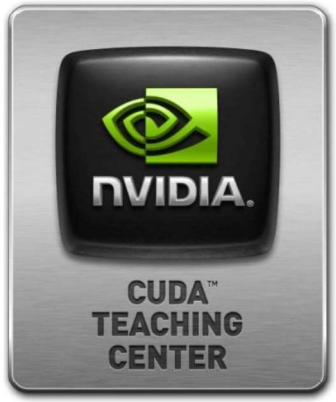
Programación masivamente paralela en procesadores gráficos (GPUs)

E. Dufrechou, P. Ezzatti y M. Pedemonte



Clases 3
Programación paralela

Contenido

- **Conceptos básicos de programación paralela**

Conceptos básicos de Programación Paralela

Conceptos Básicos de Programación Paralela

- Múltiples unidades de cómputo trabajando en forma coordinada
  - Comunicación
  - Sincronización
- División
  - de tareas
  - de datos
  - híbrida

Conceptos Básicos de Programación Paralela

- Paralelismo de
  - Memoria compartida (multi-core)
  - Memoria distribuida (cluster)
- Contexto
  - Homogéneo
  - Heterogéneo
- Balance de carga

Conceptos Básicos de Programación Paralela

En este caso (lo que vemos en el curso):

- **Muchas unidades de cómputo trabajando en forma coordinada.**
- **División de datos.**
- **Paralelismo “similar” a paralelismo a memoria compartida (multi-core).**
- **Unidades de procesamiento homogéneas.**

Conceptos Básicos de Programación Paralela

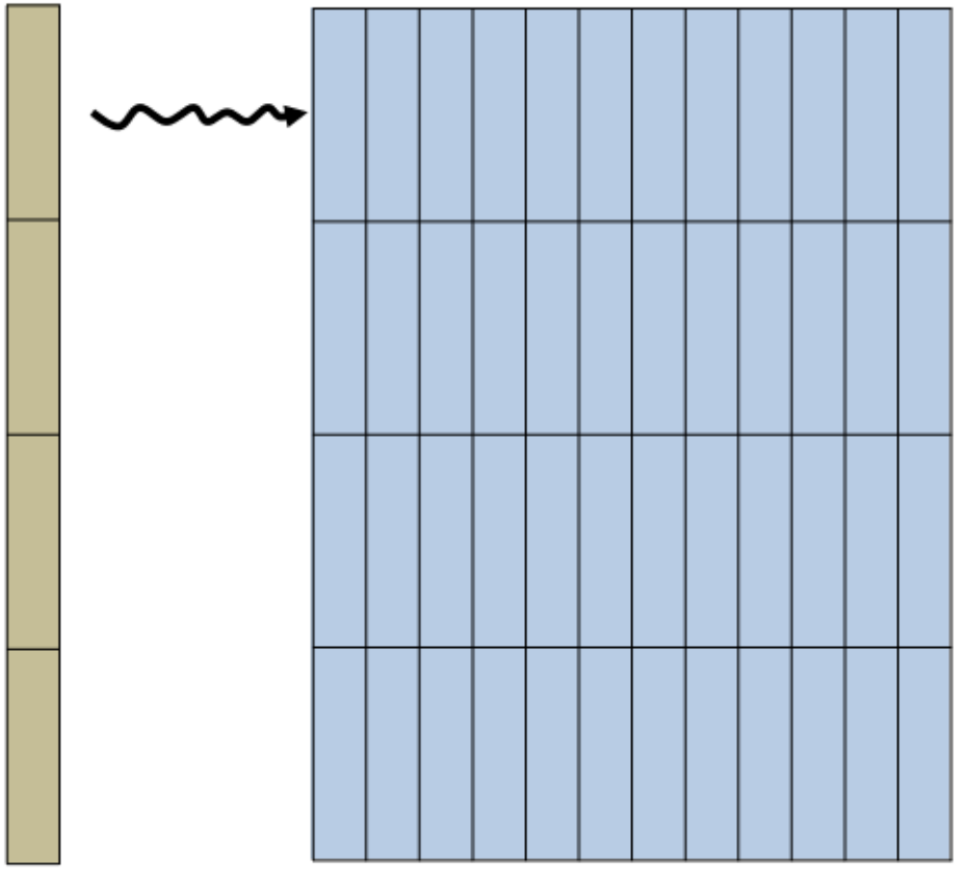
En los ejemplos que se verán a continuación:

- **Se utilizará una sintaxis inspirada en la de Matlab/Octave.**
- **El código escrito en color negro ejecuta en forma secuencial.**
- **El código escrito en color `azul` indica palabras reservadas que son directivas para el manejo de paralelismo.**
- **El código escrito en color `rojo` indica el punto de "ramificación" del paralelismo.**
- **El código escrito en color `verde` es el código que es ejecutado en forma paralela por cada una de las unidades de procesamiento.**

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Ejemplo 0:

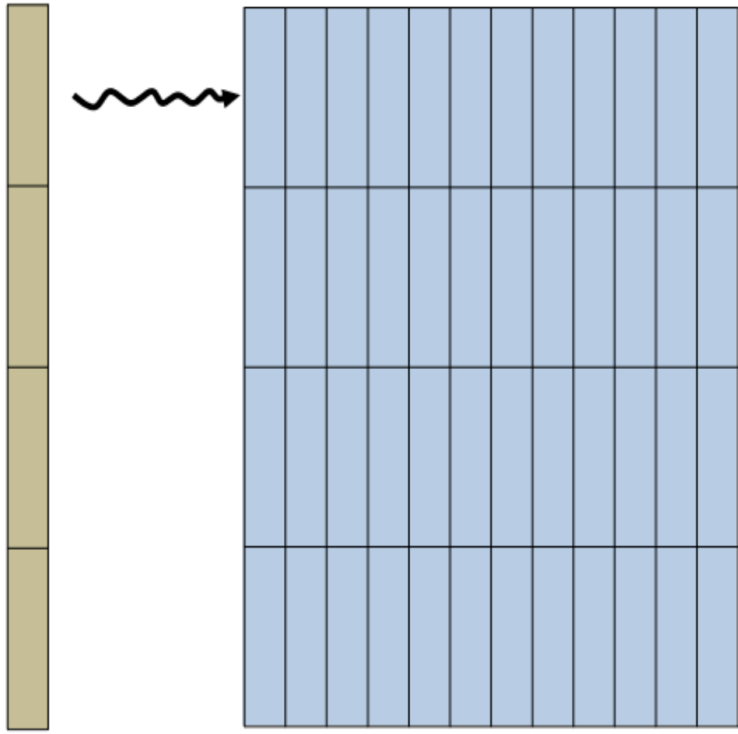
- **Se tiene una matriz con 4 filas y se quiere obtener la suma por filas de la matriz.**
- **Se dispone de una única unidad de procesamiento.**



Conceptos Básicos de Programación Paralela

Ejemplo 0:

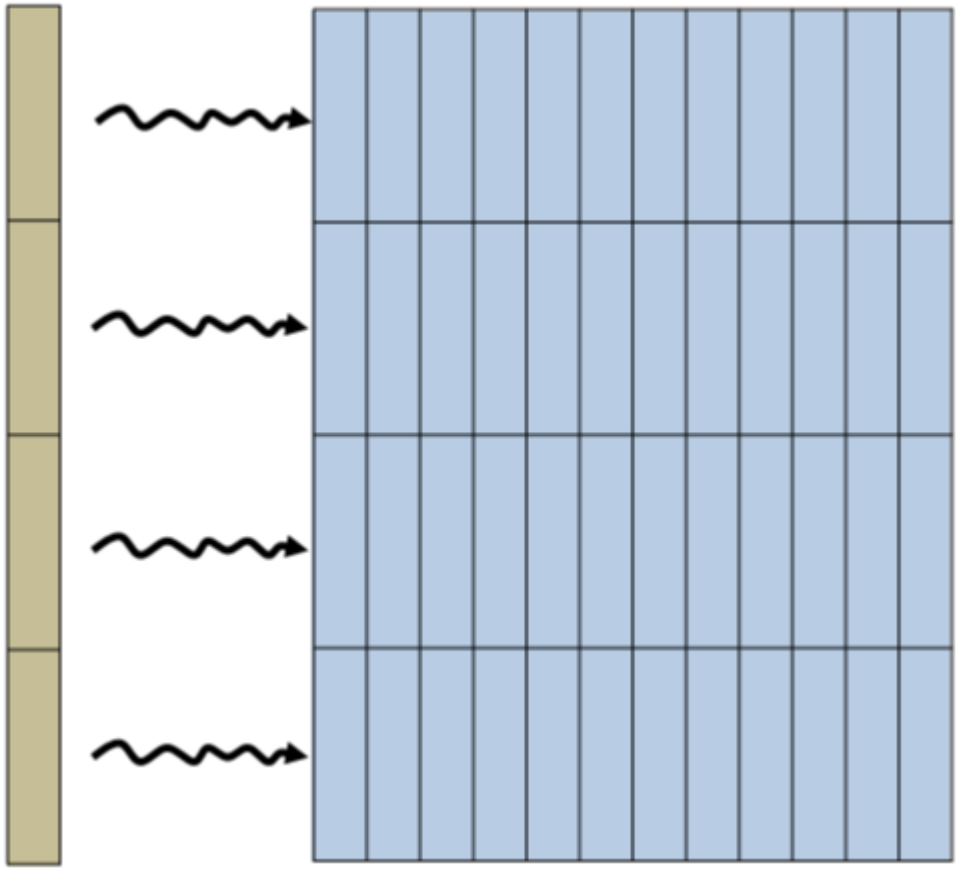
```
Res = zeros(1,4)
[m,n] = size(Mat)
For i = 1:4
   For j = 1 : n
       Res(i) = Res(i) + Mat(i,j)
```



Conceptos Básicos de Programación Paralela

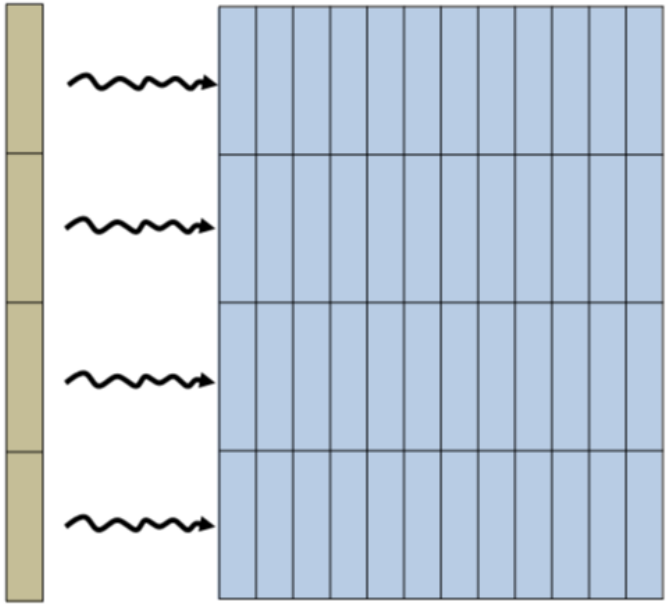
Ejemplo 1:

- **Se tiene una matriz con 4 filas y se quiere obtener la suma por filas de la matriz.**
- **Se dispone de cuatro unidades de procesamiento.**



Conceptos Básicos de Programación Paralela

Ejemplo 1:

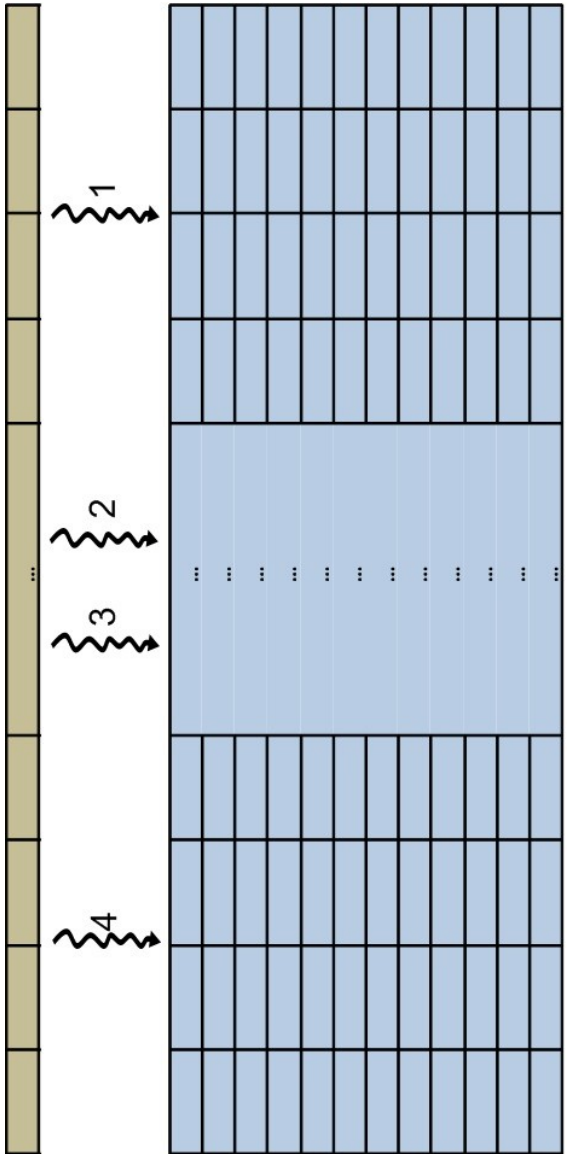


```
Res = zeros(1,4)
[m,n] = size(Mat)
begin_parallel(4)
For i = 1:4
   For j = 1:n
       Res(i) = Res(i) + Mat(i,j)
end_parallel
```

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Ejemplo 2:

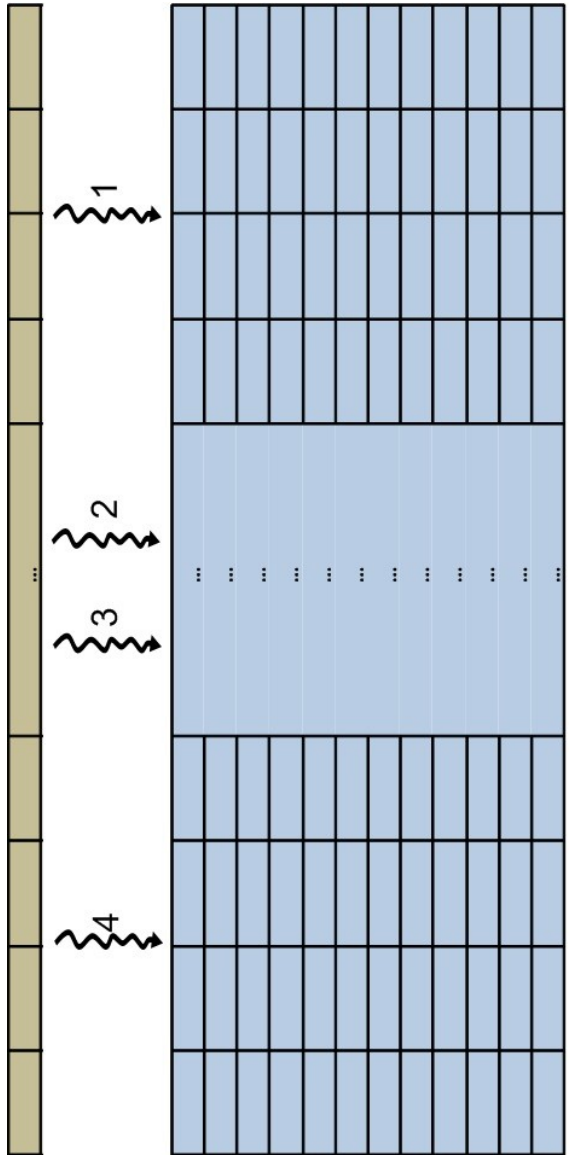
- **Se tiene una matriz con 400 filas y se quiere obtener la suma por filas de la matriz.**
- **Se dispone de cuatro unidades de procesamiento.**



Conceptos Básicos de Programación Paralela

Ejemplo 2:

```
Res = zeros(1,400)
[m,n] = size(Mat)
begin_parallel(4)
For i = 1:400
   For j = 1 : n
       Res(i) = Res(i) + Mat(i,j)
end_parallel
```



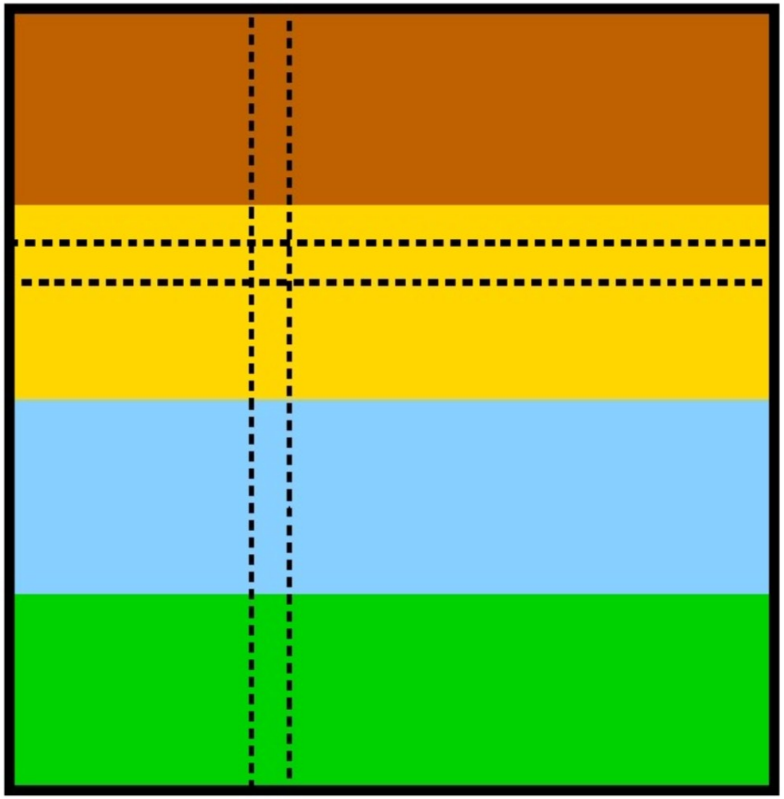
Conceptos Básicos de Programación Paralela

Ejemplo 3:

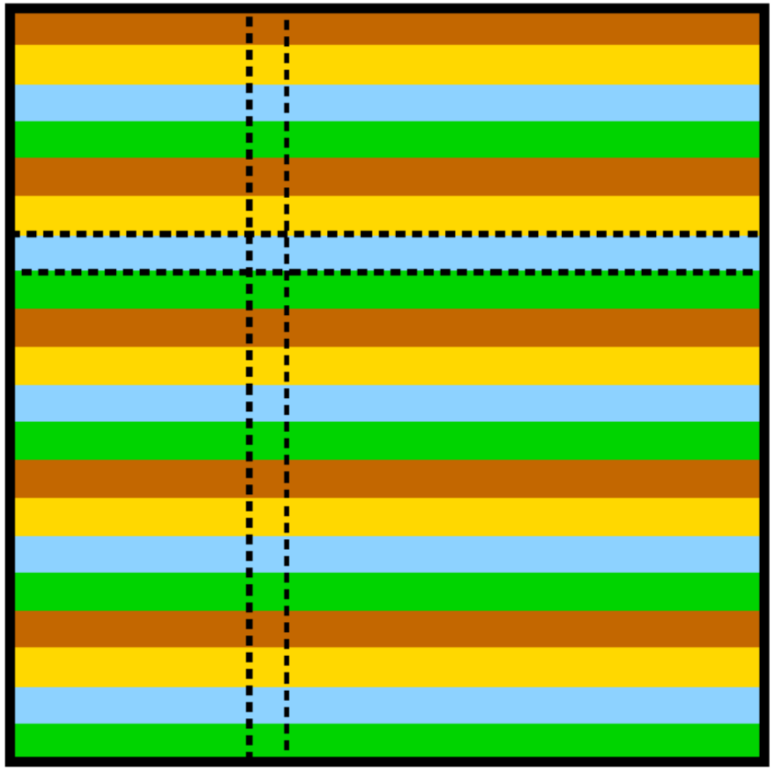
- **Se tiene una matriz cuadrada con 400 filas y se quiere obtener la suma por filas de la matriz triangular superior.**
- **Se dispone de cuatro unidades de procesamiento.**

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Distribución de datos/cálculos



Distribución por bloque



Distribución cíclica

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Ejemplo 3:

- **Es posible achicar el tamaño de los bloques.**
- **Por ejemplo: de 100 filas pasar a 10 filas por bloque.**

```
Res = zeros(1,400)
[m,n] = size(Mat)
begin_parallel(4, [40,cyc])
For i = 1:400
   For j = i : n
       Res(i) = Res(i) + Mat(i,j)
end_parallel
```

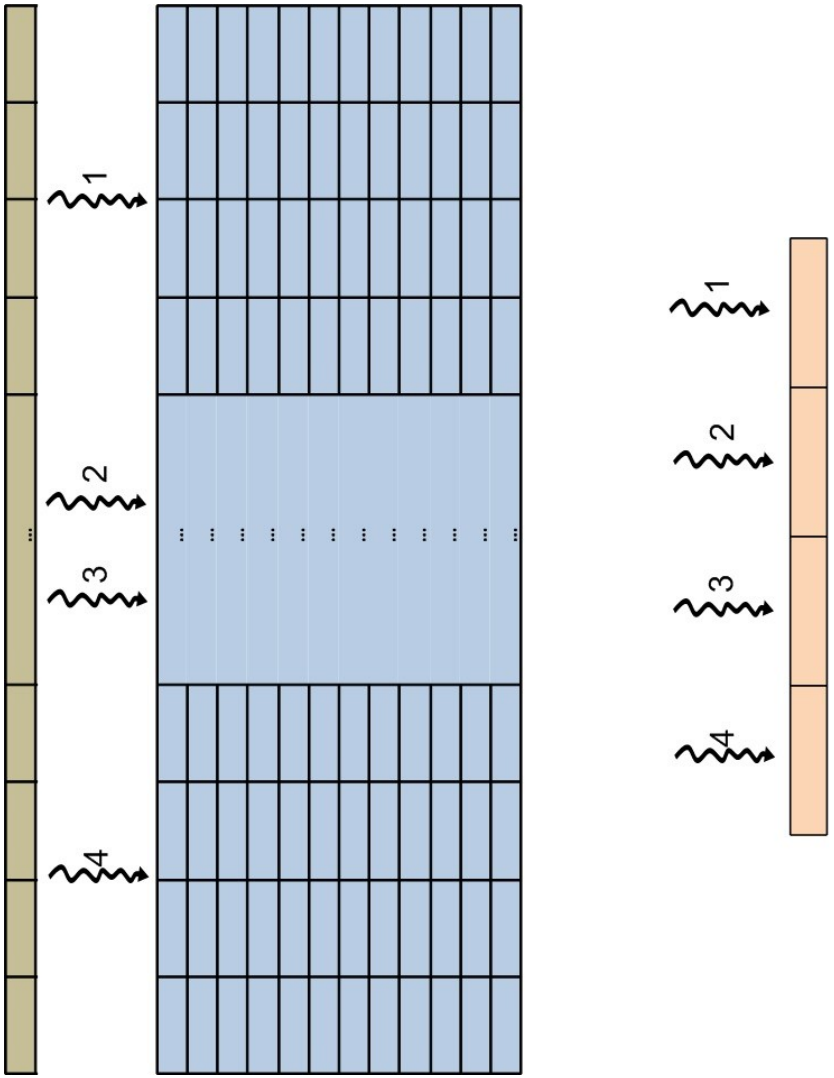
Conceptos Básicos de Programación Paralela

Ejemplo 4:

- **Se tiene una matriz con 400 filas y se quiere obtener la suma por filas de la matriz.**
- **Se dispone de cuatro unidades de procesamiento.**
- **En este caso, además se quiere obtener la suma parcial por unidad de procesamiento.**

Conceptos Básicos de Programación Paralela

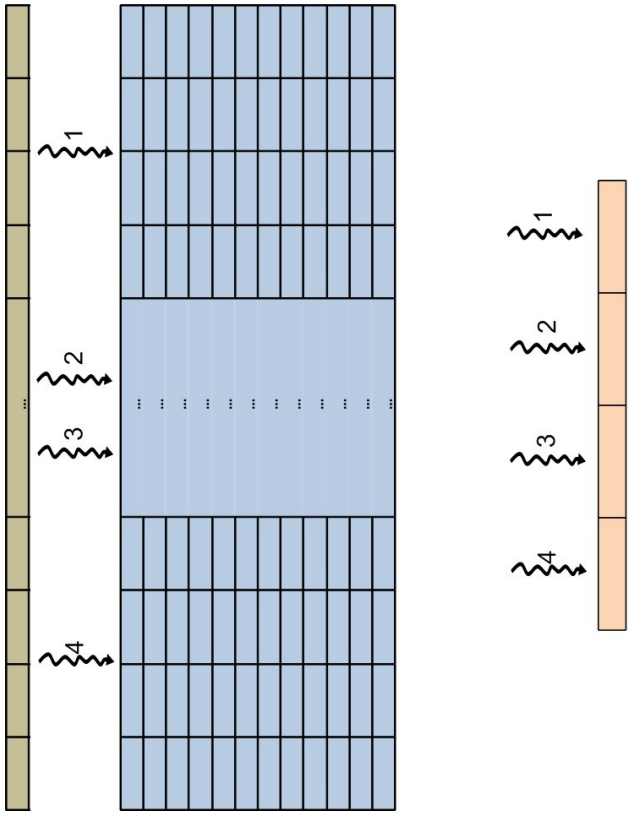
Ejemplo 4:



Conceptos Básicos de Programación Paralela

Ejemplo 4:

```
Res = zeros(1,400)
Res2 = zeros(1,4)
[m,n] = size(Mat)
begin_parallel(4)
For i  = 1:400
  private idP = myId()
  For j = 1 : n
      Res(i) = Res(i) + Mat(i,j)
  Res2(idP) = Res2(idP) + Res(i)
end_parallel
```



Conceptos Básicos de Programación Paralela

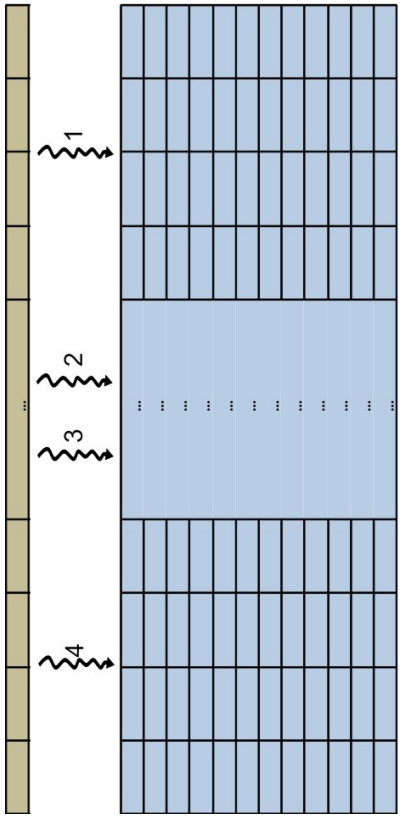
Ejemplo 5:

- **Se tiene una matriz con 400 filas y se quiere obtener la suma de todos los elementos de la matriz.**
- **Se dispone de cuatro unidades de procesamiento.**

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Solución 1

- Se suma por fila



- Luego se suma todo el vector intermedio

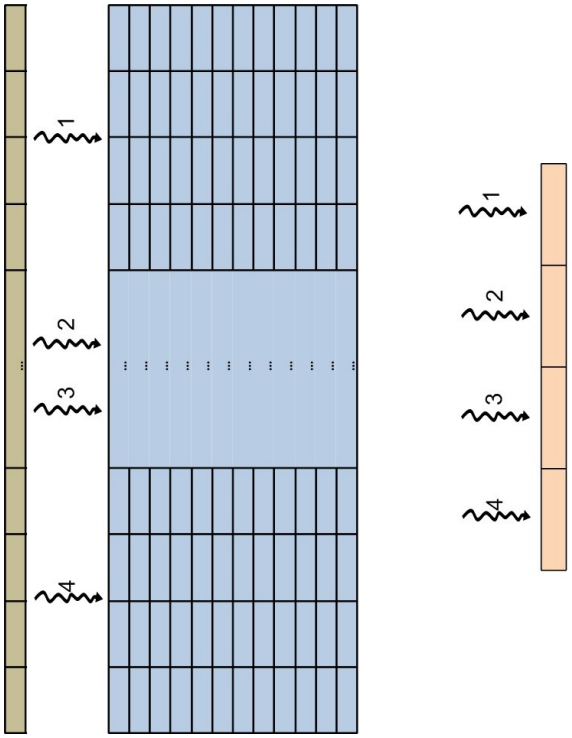
Solución 1

- Se suma por fila y luego se suma el vector intermedio.

```
Res = zeros(1,400)
[m,n] = size(Mat)
begin_parallel(4)
For i = 1:400
   For j = 1 : n
       Res(i) = Res(i) + Mat(i,j)
end_parallel
Sum = 0
For i = 1:400
   Sum = Sum + Res(i)
```

Solución 2

- Se suma por filas para cada unidad de procesamiento.



- Luego se suma el vector intermedio.

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Solución 2

- Se suma por filas para cada unidad de procesamiento y luego se suma el vector intermedio.

```
Res = zeros(1,4)
[m,n] = size(Mat)
begin_parallel(4)
For i = 1:400
   private idP = myId ()
   For j = 1 : n
       Res(idP) = Res(idP) +
   Mat(i,j)
end_parallel
Sum = 0
For i = 1:4
   Sum = Sum + Res(i)
```

Conceptos Básicos de Programación Paralela

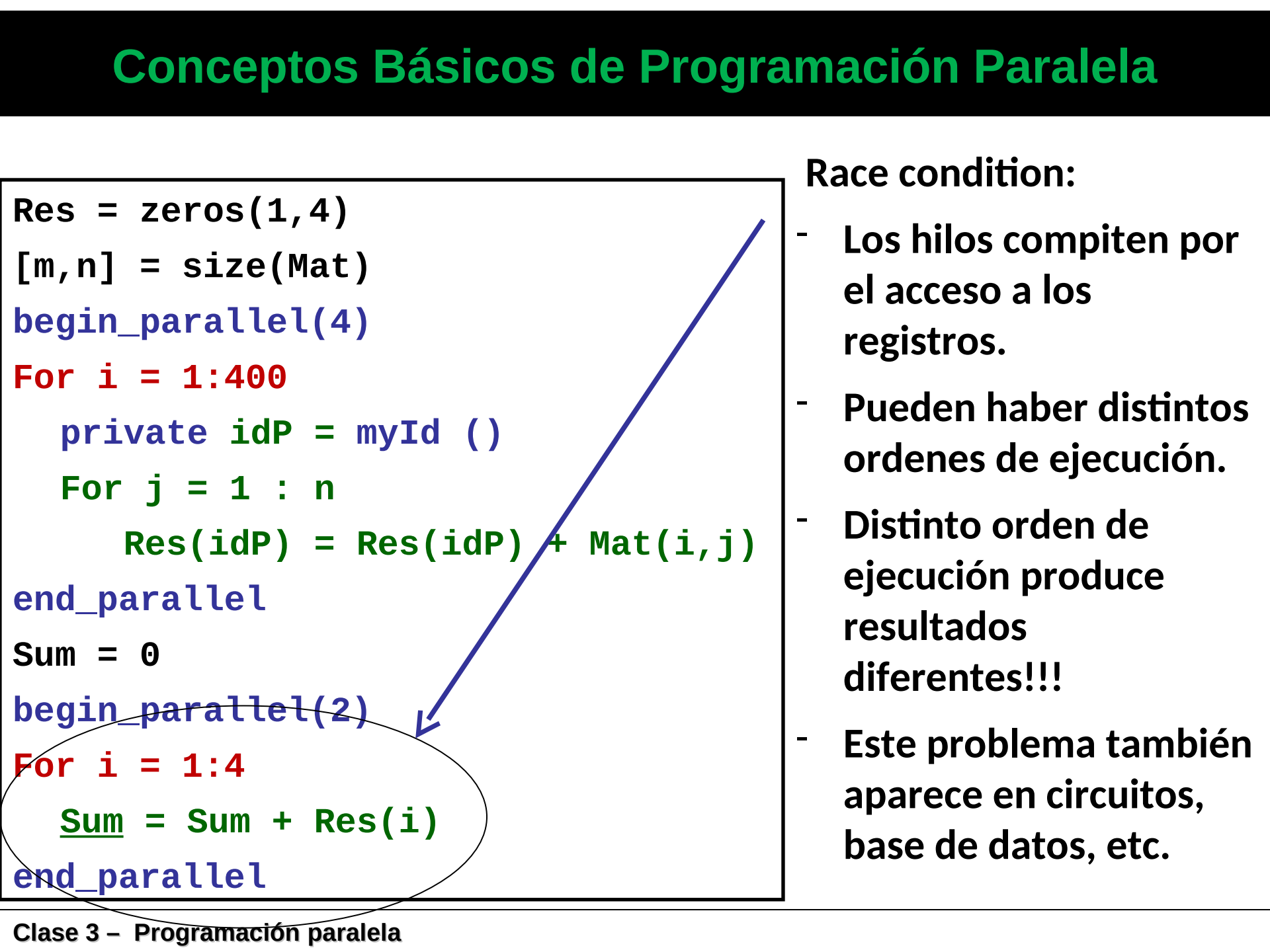
Solución 3

- **Sumo por fila y actualizo el resultado.**
- **Concepto de reduce**

```
Res = zeros(1,4)
[m,n] = size(Mat)
begin_parallel(4)
For i = 1:400
   private idP = myId ()
   For j = 1 : n
       Res(idP) = Res(idP) + Mat(i,j)
end_parallel
Sum = 0
begin_parallel(2)
For i = 1:4
   Sum = Sum + Res(i)
end_parallel
```

Conceptos Básicos de Programación Paralela

```
Res = zeros(1,4)
[m,n] = size(Mat)
begin_parallel(4)
For i = 1:400
   private idP = myId ()
   For j = 1 : n
      Res(idP) = Res(idP) + Mat(i,j)
end_parallel
Sum = 0
begin_parallel(2)
For i = 1:4
   Sum = Sum + Res(i)
end_parallel
```



Race condition:

- Los hilos compiten por el acceso a los registros.
- Pueden haber distintos ordenes de ejecución.
- Distinto orden de ejecución produce resultados diferentes!!!
- Este problema también aparece en circuitos, base de datos, etc.

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Race condition:

Valor en Memoria →	Hilo 1	Hilo 2
0		
0 ←	Lee valor	
0	Incrementa valor →	
1	Escribe valor	
1 ←		Lee valor
1		Incrementa v
2		Escribe valor

Valor en Memoria →	Hilo 1	Hilo 2
0 →		
0	Lee valor	
0		Lee valor
0 ←	Incrementa valor	
0 ←		Incrementa valor
1	Escribe valor	
1		Escribe valor

Conceptos Básicos de Programación Paralela

```
[m,n] = size(Mat)
begin_parallel(4)
private Res
For i = 1:400
   %private idP = myId ()
   For j = 1 : n
       Res = Res + Mat(i,j)
end_parallel(reduce(+,Res))
```

Reduce:

- Generalmente están disponibles diversas operaciones:
  - +
  - *
  - min
  - max

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Consideremos el siguiente código:

```
Res = zeros(1,11)
aux = 11
begin_parallel(400)
For i = 1:400
   if (aux == 1)
       aux = aux + 10
   else
       aux = aux - 1
   end
   Res(aux) = Res(aux) + Mat(i,aux)
end_parallel
```

- Hay problemas por el acceso concurrente a la variable aux.

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Diferentes formas de resolverlo:

- Semáforos
- Zonas mutuo excluidas
- Operaciones atómicas

```
Res = zeros(1,11)
aux = 11
begin_parallel(400)
For i = 1:400
   if (aux == 1)
       aux = aux + 10
   else
       aux = aux - 1
   end
   Res(aux) = Res(aux) + Mat(i,aux)
end_parallel
```

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Con zonas mutuo excluidas

Solo un “hilo de ejecución” entra en la zona.

```
Res = zeros(1,11)
aux = 11
begin_parallel(400)
For i = 1:400
   begin_mutex()
   if (aux == 1)
       aux = aux + 10
    else
       aux = aux - 1
   end
   Res(aux) = Res(aux) + Mat(i,aux)
   end_mutex()
end_parallel
```

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Operaciones atómicas

```
Res = zeros(1,400)
[m,n] = size(Mat)
begin_parallel(4)
For i = 1:400
   For j = 1 : n
       Res(i) = Res(i) + Mat(i,j)
    Sum = Sum + Res(i)
end_parallel
```

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Operaciones atómicas

```
Res = zeros(1,400)
[m,n] = size(Mat)
Sum = 0;
begin_parallel(4)
For i = 1:400
   For j = 1 : n
       Res(i) = Res(i) + Mat(i,j)
    begin_atomic()
    Sum = Sum + Res(j)
    end_atomic()
end_parallel
```

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Diferentes caminos dependiendo del thread ..

```
begin_parallel(400)
For i = 1:400
   private idP = myId ()
   if (mod(idP,2) == 0)
       Mat(i) = Mat(i) + 4
   else
       Mat(i) = Mat(i) + 2
   end
end_parallel
```

- **Estrategia comúnmente utilizada para implementar el modelo de paralelismo Maestro-Esclavo: if soyMaestro()**

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Conceptos vistos

- **Paralelismo**
- **Estrategias de scheduling y balance de carga**
- **Distribución de datos/cálculos**
- **Utilizar información del thread/proceso/etc.**
- **Reducciones**
- **Race conditions**
- **Operaciones atómicas**

Conceptos Básicos de Programación Paralela

Es conveniente tener en cuenta:

- **La importancia del scheduling, distribución de datos/cálculos y control de sincronizaciones para un buen desempeño.**

- **Si bien parece obvio, además de buen desempeño es necesario correctitud. Sin embargo, esto es más complejo de comprobar que en programas secuenciales.**