Acumulación (*gather*)

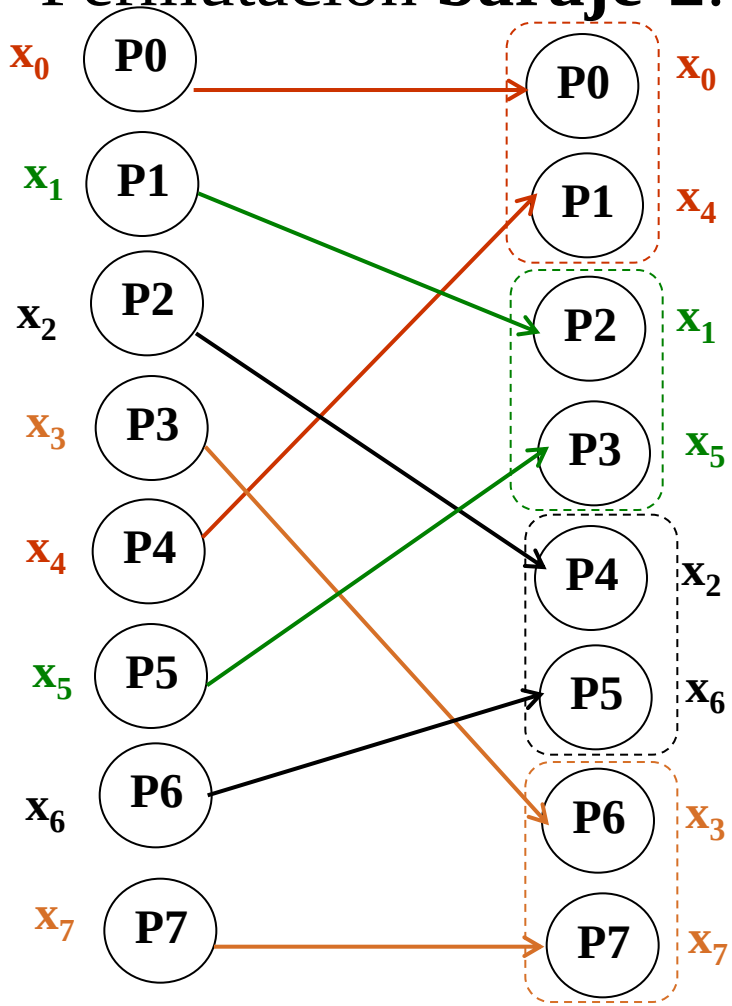


Comunicación múltiple uno-a-uno

Permutación **rotación**:

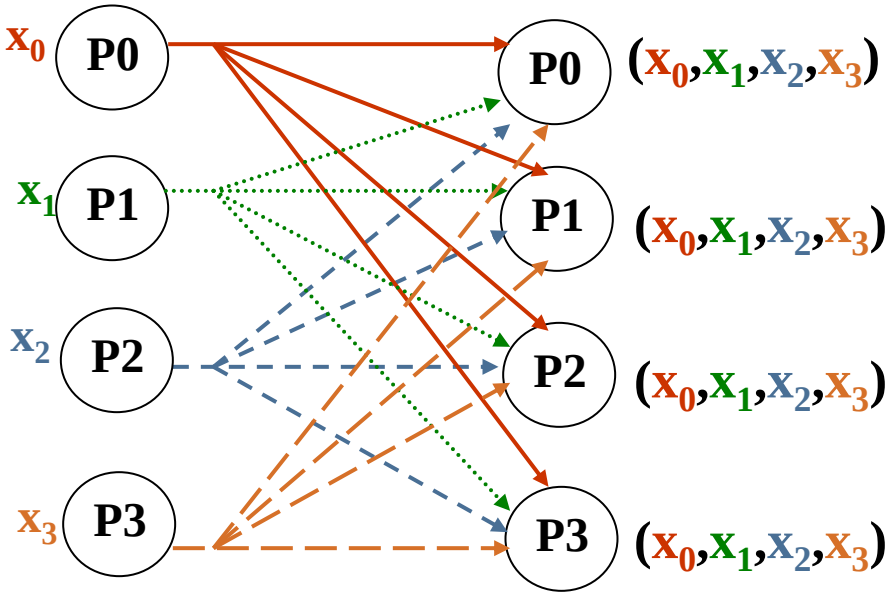


Permutación **baraje-2**:

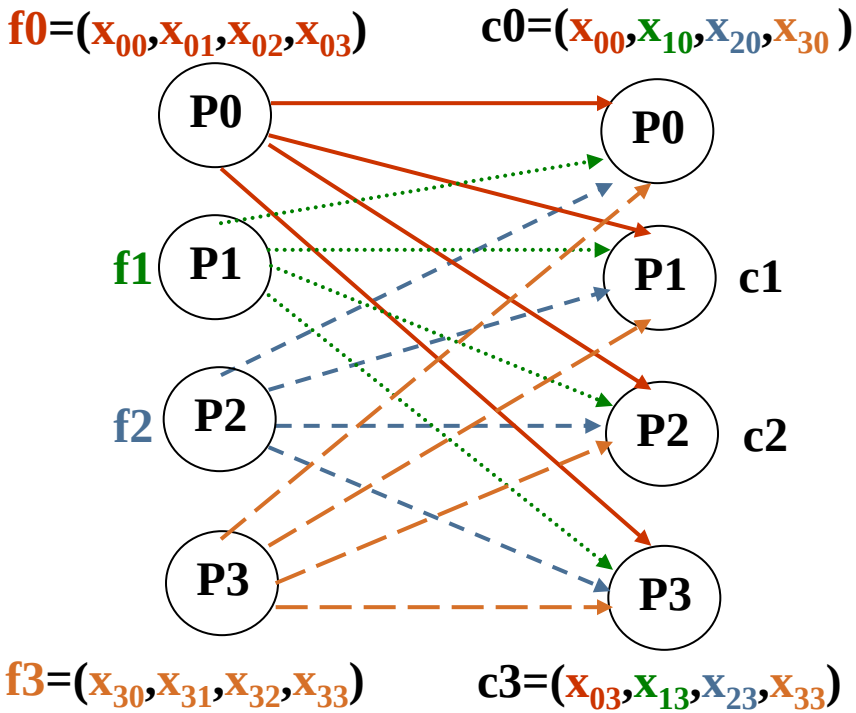


Comunicación todos-a-todos

Todos Difunden (*all-broadcast*) o chismorreo (*gossiping*)



Todos Dispersan (*all-scatter*)

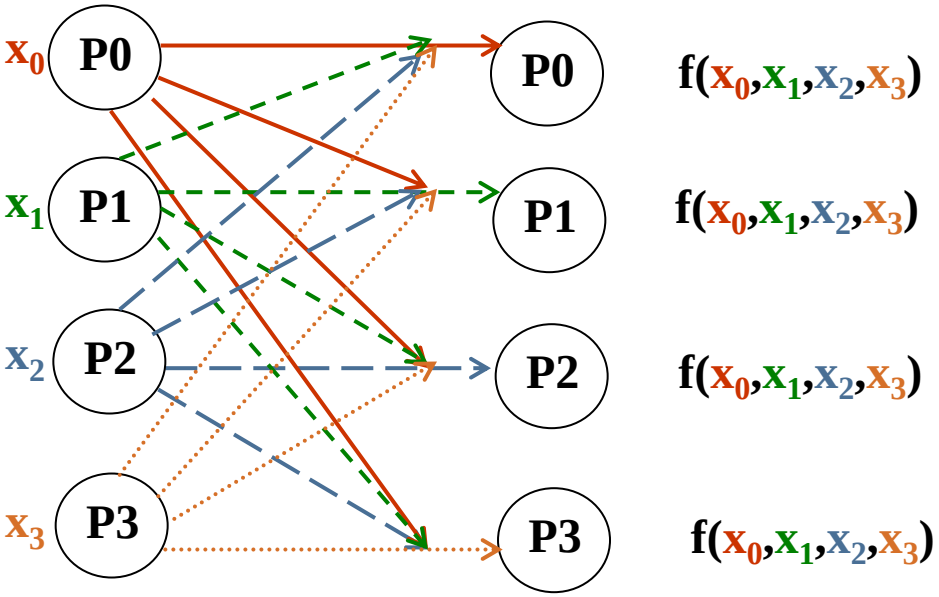


c= columna matriz

f= fila matriz

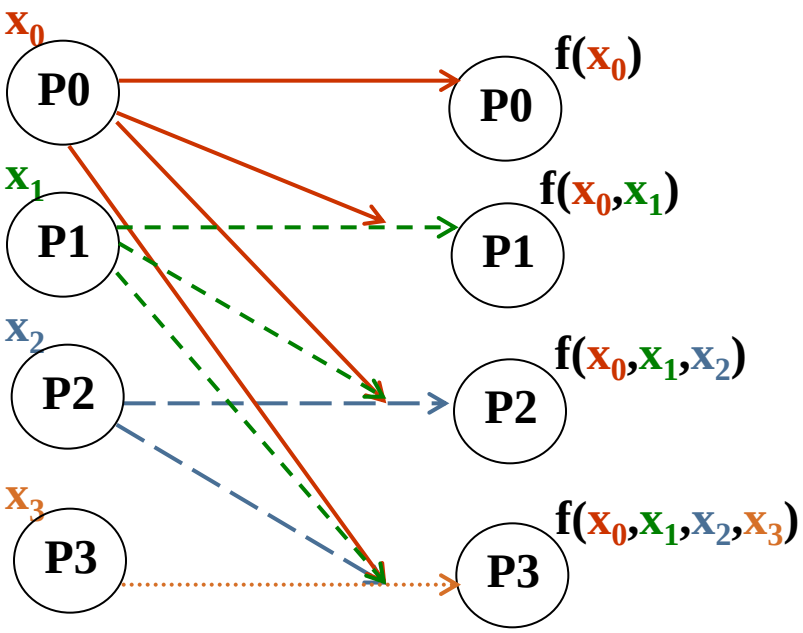
Servicios compuestos

Todos combinan

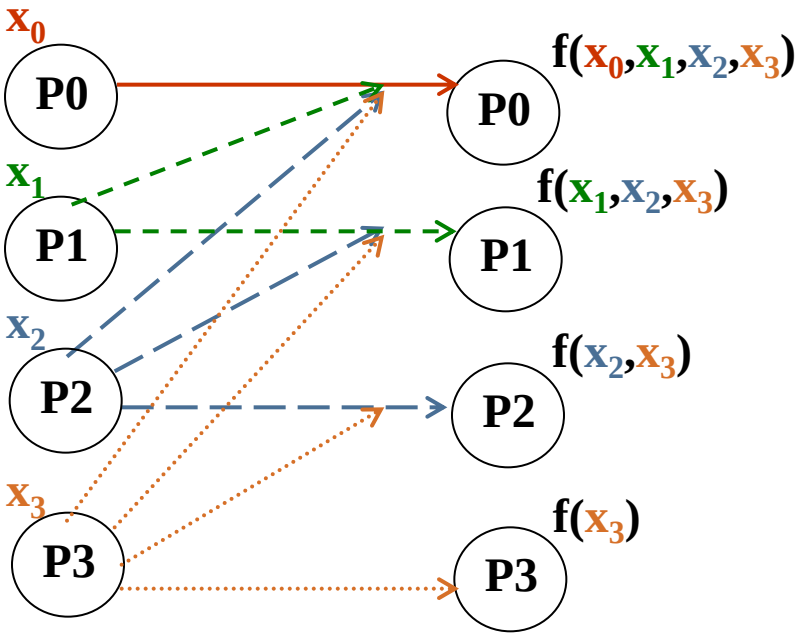


Servicios compuestos

Recorrido (scan) prefijo paralelo



Recorrido sufijo paralelo



Ejemplo: comunicación colectiva en OpenMP

Uno-a-todos	Difusión (Seminario pract. 2)	✓ Cláusula `firstprivate` (desde thread 0) ✓ Directiva `single` con cláusula `copyprivate` ✓ Directiva `threadprivate` y uso de cláusula `copyin` en directiva `parallel` (desde thread 0)
Todos-a-uno	Reducción (Seminario pract. 2)	✓ Cláusula `reduction`
Servicios compuestos	Barreras (Seminario pract. 1)	✓ Directiva `barrier`

Ejemplo: comunicación en MPI

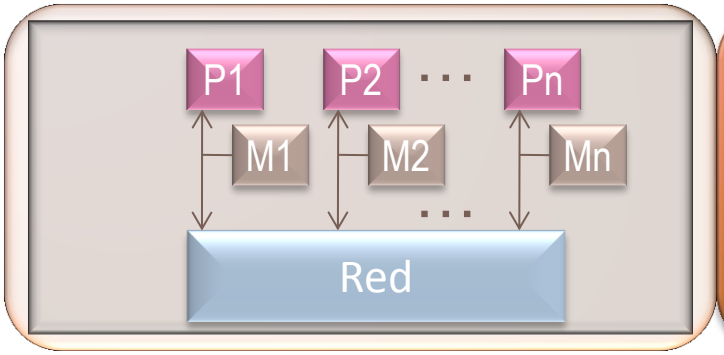
Uno-a-uno	Asíncrona	`MPI_Send()/MPI_Receive()`
Uno-a-todos	Difusión	`MPI_Bcast()`
	Dispersión	`MPI_Scatter()`
Todos-a-uno	Reducción	`MPI_Reduce()`
	Acumulación	`MPI_Gather()`
Todos-a-todos	Todos difunden	`MPI_Allgather()`
Servicios compuestos	Todos combinan	`MPI_Allreduce()`
	Barreras	`MPI_Barrier()`
	Scan	`MPI_Scan`

Detalles de la programación con MPI en la asignatura: **A**rquitecturas y **C**omputación de **A**ltas **P**restaciones (IC.SCAP.ACAP – Especialidad (IC), Materia (SCAP), Asignatura (ACAP))

Contenido Lección 4

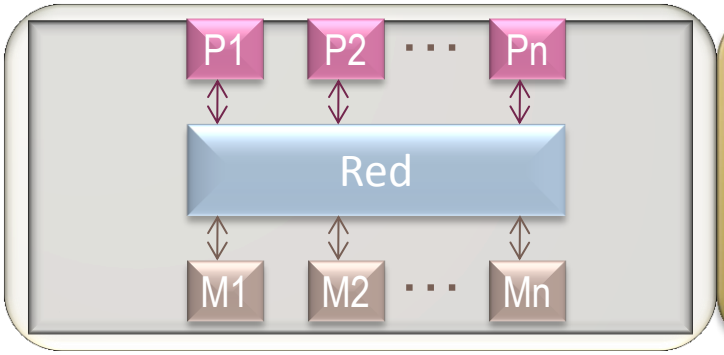
- Problemas que plantea la programación paralela al programador. Punto de partida
- Herramientas para obtener código paralelo
- Estilos/paradigmas de programación paralela
- Estructuras típicas de códigos paralelos

Estilos de programación y arquitecturas paralelas



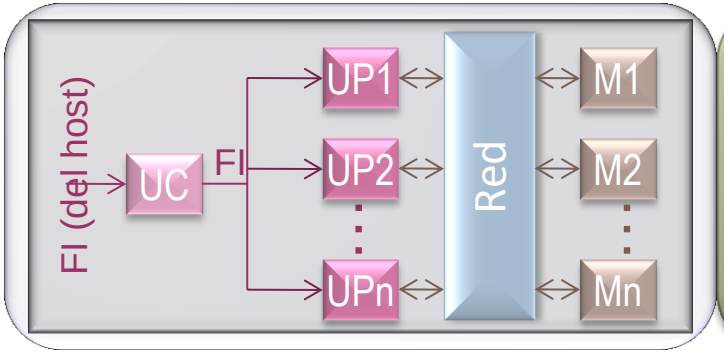
Paso de mensajes

- Multicomputadores



Variables compartidas

- Multiprocesadores



Paralelismo de datos

- Procesadores matriciales, GPU (*stream processing*)

Estilos de programación y herramientas de programación

- Paso de mensajes (*message passing*)
  - Lenguajes de programación: Ada, Occam
  - API (Bibliotecas de funciones): MPI, PVM
- Variables compartidas (*shared memory*, *shared variables*)
  - Lenguajes de programación: Ada, Java
  - API (directivas del compilador + funciones): **OpenMP**
  - API (Bibliotecas de funciones): POSIX Threads, shmem, Intel TBB (*Threading Building Blocks*)
- Paralelismo de datos (*data parallelism*)
  - Lenguajes de programación: HPF (*High Performance Fortran*), Fortran 95 (`forall`, operaciones con matrices/vectores)
  - API (funciones - *stream processing*): Nvidia CUDA

Contenido Lección 4

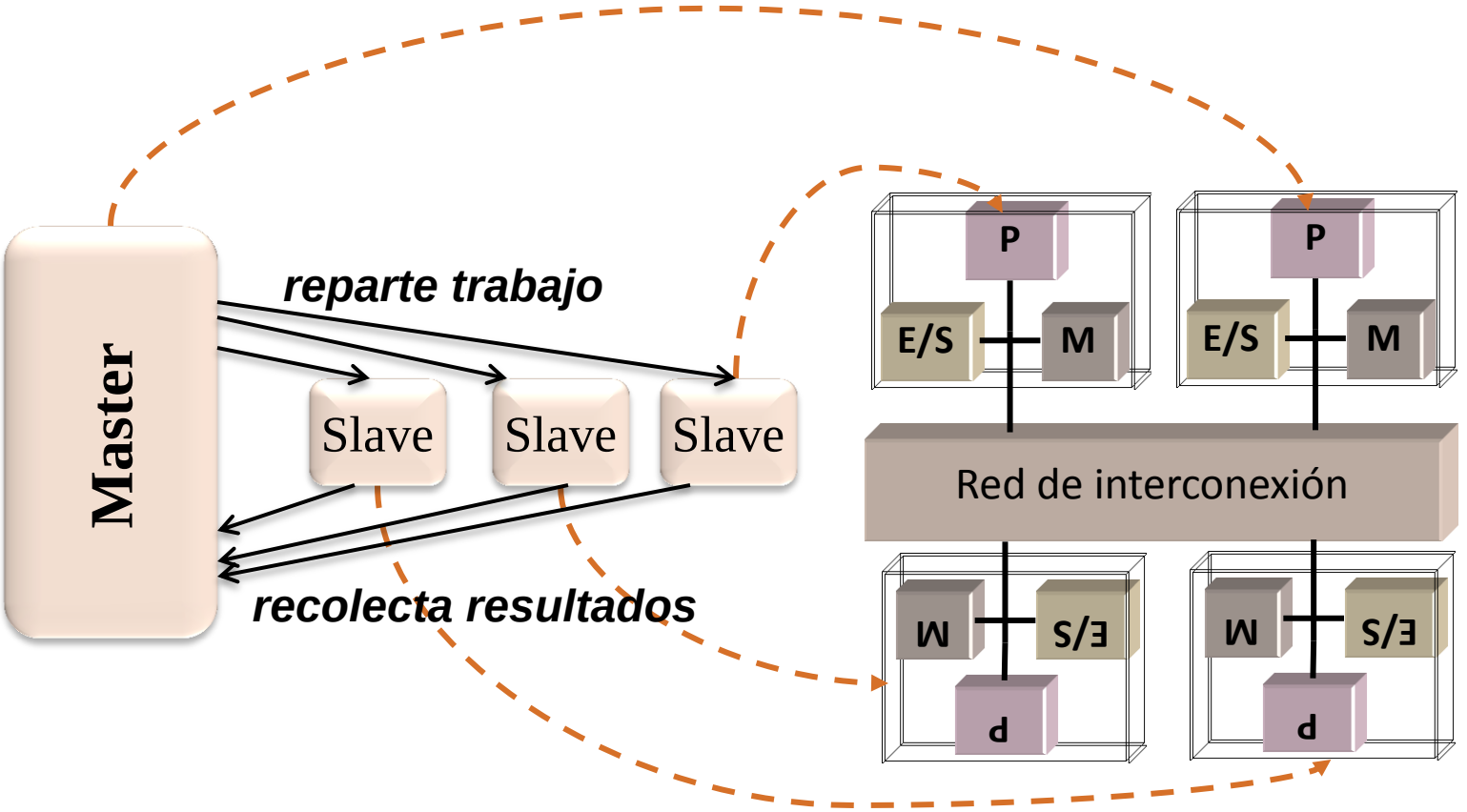
- Problemas que plantea la programación paralela al programador. Punto de partida
- Herramientas para obtener código paralelo
- Estilos/paradigmas de programación paralela
- Estructuras típicas de códigos paralelos

Estructuras típicas de procesos/threads/tareas

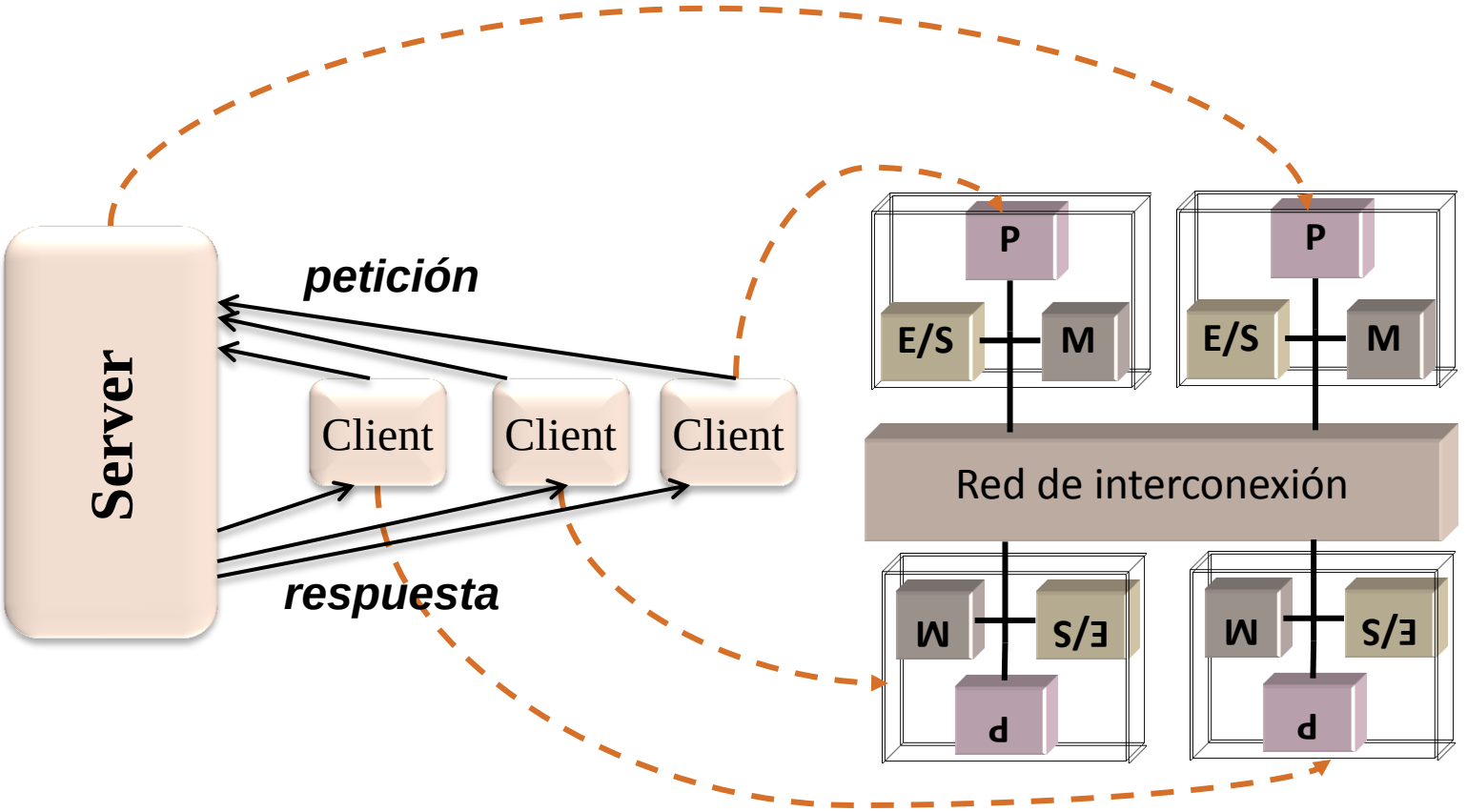
Estructuras típicas de procesos/ threads/tareas en código paralelo

- Descomposición de dominio o descomposición de datos
- cliente/servidor
- Divide y vencerás o descomposición recursiva
- Segmentación o flujo de datos
- *Master-Slave*, o granja de tareas

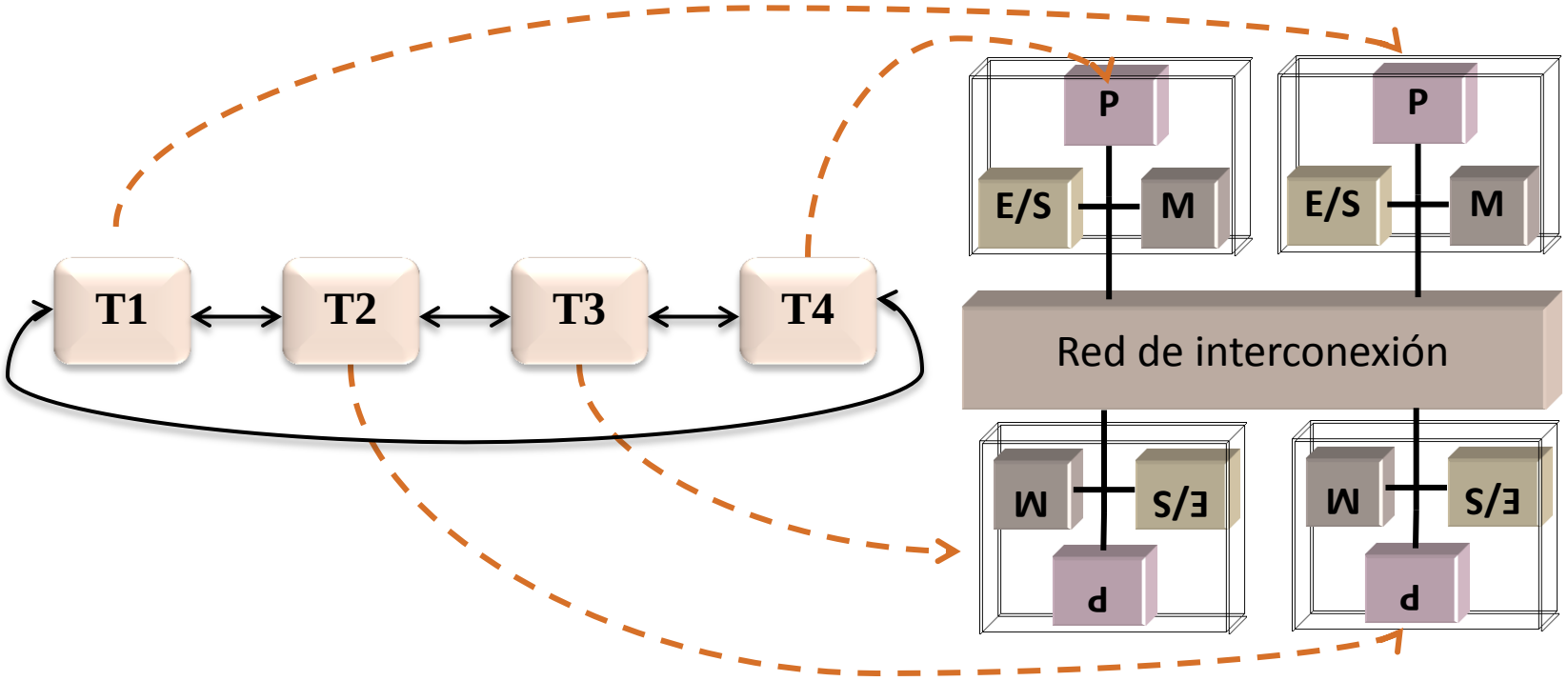
Master-Slave o granja de tareas



Cliente-Servidor

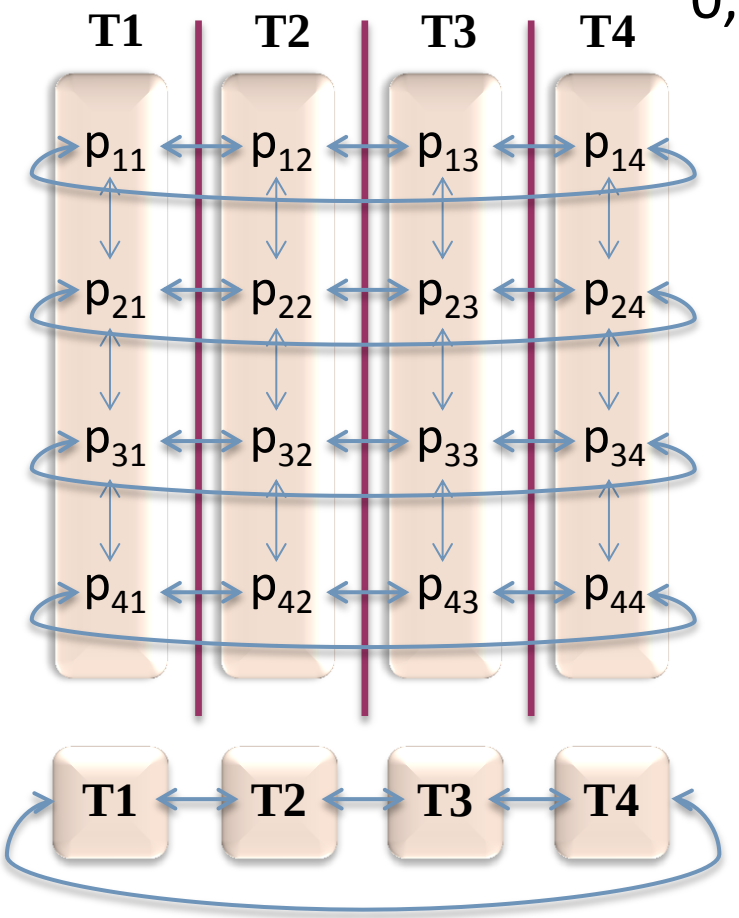


Descomposición de dominio o descomposición de datos I



Descomposición de dominio II. Ej: filtrado imagen

$$p_{ij}(t) = 0{,}75 \times p_{ij}(t-1) + 0{,}0625 \times p_{i-1j}(t-1) + 0{,}0625 \times p_{ij-1}(t-1) + 0{,}0625 \times p_{i+1j}(t-1) + 0{,}0625 \times p_{ij+1}(t-1)$$

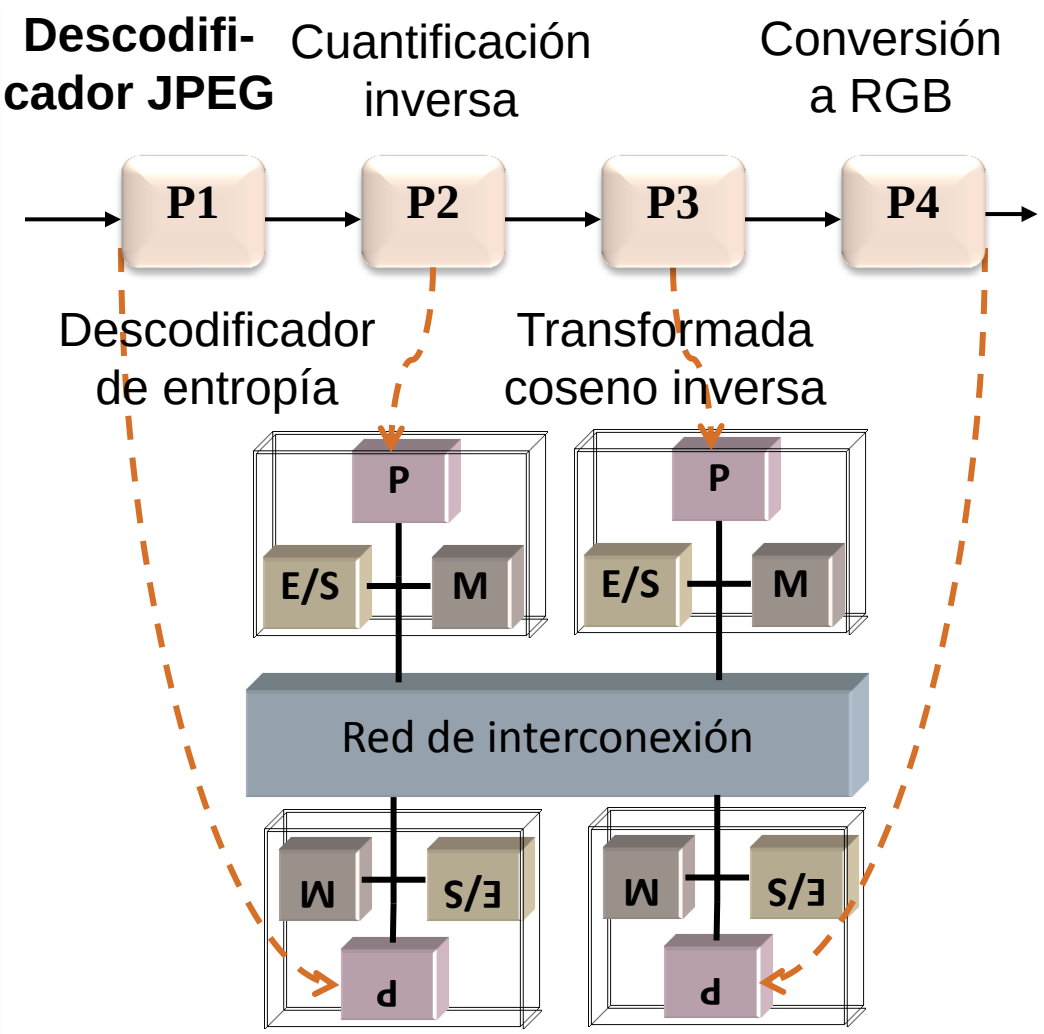


M=4

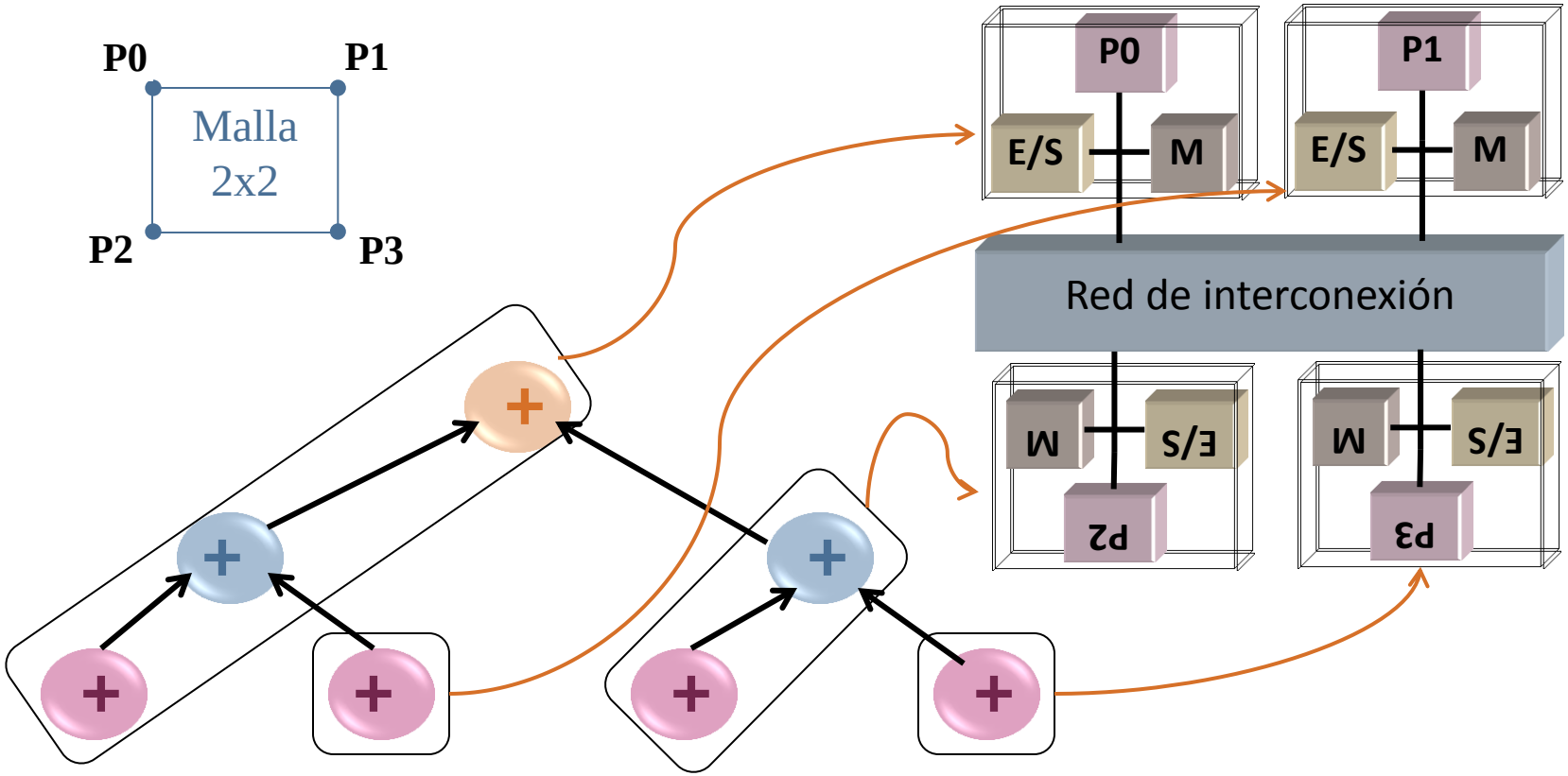
```
#include <omp.h>
…
omp_set_num_threads(M)
#pragma omp parallel private(i)
{
  for (i=0;i<N;i++)     //recorre filas
    #pragma omp for
    for (j=0;j<M;j++)  //recorre columnas
      pS[i,j] = 0,75*p[i,j] +
        0,0625*(p[i-1,j]+p[i,j-1]+
                p[i+1,j]+p[i,j+1]);

}
…
```

Estructura segmentada o de flujo de datos


```
#include <omp.h>
...
omp_set_num_threads(4);
...
#pragma omp parallel
{...
 for (i=0;i<N;i++) {
   ...
   #pragma omp sections
   {
    #pragma omp section
      P1();
    #pragma omp section
      P2();
    #pragma omp section
      P3();
    #pragma omp section
      P4();
   } ...
 }
...
} ...
```



Divide y vencerás o descomposición recursiva



(((a0+a1) + (a2+a3)) + ((a4+a5) + (a6+a7)))