Concurrencia y Paralelismo

Clase 5

Facultad de Informática

UNLP

Links al archivo con audio

La teoría con los audios está en formato MP4. Debe descargar los archivos comprimidos de los siguientes links:

- Librería Pthreads: https://drive.google.com/uc?id=1T2TBPMgrc1ax0z_vrDWMiSaSXJOTJ9GR&export=download
- Semáforos y monitores en Pthreads: https://drive.google.com/uc?id=1gLhJodkLt8ukBGLPNgauoHRX2HGX0sN9&export=download
- Librería OpenMP: https://drive.google.com/uc?id=1hbMW8CiW9yYtmdkrPyDPhP74l-jKagQd&export=download

Librerías para Cómputo Paralelo

- Para memoria compartida.
  - Basadas en threads: ***Pthreads***
  - Basadas en Directivas: ***OpenMP***

Pthreads

Pthreads

Thread: proceso "liviano" que tiene su propio contador de programa y su pila de ejecución, pero no controla el "contexto pesado" (por ejemplo, las tablas de página).

- Algunos sistemas operativos y lenguajes proveen mecanismos para permitir la programación de aplicaciones "multithreading".
- En principio estos mecanismos fueron heterogéneos y poco portables $\Rightarrow$ a mediados de los 90 la organización POSIX auspició el desarrolló de una biblioteca en C para multithreading **(*Pthreads*).**
- Con esta biblioteca se pueden crear threads, asignarles atributos, darlos por terminados, identificarlos, etc.

POSIX – API de Threads

- Numerosas APIs para el manejo de Threads.
- Normalmente llamada Pthreads, POSIX a emergido como un API estandard para manejo de Threads, provista por la mayoría de los vendedores.
- Los conceptos que se discutirán son independientes de la API y pueden ser igualmente válidos para utilizar JAVA Threads, NT Threads, Solaris Threads, etc.
- Funciones reentrantes.

Pthreads - Creación y terminación

- Pthreads provee funciones básicas para especificar concurrencia:

```
#include <pthread.h>

int pthread_create (pthread_t  *thread_handle, const pthread_attr_t  *attribute,
                    void * (*thread_function)(void *), void *arg);

int pthread_exit (void *res);

int pthread_join (pthread_t   thread, void **ptr);

int pthread_cancel (pthread_t thread);
```

- El “main” debe esperar a que todos los threads terminen.

Pthreads – Primitivas de Sincronización
Exclusión mutua

- Las secciones críticas se implementan en Pthreads utilizando ***mutex locks*** (bloqueo por exclusión mutua) por medio de variables ***mutex***.
- Una variable ***mutex*** tienen dos estados: locked (bloqueado) and unlocked (desbloqueado). En cualquier instante, sólo UN thread puede bloquear un *mutex*. *Lock* es una operación atómica.
- Para entrar en la sección crítica un Thread debe lograr tener control del *mutex* (bloquearlo).
- Cuando un Thread sale de la SC debe desbloquear el *mutex*.
- Todos los *mutex* deben inicializarse como desbloqueados.

Pthreads – Primitivas de Sincronización
Exclusión mutua

- La API Pthreads provee las siguientes funciones para manejar los *mutex*:

```
int pthread_mutex_lock ( pthread_mutex_t *mutex);

int pthread_mutex_unlock (pthread_mutex_t *mutex);

int pthread_mutex_init (pthread_mutex_t *mutex,
                        const pthread_mutexattr_t *lock_attr);
```

Pthreads - Primitivas de Sincronización Productores/Consumidores con Exclusión Mutua

El escenario de productores-consumidores impone las siguientes restricciones:

- Un thread productor no debe sobrescribir el buffer compartido cuando el elemento anterior no ha sido tomado por un thread consumidor.
- Un thread consumidor no puede tomar nada de la estructura compartida hasta no estar seguro de que se ha producido algo anteriormente.
- Los consumidores deben excluirse entre sí.
- Los productores deben excluirse entre sí.
- En este ejemplo el buffer es de tamaño 1.

Pthreads - Primitivas de Sincronización Productores/Consumidores con Exclusión Mutua

Main de la solución al problema de productores-consumidores.

```
pthread_mutex_t    mutex;
int hayElemento;
tipo_elemento Buffer;
...
main()
   { hayElemento= 0;
     pthread_init ();
     pthread_mutex_init(&mutex, NULL);

       /* Create y join de threads productores y consumidores*/
    }
```

Pthreads - Primitivas de Sincronización Productores/Consumidores con Exclusión Mutua

Código para los *productores*.

```
void *productor (void *datos)
  {  tipo_elemento elem;
     int ok;
     ....
     while (true)
           { ok = 0;
             generar_elemento(&elem);
             while (ok = = 0)
               {  pthread_mutex_lock(&mutex);
                  if (hayElemento== 0)
                    {  Buffer = elem;
                       hayElemento = 1;
                       ok = 1;
                     }
                  pthread_mutex_unlock(&mutex);
                }
           }
   }
```

Pthreads - Primitivas de Sincronización Productores/Consumidores con Exclusión Mutua

Código para los *consumidores*.

```
void *consumidor(void *datos)
  {  int ok;
     tipo_elemento elem;
     ....
     while (true)
        { ok = 0;
          while (ok == 0)
              {  pthread_mutex_lock(&mutex);
                 if (hayElemento == 1)
                    { elem = Buffer;
                      hayElemento = 0;
                      ok = 1;
                     }
                 pthread_mutex_unlock(&mutex);
              }
           procesar_elemento(elem);
        }
   }
```

Pthreads - Primitivas de Sincronización
Tipos de Exclusión Mutua (*Mutex*)

- Pthreads soporta tres tipos de Mutexs (Locks): Normal, Recursive y Error Check
  - ✓ Un Mutex con el atributo Normal NO permite que un thread que lo tienen bloqueado vuelva a hacer un lock sobre él (deadlock).
  - ✓ Un Mutex con el atributo Recursive SI permite que un thread que lo tienen bloqueado vuelva a hacer un lock sobre él. Simplemente incrementa una cuenta de control.
  - ✓ Un Mutex con el atributo ErrorCheck responde con un reporte de error al intento de un segundo bloqueo por el mismo thread.
- El tipo de Mutex puede setearse entre los atributos antes de su inicialización.

Pthreads - Primitivas de Sincronización
Overhead de Bloqueos por Exclusión Mutua

- Los locks representan puntos de serialización → si dentro de las secciones críticas ponemos segmentos largos de programa tendremos una degradación importante de perfomance.

- A menudo se puede reducir el overhead por espera ociosa, utilizando la función pthread_mutex_trylock. Retorna el control informando si pudo hacer o no el lock.

  int pthread_mutex_trylock (pthread_mutex_t *mutex_lock).

  - ✓ Evita tiempos ociosos.
  - ✓ Menos costoso por no tener que manejar las colas de espera.

Pthreads - Primitivas de Sincronización
Variables Condición

- Podemos utilizar variables de condición para que un thread se autobloquee hasta que se alcance un estado determinado del programa.
- Cada variable de condición estará asociada con un predicado. Cuando el predicado se convierte en verdadero (TRUE) la variable de condición da una señal para el/los threads que están esperando por el cambio de estado de la condición.
- Una única variable de condición puede asociarse a varios predicados (difícil el debug).
- Una variable de condición siempre tiene un mutex asociada a ella. Cada thread bloquea este mutex y testea el predicado definido sobre la variable compartida.
- Si el predicado es falso, el thread espera en la variable condición utilizando la función pthread_cond_wait (NO USA CPU).

Pthreads - Primitivas de Sincronización
Variables Condición

La API Pthreads provee las siguientes funciones para manejar las variables condición:

```
int pthread_cond_wait ( pthread_cond_t *cond,
                        pthread_mutex_t *mutex)

int pthread_cond_timedwait ( pthread_cond_t *cond,
                             pthread_mutex_t *mutex
                             const struct timespec *abstime)

int pthread_cond_signal (pthread_cond_t *cond)

int pthread_cond_broadcast (pthread_cond_t *cond)

int pthread_cond_init ( pthread_cond_t *cond,
                        const pthread_condattr_t *attr)

int pthread_cond_destroy (pthread_cond_t *cond)
```

Pthreads - Primitivas de Sincronización Productores/Consumidores con Variables Condición

Main de la solución al problema de productores-consumidores.

```
pthread_cond_t vacio, lleno;
pthread_mutex_t mutex;
int hayElemento;
tipo_elemento Buffer;
...
main()
    { ...
      hayElemento= 0;
      pthread_init();
      pthread_cond_init(&vacio, NULL);
      pthread_cond_init(&lleno, NULL);
      pthread_mutex_init(&mutex, NULL);
      ...
    }
```

Pthreads - Primitivas de Sincronización Productores/Consumidores con Variables Condición

Código para los *productores*.

```
void *productor(void *datos)
   { tipo_element elem;

     while (true)
       { generar_elemento(elem);
         pthread_mutex_lock (&mutex);
         while (hayElemento = = 1)
                pthread_cond_wait (&vacio, &mutex);
          Buffer = elem;
          hayElemento = 1;
          pthread_cond_signal (&lleno);
          pthread_mutex_unlock (&mutex);
       }
  }
```

Pthreads - Primitivas de Sincronización Productores/Consumidores con Variables Condición

Código para los *consumidores*.

```
void *consumidor(void *datos)
   {  tipo_element elem;

      while (true))
       { pthread_mutex_lock (&mutex);
         while (hayElemento = = 0)
                  pthread_cond_wait (&lleno, &mutex);
         elem= Buffer;
         hayElemento = 0;
         pthread_cond_signal (&vacio);
         pthread_mutex_unlock (&mutex);
         procesar_elemento(elem);
       }
  }
```

Pthreads – Atributos y sincronización

- La API Pthreads permite que se pueda cambiar los atributos por defecto de las entidades, utilizando attributes objects.
- Un attribute object es una estructura de datos que describe las propiedades de la entidad en cuestión (thread, mutex, variable de condición).
- Una vez que estas propiedades están establecidas, el attribute object es pasado al método que inicializa la entidad.
- Ventajas
  - ✓ Esta posibilidad mejora la modularidad.
  - ✓ Facilidad de modificación del código.

Pthreads – Atributos para Threads

- La API Pthreads provee las siguientes funciones para manejar los atributos para Threads:

```
int pthread_attr_init (pthread_attr_t  *attr);

int pthread_attr_destroy (pthread_attr_t  *attr);
```

- Las propiedades asociadas con el *attribute object* pueden ser cambiadas con las siguientes funciones:

pthread_attr_setdetachstate

pthread_attr_setguardsize_np

pthread_attr_setstacksize

pthread_attr_setinheritsched

pthread_attr_setschedpolicy

pthread_attr_setschedparam

Pthreads – Atributos para *Mutex*

- La API Pthreads provee las siguientes funciones para manejar los atributos para Mutex:

```
int pthread_mutexattr_init (pthread_mutexattr_t  *attr);

int pthread_mutexattr_settype_np ( pthread_mutexattr_t *attr,   int type);
```

- Aquí *type* especifica el tipo de *mutex* y puede tomar los valores:
  - PTHREAD_MUTEX_NORMAL_NP
  - PTHREAD_MUTEX_RECURSIVE_NP
  - PTHREAD_MUTEX_ERRORCHECK_NP

Semáforos en Pthreads

Semáforos con Pthreads

- Los threads pueden sincronizar por semáforos (*librería semaphore.h*).
- Declaración y operaciones con semáforos en Pthreads:
  - ✓ sem_t semaforo→ se declaran globales a los threads.
  - ✓ sem_init (&semaforo, alcance, inicial) → en esta operación se inicializa el semáforo semaforo. Inicial es el valor con que se inicializa el semáforo. Alcance indica si es compartido por los hilos de un único proceso (0) o por los de todos los procesos (≠ 0).
  - ✓ sem_wait(&semaforo) → equivale al P.
  - ✓ sem_post(&semaforo) → equivale al V.
  - ✓ Existen funciones extras para: wait condicional, obtener el valor de un semáforo y destruir un semáforo (ESTE TIPO DE FUNCIONES EXTRAS NO SE PUEDEN USAR EN LA PRÁCTICA DE LA MATERIA).

Semáforos con Pthreads

Productor / consumidor

- Las funciones de ***Productor*** y ***Consumidor*** serán ejecutadas por threads independientes.
- Acceden a un buffer compartido (***datos***).
- El productor deposita una secuencia de enteros de ***1*** a ***numItems*** en el buffer.
- El consumidor busca estos valores y los suma.
- Los semáforos ***vacio*** y ***lleno*** garantizan el acceso alternativo de productor y consumidor sobre el buffer.

```
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>
#define SHARED 1

void *Productor(void *);
void *Consumidor(void *);

sem_t  vacio, lleno;
int dato, numItems;
```

```
int main(int argc, char * argv[ ])
{    ……
     sem_init (&vacio, SHARED, 1);
     sem_init (&lleno, SHARED, 0);
     ……
     pthread_create (&pid, &attr,  Productor, NULL);
     pthread_create (&cid, &attr, Consumidor, NULL);
     pthread_join (pid, NULL);
     pthread_join (cid, NULL);
}
```

Semáforos con Pthreads

Productor / consumidor

```
void *Productor (void *arg)
{ int item;
   for (item = 1; item <= numItems; item++)
      {   sem_wait(&vacio);
          dato = item;
          sem_post(&lleno);
       }
    pthreads_exit();
}

void *Consumidor (void *arg)
{   int total = 0, item, aux;
    for (item = 1; item <= numItems; item++)
       { sem_wait(&lleno);
          aux = dato;
          sem_post(&vacio);
          total = total + aux;
       }
    printf("TOTAL:  %d\n", total);
    pthreads_exit();
}
```

Monitores en Pthreads

Monitores con Pthreads

- Pthreads no permite manejar la Exclusión Mutua por medio de las variables *mutex*.
- Pthreads nos permite manejar la Sincronización por Condición utilizando *variables condición* para que un *thread* se auto bloquee hasta que se alcance un estado determinado del programa. Una variable de condición siempre tiene un *mutex* asociada a ella.
- Pthreads no posee "*Monitores*", pero con las dos herramientas que mencionamos se puede similar el uso de monitores: con mutex se hace la exclusión mutua que nos brindaba implicitamente el monitor, y con las variables condición la sincronización.
  - El acceso exclusive al monitor se simula usando una variable *mutex* la cual se bloquea antes del llamada al *procedure* y se desbloquea al terminar el mismo (una variable *mutex* diferente para cada monitor).
  - Cada llamado de un proceso a un procedure de un monitor debe ser reemplazado por el código de ese procedure.

Monitores con Pthreads

Ejemplo: *Lectores y escritores*

- Esta es la solución que vimos en la teoría de monitores para el problema de lectores/escritores. Ahora veremos como simularla en ***Pthreads***.

```
monitor Controlador
{  int nr = 0, nw = 0, dr = 0, dw = 0;
   cond  ok_leer, ok_escribir

   procedure pedido_leer( )
    { if (nw > 0)
                  { dr = dr +1;
                    wait (ok_leer);
                  }
      else  nr = nr + 1;
    }

   procedure libera_leer( )
    { nr = nr - 1;
      if (nr == 0 and dw > 0)
                { dw = dw -1;
                  signal (ok_escribir);
                  nw = nw +1;
                }
    }

   procedure pedido_escribir( )
     { if (nr>0 OR nw>0)
                  { dw = dw +1;
                    wait (ok_escribir);
                  }
       else  nw = nw + 1;
     }

   procedure libera_escribir( )
    { if (dw > 0)
              { dw = dw -1;
                signal (ok_escribir);
               }
      else { nw = nw -1;
             if (dr > 0)
                  { nr = dr;
                    dr = 0;
                    signal_all (ok_leer);
                    }
             }
     }
}
```

```
Process lector[id: 0..L-1]
{  while (true)
     { Controlador.pedido_leer();
       //Leer sobre la BD
       Controlador.libera_leer();
     };
}


Process escritor[id: 0..E-1]
{  while (true)
     { Controlador.pedido_escribir();
       //Leer sobre la BD
       Controlador.libera_escribir();
     };
}
```

Monitores con Pthreads

Ejemplo: *Lectores y escritores*

```
#include <pthread.h>

void *Escritor(void *);
void *Lector(void *);

int main(int argc, char * argv[ ])
{  int nr = 0, nw = 0, dr = 0, dw = 0, i;
   pthread_cond_t   ok_leer, ok_escribir;
   pthread_t  lectores[L], escritores[E];
   ……
   pthread_init();
   pthread_cond_init(&ok_leer, NULL);
   pthread_cond_init(&ok_escribir, NULL);
   ……
   for (i=0; i<E;i++) pthread_create (&escritores[i], &attr,  Escritor, NULL);
   for (i=0; i<L;i++) pthread_create (&lectores[i], &attr,  Lector, NULL);
}
```

Por cada monitor se require un *mutex* para similar la EM implicita de los mismos.

Monitores con Pthreads

Ejemplo: *Lectores y escritores*

- Como hay solo un monitor se pone solo una variable *mutex* que además de declarer se inicializa en el *main* del programa.

```
#include <pthread.h>

void *Escritor(void *);
void *Lector(void *);

int main(int argc, char * argv[ ])
{  int nr = 0, nw = 0, dr = 0, dw = 0, i;
   pthread_cond_t   ok_leer, ok_escribir;
   pthread_t  lectores[L], escritores[E];
   pthreads_mutex_t  mutex;
   ……
   pthread_init();
   pthread_cond_init(&ok_leer, NULL);
   pthread_cond_init(&ok_escribir, NULL);
   pthread_mutex_init(&mutex, NULL);
   ……
   for (i=0; i<E;i++) pthread_create (&escritores[i], &attr,  Escritor, NULL);
   for (i=0; i<L;i++) pthread_create (&lectores[i], &attr,  Lector, NULL);
}
```

Monitores con Pthreads

Ejemplo: *Lectores y escritores*

- Se agrega en los procesos el bloque y desbloqueo de *mutex* en los llamados a los procedure del monitor.

```
void *lector (void*)
{  while (true)
     { pthread_mutex_lock (&mutex);
       Controlador.pedido_leer();
       pthread_mutex_unlock (&mutex);
       //Leer sobre la BD
       pthread_mutex_lock (&mutex);
       Controlador.libera_leer();
       pthread_mutex_unlock (&mutex);
     }
}
```

```
void *escritor (void*)
{  while (true)
     { pthread_mutex_lock (&mutex);
       Controlador.pedido_escribir();
       pthread_mutex_unlock (&mutex);
       //Leer sobre la BD
       pthread_mutex_lock (&mutex);
       Controlador.libera_escribir ();
       pthread_mutex_unlock (&mutex);
     }
}
```

El próximo paso es reemplazar los llamados de los procedimientos por el código de los mismos

Monitores con Pthreads

Ejemplo: *Lectores y escritores*

```
void *escritor (void*)
{  while (true)
     { pthread_mutex_lock (&mutex);
       if (nr>0 OR nw>0)
         { dw = dw +1;
           pthread_cond_wait (& ok_escribir, &mutex);
         }
       else  nw = nw + 1;
       pthread_mutex_unlock (&mutex);
       //Escribe sobre la BD
       pthread_mutex_lock (&mutex);
       if (dw > 0)
         { dw = dw -1;
           pthread_cond_signal(&ok_escribir);
         }
       else
         { nw = nw -1;
           if (dr > 0)
             { nr = dr;
               dr = 0;
               pthread_cond_broadcast(&ok_leer);
              };
           };
       pthread_mutex_unlock (&mutex);
     };
   pthreads_exit();
};
```

```
void *lector(void*)
{  while (true)
     { pthread_mutex_lock (&mutex);
       if (nw>0)
         { dr = dr +1;
           pthread_cond_wait (& ok_leer, &mutex);
         }
       else  nr = nr + 1;
       pthread_mutex_unlock (&mutex);
       //Leer sobre la BD
       pthread_mutex_lock (&mutex);
       nr = nr – 1;
       if (nr == 0 and dw > 0)
         { dw = dw -1;
           pthread_cond_signal(&ok_escribir);
           nw = nw + 1;
         };
       pthread_mutex_unlock (&mutex);
     };
   pthreads_exit();
};
```

OpenMP

Modelo de Programación Basado en Directivas: *OpenMP*

- Modelos basados en threads → primitivas de bajo nivel.
- Modelos basados en directivas → constructores de alto nivel.
  - Liberan al programador del manejo de Threads.
  - OpenMP es un estándar para programación paralela basada en directivas.
  - OpenMP es una API que puede ser usada con C, C++ y FORTRAN.
  - Las directivas de OpenMP proveen soporte para concurrencia, sincronización y manejo de datos obviando el uso explícito de mutex, variables condición, alcance de los datos e inicialización de threads.

OpenMP: *Características Básicas*

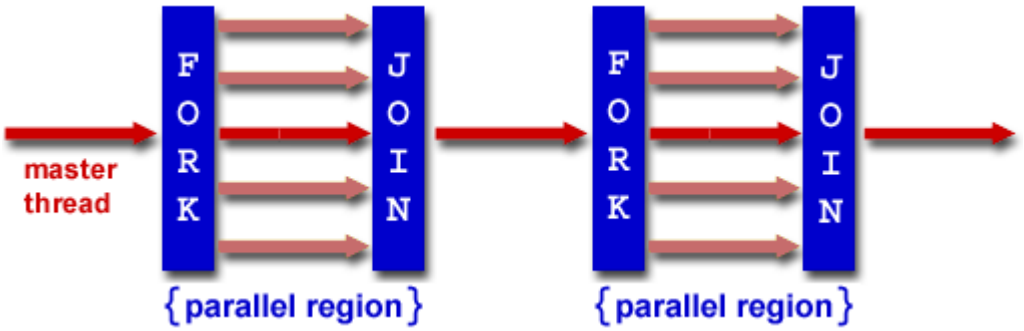
- Paralelismo basado en Threads. Memoria compartida.
- Paralelismo explícito.
- Permite alterar dinámicamente la cantidad de Threads usados.
- Basado en directivas del compilador.

  #pragma omp nombre_directiva [lista de cláusulas]

- Usa el modelo Fork-Join

OpenMP: *Modelo Fork-Join*

- Comienza con un único proceso (thread master).
- FORK: Al encontrar un constructor paralelo (o directiva paralela), el thread master crea un grupo de threads (quedando él con id 0 del grupo).
- El bloque encerrada por el constructor de la región paralela es ejecutada en paralelo entre todos los threads.
- JOIN: cuando el conjunto de threads finaliza el bloque paralelo sincronizan y terminan, continuando únicamente el thread master.



OpenMP: *Constructor de región paralela*

- Sintaxis de la directiva parallel

  #pragma omp parallel [Lista de clásusulas] { Bloque paralelo }

- Cuantos threads son creados?
  - Por medio de la función omp_set_num_threads().
  - Variable de entorno OMP_NUM_THREAD.

- Lista de cláusulas:
  - if (expresión_escalar): Paralelización condicional. (Default ≠ 0).
  - private (lista_variables): Variables locales a cada threads.
  - shared (lista_variables): Variables compartidas por todos los threads.
  - firstprivate (lista_variables): Variables locales inicializadas.
  - default (private | shared | none): Tipo por default de las variables usadas en el bloque paralelo. None obliga a especificar todas las variables.
  - reduction (operator: list): Variables locales a cada threads que al finalizar sus copias se reducen a un único valor para usar en el master por medio de alguna operación (+, *, -, &, |, ^, &&, ||).

OpenMP: *Ejemplos de Directiva Parallel*

```
#include <omp.h>
…
#pragma omp parallel  if (is_parallel== 1)  private(a) shared(b) firstprivate(c)
{ Bloque paralelo }
…
```

```
#include <omp.h>
….
/* Suponiendo que se crean 3 threads (además del master) */
#pragma omp parallel reduction(+: sum)
    {  sum = omp_get_thread_num();
    }
/* En este punto sum es igual a 6 */
…
```

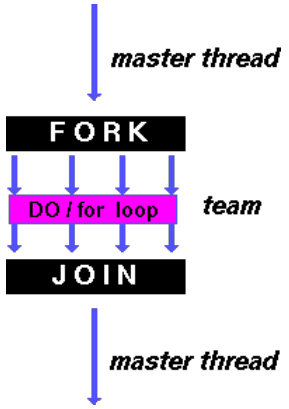
OpenMP: *Ejemplos de Directiva Parallel*

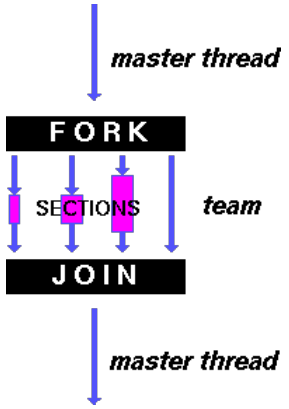
Ejemplo donde cada Thread imprime su identificador y el master además imprime el total.

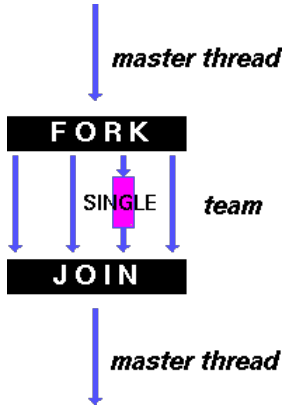
```
#include <omp.h>

main ()
 {  int nthreads, tid;

    #pragma omp parallel private(tid)
          {  tid = omp_get_thread_num();
             printf("Hola mundo del Thread = %d\n", tid);
             if (tid == 0)
                { nthreads = omp_get_num_threads();
                  printf("Número de Threads = %d\n", nthreads);
                 }
           }
  }
```

OpenMP: *Constructor de trabajo compartido*

- La directiva parallel puede ser utilizada en conjunto con otras directivas para especificar concurrencia entre iteraciones y tareas (constructores de trabajo compartido) → No crea nuevos threads.
- Diferentes tipos de constructores.
  - Directiva for → Divide las iteraciones de un loop entre los threads (paralelismo de datos).
  - Directiva sections → Trabajo dividido en secciones separadas (paralelismo funcional).
  - Directiva single → Serializa una sección del código.







OpenMP: *Constructores de trabajo compartido Directiva For*

- La forma general de esta directiva es:

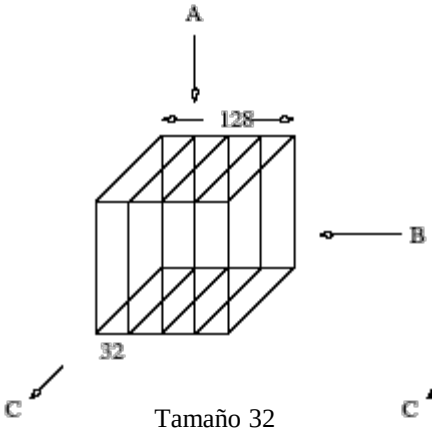
```
#pragma omp for [lista de cláusulas]
  for_loop
```

- Lista de cláusulas:
  - ordered: Indica que dentro tiene un constructor de sincronización ordered.
  - nowait: Evita la sincronización implícita.
  - lastprivate (lista_variables): Variables locales donde el thread que realiza la última iteración deja el valor en el master al finalizar el bloque.
  - private, shared, firstprivate, reduction.
  - schedule (tipo [,tamaño]): Indica como se reparten las iteraciones.
    - static: divide en bloques de tamaño elementos y reparte en forma Round Robin.
    - dynamic: divide en bloques de tamaño elementos y reparte bajo demanda.
    - guided: se va achicando el tamaño del bloque.
    - runtime: determinado por la variable de entorno OMP_SCHEDULE.

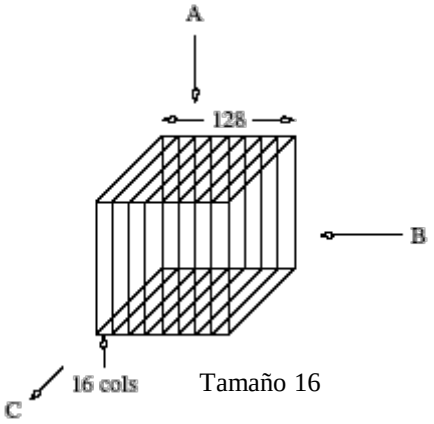
OpenMP: *Ejemplo de directiva For Con cláusula schedule*

Ejemplo para multiplicar matrices con 4 threads.

```
#include <omp.h>

main ()
  {  int *a, *b, *c, dim, i, j, k;
     ….
     #pragma omp parallel default(private) shared (a, b, c, dim)
        {   #pragma omp for schedule(static,32)
            for (i = 0; i < dim ; i++)
                 for (j = 0; j < dim ; j++)
                    { c[i, j] = 0;
                      for (k = 0; k < dim ; k++)  c[i, j] += a[i,k]*b[k,j];
                     }
        }
    ….
 }
```



Tamaño 32



Tamaño 16

OpenMP: *Constructores de trabajo compartido*
Directiva Sections

- Esta directiva permite la asignación de tareas paralelas no iterativas.

- La forma general de esta directiva es:

```
#pragma omp sections [lista de cláusulas ]
  {   #pragma omp section
            { bloque }

      #pragma omp section
            { bloque }
       ….
  }
```

- Lista de cláusulas: private, firstprivate, lastprivate, reduction, nowait.

OpenMP: *Ejemplo de directiva Sections*

```
#include <omp.h>
#define N     1000

main ()
{ int i;
  float a[N], b[N], c[N];
  for (i=0; i < N; i++)  a[i] = b[i] = i * 1.0;

  #pragma omp parallel shared(a,b,c) private(i)
     {  #pragma omp sections nowait
          {   #pragma omp section
                for (i=0; i < N/2; i++) c[i] = a[i] / b[i];
              #pragma omp section
                for (i=N/2; i < N; i++) c[i] = b[i] / a[i];
          }
        …..
      }
    …..
}
```

OpenMP: *Constructores de trabajo compartido*
Directiva Single

- Esta directiva permite que un único thread (aleatorio) ejecute un bloque de código. El resto espera.

- La forma general de esta directiva es:

```
#pragma omp single [lista de cláusulas ]
  {bloque }
```

- Lista de cláusulas: private, firstprivate, nowait.

OpenMP: *Ejemplo de directiva Single*

Ejemplo donde cada Thread imprime su identificador y uno imprime el total.

```
#include <omp.h>

main ()
 {  int nthreads, tid;

    #pragma omp parallel private(tid)
          {  tid = omp_get_thread_num();
             printf("Hola mundo del Thread = %d\n", tid);

             #pragma omp single private(nthreads) nowait
                { nthreads = omp_get_num_threads();
                  printf("Número de Threads = %d\n", nthreads);
                 }
          }
  }
```

OpenMP: *Constructores combinados*

Directiva Parallel → crea los threads.
For / Sections → da trabajo a los threads.

} Parallel For / Parallel Sections

- Combina las cláusulas de ambas directivas.

```
#include <omp.h>

main ()
  {  int *a, *b, *c, dim, i, j, k;
     ….
     #pragma omp parallel for default(private) shared (a, b, c, dim) schedule(static,32)
             for (i = 0; i < dim ; i++)
                 for (j = 0; j < dim ; j++)
                    { c[i, j] = 0;
                      for (k = 0; k < dim ; k++)  c[i, j] += a[i,k]*b[k,j];
                     }
     ….
  }
```

OpenMP: *Directivas parallel anidadas*

- La variable de entorno OMP_NESTED indica si está habilitado o no el anidamiento de bloques paralelos.

- Si no está activo ejecuta los bloques internos como secuenciales.

```
#pragma omp parallel for default(private) shared (a, b, c, dim) schedule(static,32)
 for (i = 0; i < dim ; i++)
       { #pragma omp parallel for default(private) shared (a, b, c, dim) schedule(static,32)
         for (j = 0; j < dim ; j++)
              { c[i, j] = 0;
                for (k = 0; k < dim ; k++)  c[i, j] += a[i,k]*b[k,j];
               }
       }
```

OpenMP: *Constructores de Sincronización*

- Hay casos en que explícitamente se requiere coordinar la ejecución de múltiples threads:
  - Ejecución en cierto orden (sincronización).
  - Atomicidad (exclusión mutua).

- OpenMP provee una serie de constructores de sincronización.
  - #pragma omp barrier
  - #pragma omp master
    structured block
  - #pragma omp critical [(name)]
    structured block
  - #pragma omp ordered
    structured block

OpenMP: *Ejemplo de Constructores de Sincronización*

Productores – consumidores con la directiva critical.

```
#pragma omp parallel sections
  {  #pragma omp section
       {  tarea = Producir_Tarea ();
          #pragma omp critical (buffer)
               { insert_en_buffer (tarea);
               }
       }

     #pragma omp section
       { #pragma omp critical (buffer)
               { tarea = extraer_de_buffer ();
               }
         Consumir_Tarea (tarea);
       }
  }
```

OpenMP: *Ejemplo de Constructores de Sincronización*

Calcular la suma acumulativa de una lista usando directiva *ordered*.

```
suma_acumulativa[0] = lista[0];
#pragma omp parallel for private(i) shared(suma_acumulativa, lista, n) ordered
  for (i = 1; i < n; i++)
    {  /* Procesamiento del elemento lista[i] */
       #pragma omp ordered
          {  suma_acumulativa[i] = suma_acumulativa[i-1] + lista[i];
          }
    }
```

OpenMP: *Funciones de la librería OpenMP*

Además de las directivas OpenMP soporta una serie de funciones que permite al programador controlar la ejecución del programa con mayor nivel de abstracción que Pthreads.

OpenMP: *Funciones de la librería OpenMP*

- Funciones básica
  - void omp_set_num_threads (int num_threads);
  - int omp_get_num_threads ();
  - int omp_get_thread_num ();
  - int omp_get_num_procs ();
  - int omp_in_parallel();

- Funciones relacionadas con la creación de threads
  - void omp_set_dynamic (int dynamic_threads);
  - int omp_get_dynamic ();
  - void omp_set_nested (int nested);
  - int omp_get_nested ();

OpenMP: *Funciones de la librería OpenMP*

- Funciones para la exclusión mutua simple
  - void omp_init_lock (omp_lock_t *lock);
  - void omp_destroy_lock (omp_lock_t *lock);
  - void omp_set_lock (omp_lock_t *lock);
  - void omp_unset_lock (omp_lock_t *lock);
  - int omp_test_lock (omp_lock_t *lock);

- Funciones para la exclusión mutua recursiva
  - void omp_init_nest_lock (omp_nest_lock_t *lock);
  - void omp_destroy_nest_lock (omp_nest_lock_t *lock);
  - void omp_set_nest_lock (omp_nest_lock_t *lock);
  - void omp_unset_nest_lock (omp_nest_lock_t *lock);
  - int omp_test_nest_lock (omp_nest_lock_t *lock);