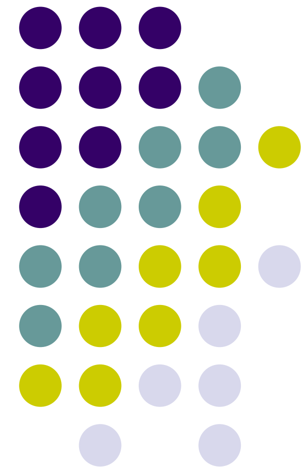
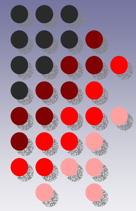
Programación Paralela y Computación de Altas Prestaciones
Programación con OpenMP

Javier Cuenca

Universidad de Murcia

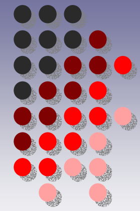


Nociones básicas



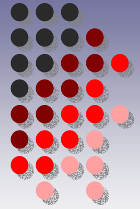
- Modelo de programación fork-join, con generación de múltiples threads.
- Inicialmente se ejecuta un thread hasta que aparece el primer constructor paralelo, se crean threads esclavos y el que los pone en marcha es el maestro.
- Al final del constructor se sincronizan los threads y continúa la ejecución el maestro.

Ejemplo inicial: ejemplo_hello.c



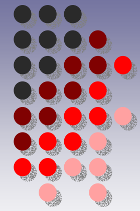
```
#include <omp.h>
int main()
{
  int iam =0, np = 1;
   #pragma omp parallel private(iam, np)
    {
        #if defined (_OPENMP)
            np = omp_get_num_threads();
            iam = omp_get_thread_num();
        #endif
    printf("Hello from thread %d out of %d \n",iam,np);
    }
}
```

Directivas



```
#pragma omp nombre-directiva [cláusulas]
```

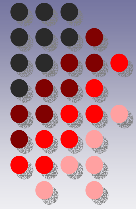
Constructores: Constructor **parallel**



```
#pragma omp parallel [cláusulas]
               bloque
```

- Se crea un grupo de threads
- El que los pone en marcha actúa de maestro.
- Con cláusula **if** se evalúa su expresión
  - si da valor distinto de cero se crean los threads
  - si es cero se hace en secuencial.
- Número de threads a crear se obtiene por
  - variables de entorno o llamadas a librería.
- Hay barrera implícita al final de la región.
- Cuando dentro de una región hay otro constructor paralelo: anidamiento
  - cada esclavo crearía otro grupo de threads esclavos de los que sería el maestro.
- Cláusulas (**private**, **firstprivate**, **default**, **shared**, **copyin** y **reduction**) → forma en que se accede a las variables.

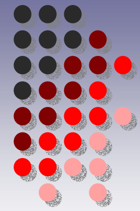
Constructores: Constructor **for**



```
#pragma omp for [cláusulas]
        bucle for
```

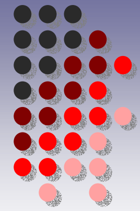
- Las iteraciones se ejecutan en paralelo por threads que ya existen
- La parte de inicialización del for debe ser una asignación
- La parte de incremento debe ser una suma o resta
- La parte de evaluación es la comparación de una variable entera sin signo con un valor, utilizando un comparador mayor o menor (puede incluir igual).
- Los valores que aparecen en las tres partes del for deben ser enteros.
- Hay barrera al final a no ser que se utilice la cláusula nowait.
- Hay una serie de cláusulas (private, firstprivate, lastprivate y reduction) para indicar la forma en que se accede a las variables.

Constructores:
Constructor **for**: ejemplo_for.c



```
#include <omp.h>
int main()
{
        int iam =0, np = 1, i=0;
        #pragma omp parallel private(iam, np,i)
        {
                #if defined (_OPENMP)
                  np = omp_get_num_threads();
                  iam = omp_get_thread_num();
                #endif
                printf("Hello from thread %d out of
   %d\n",iam,np);

                #pragma omp for
                for(i=0;i<(np*2);i++)
                {
                  printf("Thread %d, contador %d \n",iam,i);
                }

        }
}
```

Constructores:
Constructor **for**



Una cláusula **schedule** indica la forma como se dividen las iteraciones del for entre los threads:

- **schedule**(**static**,tamaño) las iteraciones se dividen según el tamaño, y la asignación se hace estáticamente a los threads. Si no se indica el tamaño se divide por igual entre los threads.

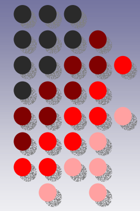
- **schedule**(**dynamic**,tamaño) las iteraciones se dividen según el tamaño y se asignan a los threads dinámicamente cuando van acabando su trabajo.

- **schedule**(**guided**,tamaño) las iteraciones se asignan dinámicamente a los threads pero con tamaños decrecientes, empezando en tamaño numiter/np y acabando en "tamaño".

- **schedule**(**runtime**) deja la decisión para el tiempo de ejecución, y se obtienen de la variable de entorno **OMP_SCHEDULE**.

- → *ver modificaciones ejemplo_for.c*

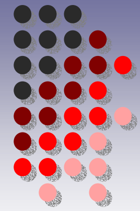
Constructores:
Constructor **sections**



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

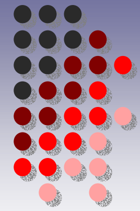
- Cada sección se ejecuta por un thread.
- Hay barrera al final de “sections” a no ser que se utilice la cláusula **nowait**.
- Hay una serie de cláusulas (**private**, **firstprivate**, **lastprivate** y **reduction**) para indicar la forma en que se accede a las variables.

Constructores:
Constructor **sections**: ejemplo_sections.c



```
#pragma omp parallel private(iam, np,i)
{
 #pragma omp sections
 {
   #pragma omp section
    printf("Soy el thread %d, en solitario en la seccion 1ª \n",iam);
   #pragma omp section
    printf("Soy el thread %d, en solitario en la sección 2ª \n",iam);
   #pragma omp section
    printf("Soy el thread %d, en solitario en la seccion 3ª \n",iam);
 }//sections
}//parallel
```

Constructores:
Constructores combinados



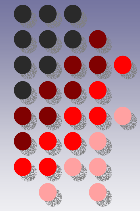
```
#pragma omp parallel for [cláusulas]
    bucle for
```

Es forma abreviada de directiva **parallel** que tiene una única directiva **for**, y admite sus cláusulas menos la **nowait**.

```
#pragma omp parallel sections [cláusulas]
```

Es forma abreviada de directiva **parallel** que tiene una única directiva **sections**, y admite sus cláusulas menos la **nowait**.

Constructores:
Constructores de ejecución secuencial



```
#pragma omp single [cláusulas]
bloque
```

- El bloque se ejecuta por un único thread. No tiene por qué ser el maestro.
- Hay barrera al final a no ser que se utilice la cláusula **nowait**.

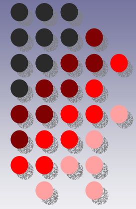
```
#pragma omp master
bloque
```

- El bloque lo ejecuta el thread maestro.
- No hay sincronización al entrar ni salir.

```
#pragma omp ordered
bloque
```

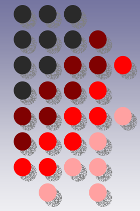
- Todo dentro de un for, el bloque se ejecuta en el orden en que se ejecutaría en secuencial.

Constructores:
Constructores de ejecución secuencial: ejemplos



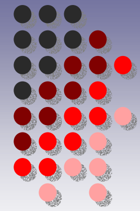
- `ejemplo_single.c`
  - Barreras al final de cada single
- `ejemplo_master.c`
  - Ejecución solamente por thread maestro (el 0)
  - No hay barreras
- `ejemplo_ordered.c`
  - Se ordena la ejecución por iteraciones del bucle

Constructores:
Constructores de ejecución secuencial: ejemplo_single.c



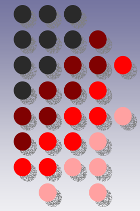
```
#pragma omp parallel private(iam, np,i)
{
#pragma omp single                              {
   printf("Soy el thread %d, actuando en solitario dentro del primer
   bloque\n",iam);                     sleep(1);                    }
#pragma omp single                              {
   printf("Soy el thread %d, actuando en solitario dentro ddel
   segundo bloque \n",iam);                     sleep(1);
   }
#pragma omp single                              {
   printf("Soy el thread %d, actuando en solitario dentro ddel tercer
   bloque \n",iam);                    sleep(1);                    }

printf("Soy el thread %d, fuera de los singles\n",iam);
}//parallel
```

Constructores:
Constructores de ejecución secuencial: ejemplo_master.c



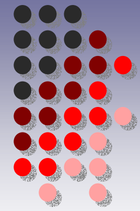
```
#pragma omp parallel private(iam, np,i)
{
#pragma omp master                          {
   printf("Soy el thread %d, actuando en solitario dentro del primer
   bloque\n",iam);                            sleep(1);                    }
#pragma omp master                          {
   printf("Soy el thread %d, actuando en solitario dentro ddel
   segundo bloque \n",iam);                             sleep(1);
   }
#pragma omp master                          {
   printf("Soy el thread %d, actuando en solitario dentro ddel tercer
   bloque \n",iam);                            sleep(1);                    }

printf("Soy el thread %d, fuera de los singles\n",iam);
}//parallel
```

Constructores:
Constructores de ejecución secuencial: ejemplo_ordered.c



```
#pragma omp parallel private(iam, np,i)
{
#pragma omp for ordered
for(i=0;i<5;i++)
{
   printf("\t\tSoy el thread %d, antes del ordered en la iteracion
   %d\n",iam,i);
   #pragma omp ordered
   {
            printf("Soy el thread %d, actuando en la iteracion
   %d\n",iam,i);
            sleep(1);                          }
   }
}//parallel
```

Constructores:
Constructores de sincronización



```
#pragma omp critical [nombre]
        bloque
```

- Asegura exclusión mutua en la ejecución del bloque.
- El nombre se puede usar para identificar secciones críticas distintas.

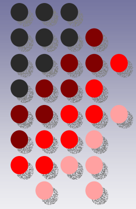
```
#pragma omp barrier
```

- Sincroniza todos los threads en el equipo.

```
#pragma omp atomic
    expresión
```

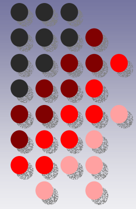
- La expresión debe ser *x binop=exp*, *x*++, ++*x*, *x*-- o --*x*, donde *x* es una expresión con valor escalar, y *binop* es un operador binario.
- Asegura la ejecución de la expresión de forma atómica.

Constructores:
Constructores de sincronización: ejemplo_critical.c



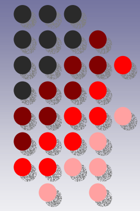
```
#pragma omp parallel private(iam, np,i)
{

#pragma omp critical
{
     printf("Soy el thread %d, al inicio de la seccion critica
     \n",iam);
     sleep(1);
     printf("\t\tSoy el thread %d, al final de la seccion critica
     \n",iam);
}

}//parallel
```

Constructores:
Constructores de sincronización: ejemplo_barrier.c



```
 #pragma omp parallel private(iam, np,i)
{

    printf("Soy el thread %d, antes del barrier \n",iam);
    #pragma omp barrier
    printf("\t\tSoy el thread %d, despues del barrier \n",iam);

}//parallel
```

Constructores:
Constructores de manejo de variables



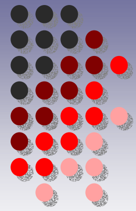
```
#pragma omp flush [lista]
```

- Asegura que las variables que aparecen en la lista quedan actualizadas para todos los threads.
- Si no hay lista se actualizan todos los objetos compartidos.
- Se hace flush implícito al acabar **barrier**, al entrar o salir de **critical** u **ordered**, al salir de **parallel**, **for**, **sections** o **single**.
- →`ejemplo_flush.c`

```
#pragma omp threadprivate (lista)
```

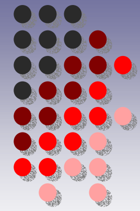
- Usado para declarar variables privadas a los threads.

Constructores:
Constructores de manejo de variables: ejemplo_flush.c



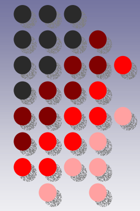
```
#pragma omp parallel private(iam, np,i)
{
   #pragma omp master
   {
    x=999;
    #pragma omp flush(x)
    printf("Soy el thread %d, actualizando x=999 \n\n",iam);
   }

   printf("Soy el thread %d, antes del flush, con x=%d
   \n",iam,x);
   while (x==0)
   { #pragma omp flush(x)   }

   printf("\t\tSoy el thread %d, despues del flush, con x=%d
   \n",iam,x);
}//parallel
```

Claúsulas de alcance de datos



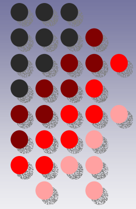
- `private(lista)`
  - privadas a los threads, no se inicializan antes de entrar y no se guarda su valor al salir.
- `firstprivate(lista)`
  - privadas a los threads, se inicializan al entrar con el valor que tuviera la variable correspondiente.
- `lastprivate(lista)`
  - privadas a los threads, al salir quedan con el valor de la última iteración o sección.
- `shared(lista)`
  - compartidas por todos los threads.
- `default(shared|none)`
  - indica cómo serán las variables por defecto.
- `reduction(operador:lista)`
  - se obtienen por la aplicación del operador.
- `copyin(lista)`
  - para asignar el valor de la variable en el master a variables locales privadas a los threads al empezar la región paralela.

Claúsulas de alcance de datos: Ejemplos: ejemplo_private.c



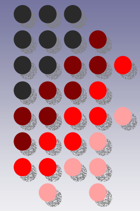
```
 int x=1234;
#pragma omp parallel private(iam, np,i,x)
{
   printf("Soy el thread %d, antes de actualizar, con x=%d
   \n",iam,x);
   x=iam*1111;
   printf("\t\tSoy el thread %d, despues de actualizar, con x=%d
   \n",iam,x);
}
printf("\n Despues de pragma parallel x=%d \n\n",x);
```

Claúsulas de alcance de datos: Ejemplos: ejemplo_firstprivate.c



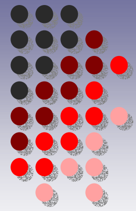
```
 int x=1234;
#pragma omp parallel firstprivate(iam, np,i,x)
{
   printf("Soy el thread %d, antes de actualizar, con x=%d
   \n",iam,x);
   x=iam*1111;
   printf("\t\tSoy el thread %d, despues de actualizar, con x=%d
   \n",iam,x);
}
printf("\n Despues de pragma parallel x=%d \n\n",x);
```

Claúsulas de alcance de datos: Ejemplos: ejemplo_lastprivate.c



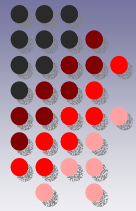
```
 int x=1234;
#pragma omp parallel private(iam, np,i,x)
{
   printf("Soy el thread %d, antes de actualizar, con x=%d
   \n",iam,x);
   #pragma omp for lastprivate(x) schedule(dynamic)
    for(i=0;i<11;i++)
    {
        x=iam*i;
        printf("\tSoy el thread %d, actualizando en for, i=%d
            x=%d\n",iam,i,x);

   }
   printf("\t\tSoy el thread %d, despues de actualizar, con x=%d
   \n",iam,x);
}
printf("\n Despues de pragma parallel x=%d \n\n",x);
```

Claúsulas de alcance de datos: Ejemplos: ejemplo_reduction.c



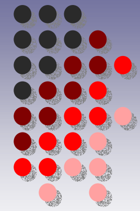
```
int x=1000; int iam =0, np = 1, i=0,j=0;
printf("\n Antes de pragma parallel x=%d \n\n",x);

#pragma omp parallel private(iam, np,i) reduction(+:x)
{  printf("Soy el thread %d, antes de actualizar, con x=%d
   \n",iam,x);
   x=iam*10;
   printf("\t\tSoy el thread %d, despues de actualizar, con x=%d
   \n",iam,x);
}//parallel

printf("\n Despues de pragma parallel x=%d \n\n",x);
```

Claúsulas de alcance de datos: Ejemplos: ejemplo_copyin.c



```
int x;
#pragma omp threadprivate(x)
int main()  {
   int iam =0, np = 1, i=0,j=0;
   x=9999; // lo ponemos en el master
   #pragma omp parallel private(iam, np,i) copyin(x)
   {
        printf("Soy el thread %d, antes de actualizar, con x=%d
        \n",iam,x);
        x=1000+iam;
        printf("\t\tSoy el thread %d, despues de que
    actualice, con x=%d \n",iam,x);
   }//parallel

   printf("\n Despues de pragma parallel x=%d \n\n",x);
}//main
```

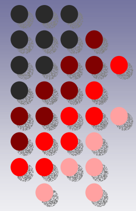
Funciones de librería



Poner al principio: `#include <omp.h>`

- `void omp_set_num_threads(int num_threads);`
  - Pone el número de threads a usar en la siguiente región paralela.
- `int omp_get_num_threads(void);`
  - Obtiene el número de threads que se están usando en una región paralela.
- `int omp_get_max_threads(void);`
  - Obtiene la máxima cantidad posible de threads.
- `int omp_get_thread_num(void);`
  - Devuelve el número del thread.
- `int omp_get_num_procs(void);`
  - Devuelve el máximo número de procesadores que se pueden asignar al programa.
- `int omp_in_parallel(void);`
  - Devuelve valor distinto de cero si se ejecuta dentro de una región paralela.

Funciones de librería

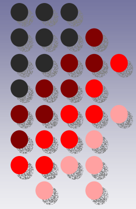


- `int omp_set_dynamic(void);`
  - Permite poner o quitar el que el número de threads se pueda ajustar dinámicamente en las regiones paralelas.
- `int omp_get_dynamic(void);`
  - Devuelve un valor distinto de cero si está permitido el ajuste dinámico del número de threads.
- `int omp_set_nested(int);`
  - Para permitir o desautorizar el paralelismo anidado.

→ **`ejemplo_nested.c`**

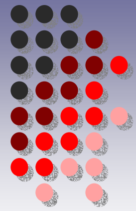
- `int omp_get_nested(void);`
  - Devuelve un valor distinto de cero si está permitido el paralelismo anidado.

Funciones de librería
ejemplo_nested.c



```
#pragma omp parallel private(iam, np,i)
{
    #if defined (_OPENMP)
            np = omp_get_num_threads();
            iam = omp_get_thread_num();
    #endif
    printf("Hello from thread %d out of %d \n",iam,np);
    omp_set_nested(1);
    #pragma omp parallel private(iam, np,i)
    {
        #if defined (_OPENMP)
            np = omp_get_num_threads();
            iam = omp_get_thread_num();
        #endif
        printf("\t\tHello from thread %d out of %d \n",iam,np);
  }//parallel
}//parallel
```

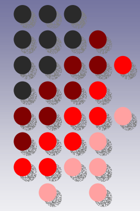
Funciones de librería



- `void omp_init_lock(omp_lock_t *lock);`
  - Para inicializar una llave. Una llave se inicializa como no bloqueada.
- `void omp_init_destroy(omp_lock_t *lock);`
  - Para destruir una llave.
- `void omp_set_lock(omp_lock_t *lock);`
  - Para pedir una llave.
- `void omp_unset_lock(omp_lock_t *lock);`
  - Para soltar una llave.
- `int omp_test_lock(omp_lock_t *lock);`
  - Intenta pedir una llave pero no se bloquea.

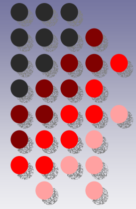
→ **`ejemplo_lock.c`**

Funciones de librería: ejemplo_lock.c



```
omp_init_lock(&lck);
#pragma omp parallel shared(lck) private(id)
{
   id=omp_get_thread_num();
   omp_set_lock(&lck);
    printf("My thread id is %d.\n",id);
   omp_unset_lock(&lck);

   while (! omp_test_lock(&lck))    {
   skip(id); }//while

   work(id);   //ahora tengo el lock, entonces hago el trabajo
   omp_unset_lock(&lck);
}//parallel
omp_destroy_lock(&lck);
```

Variables de entorno



`OMP_SCHEDULE`

- indica el tipo de scheduling para **for** y **parallel for**.

`OMP_NUM_THREADS`

- Pone el número de threads a usar, aunque se puede cambiar con la función de librería.

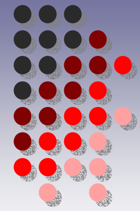
`OMP_DYNAMIC`

- Autoriza o desautoriza el ajuste dinámico del número de threads.

`OMP_NESTED`

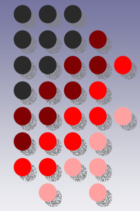
- Autoriza o desautoriza el anidamiento. Por defecto no está autorizado.

Ejemplos:
Busqueda en array



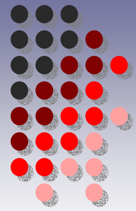
```
#pragma omp parallel private(i, id, p, load, begin, end)
{
    p = omp_get_num_threads();
    id = omp_get_thread_num();
    load = N/p;  begin = id*load; end = begin+load;
    for (i = begin; ((i<end) && keepon); i++)
    {
        if (a[i] == x)
          {
                keepon = 0;
               position = i;
        }
        #pragma omp  flush(keepon)
    }
}
```

Ejemplos:
Multiplicación matriz-vector



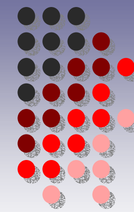
```
void mv(double *a, int fa,int ca,int lda,double *b,int fb,double
    *c,int fc)
{
  int i, j;  double s;
  #pragma omp parallel
  {
    #pragma omp for private(i,j,s) schedule(static,BLOQUE)
    for (i = 0; i < fa; i++)
    {
      s=0.;
      for(j=0;j<ca;j++)
        s+=a[i*lda+j]*b[j];
      c[i]=s;
    }
  }
}
```

Tareas en OpenMP 3.0



- Cambiar OpenMP de “thread-centric” a “task-centric”.
- Para expresar paralelismo **irregular** y no estructurado
- Para hacer paralelismo **anidado** de tareas sin que conlleve un estricto paralelismo anidado de threads con sus consecuentes barriers implicitos que puedan ser innecesarios.
- Para paralelizar bucles **while**. Por ejemplo recorrido de una lista de punteros de longitud no conocida
- **Tied task**: ligada a un thread fijo que la ejecutará. Puede tener pausas o hacer otra cosa, pero ese thread acabará la tarea
- **Untied task**: cualquier thread del team el scheduler le puede asignar una untied task que esté suspendida en ese momento

Tareas en OpenMP 3.0: Constructor task

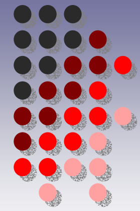


```
#pragma omp task [clause [[,]clause] ...]
   structured-block
```

Clauses:

```
if (scalar expression)
untied
default (shared |none)
private (list)
firstprivate (list)
shared (list)
```

Tareas en OpenMP 3.0:
Sincronización y Finalización de tareas



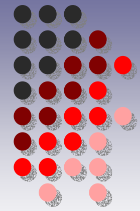
```
#pragma omp taskwait
```

- Tarea actual se suspende hasta finalización de sus tareas hijas
- Util para sincronización de tareas de grano fino

Un conjunto de tareas será forzada a completarse en alguno de estos casos:

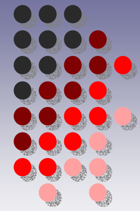
- En una barrier implícita de threads
- En una barrier explícita de threads (`#pragma omp barrier`)
- En una barrier de tareas (`#pragma omp taskwait`)

Tareas en OpenMP 3.0: Ejemplo: recorrido de lista (secuencial)



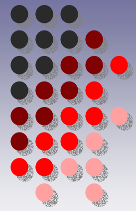
```
........
while(my_pointer)
{
    (void) do_independent_work (my_pointer);
    my_pointer = my_pointer->next ;
} // End of while loop
........
```

Tareas en OpenMP 3.0:
Ejemplo: recorrido de lista (paralelo)



```
my_pointer = listhead;
#pragma omp parallel
{
   #pragma omp single nowait
   {
        while(my_pointer)
        {
            #pragma omp task firstprivate(my_pointer)
            {
                (void) do_independent_work (my_pointer);
            }
            my_pointer = my_pointer->next ;
        }
   } // End of single - no implied barrier (nowait)
} // End of parallel region - implied barrier
```

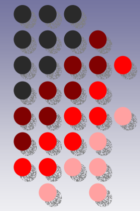
Tareas en OpenMP 3.0:
Ejemplo: Fibonacci



F(0) = 1
F(1) = 1
F(n) = F(n-1) + F(n-2) (para n=2,3,…)

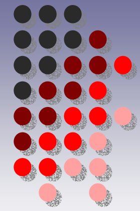
Secuencia valores resultado:
1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, …

Tareas en OpenMP 3.0: Ejemplo: Fibonacci (secuencial recursivo)



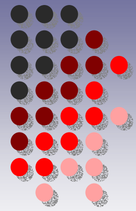
```
long comp_fib_numbers(int n)
{
   // Basic algorithm: f(n) = f(n-1) + f(n-2)
   long fnm1, fnm2, fn;
   if ( n == 0 || n == 1 )
        return(n);

   fnm1 = comp_fib_numbers(n-1);
   fnm2 = comp_fib_numbers(n-2);
   fn = fnm1 + fnm2;
   return(fn);
}
```

Tareas en OpenMP 3.0:
Ejemplo: Fibonacci (paralelo)



```
long comp_fib_numbers(int n)
{
   long fnm1, fnm2, fn;
   if ( n == 0 || n == 1 )
        return(1);

   #pragma omp task shared(fnm1)
        {fnm1 = comp_fib_numbers(n-1);}

   #pragma omp task shared(fnm2)
        {fnm2 = comp_fib_numbers(n-2);}

   #pragma omp taskwait
   fn = fnm1 + fnm2;
   return(fn);
}
```

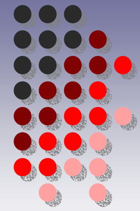
Tareas en OpenMP 3.0:
Ejemplo: Fibonacci (paralelo)



```
long comp_fib_numbers(int n)
{
   long fnm1,
   if ( n == (
        return
   #pragma omp
        {fnm1
   #pragma omp
        {fnm2
   #pragma omp taskwait
   fn = fnm1 + fnm2;
   return(fn);
}
```

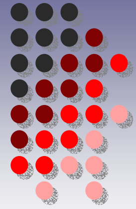
```
#pragma omp parallel shared(nthreads)
{
        #pragma omp single nowait
        {
                result = comp_fib_numbers(n);
        } // End of single
} // End of parallel region
```

Tareas en OpenMP 3.0:
Ejemplo: Fibonacci (paralelo, versión 2)



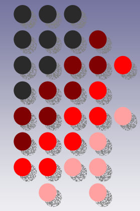
```
long comp_fib_numbers(int n)
{
   long fnm1, fnm2, fn;
   if ( n == 0 || n == 1 ) return(1);
   if ( n<20 ) return(comp_fib_numbers(n-1) +comp_fib_numbers(n-
   2));
   #pragma omp task shared(fnm1)
        {fnm1 = comp_fib_numbers(n-1);}
   #pragma omp task shared(fnm2)
        {fnm2 = comp_fib_numbers(n-2);}
   #pragma omp taskwait
   fn = fnm1 + fnm2;
   return(fn);
}
```

Tareas en OpenMP 3.0: Ejemplo: Fibonacci. Probando…



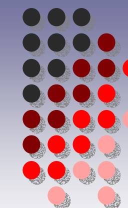
```
  . iccStart

icc_compilar ejemplo_fibo

ejemplo_fibo
```

Tareas en OpenMP 3.0: Ejemplo: Recorrido de árbol en preorden



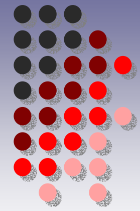
```
void traverse(bynarytree *p)
{
   process(p);
   if (p->left)
   {
        #pragma omp task
            traverse(p->left);
   }
   if (p->right)
   {
        #pragma omp task
            traverse(p->right);
   }
}
```

Tareas en OpenMP 3.0:
Ejemplo: Recorrido de árbol en postorden



```
void traverse(bynarytree *p)
{
    if (p->left)
    {
            #pragma omp task
                traverse(p->left);
    }
    if (p->right)
    {
            #pragma omp task
                traverse(p->right);
    }

    #pragma omp taskwait
    process(p);

}
```

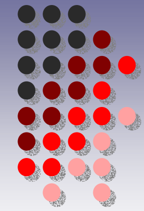
Tareas en OpenMP 3.0: threads y tareas



Por defecto: tarea *t* está ligada a un thread *h* (**tied task**):

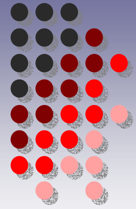
- El thread *h* ejecuta código de *t* desde principio al final
- La ejecución puede no ser contigua:
  - En los *task scheduling points* el thread *h* puede dedicarse a realizar otra tarea
  - *Task scheduling points*:
    - Pragma `task` → tareas anidadas
    - Pragma `taskwait`
    - Barreras explícitas o implícitas
    - Finalización de tarea
- Valor de *threadprivate* variables pueden cambiar (por obra de otra tarea ejecutada por el thread *h*)

Tareas en OpenMP 3.0: threads y tareas



```
int tp;
#pragma omp threadprivate(tp)
int var;
void work()
{
   #pragma omp task        // tarea 1
   {
    /* do work here */
    #pragma omp task       //tarea 1.1. Tarea 1 puede ser suspendida
    {
        tp = 1;
        /* do work here */
        #pragma omp task   //tarea 1.1.1. -> posible cambio a tarea
   1
        {
            /* no modification of tp */
        }
        var = tp; //value of tp can be 1 or 2
    }
    tp = 2;
   }
```

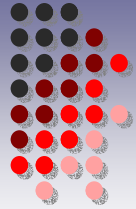
Tareas en OpenMP 3.0: threads y tareas



Si la tarea ***t*** **no** está ligada a un thread ***h*** (**untied task**):

- El thread ***h*** inicia la ejecución código de ***t***
- Otro thread distinto puede continuar la ejecución de *t* en cualquier momento
- Mismas restricciones con variables *threadprivates* que en *tied task*
- Evitar cualquier referencia ligada al identificador del thread

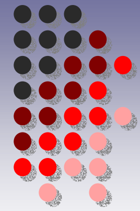
Ejercicios



0.- Probar los distintos ejemplos de programas. Razonar su comportamiento.

```
Conectarse a luna.inf.um.es
    ssh luna.inf.um.es
    usuario    XXXX
    clave      YYYY
    PATH=$PATH:.

Para obtener los programas de ejemplo:
    cp /home/javiercm/ejemplos_openmp/*.c .

Para compilar en luna.inf.um.es el programa ejemplo_hello.c:
    gcc-4.3 -o ejemplo_hello ejemplo_hello.c  -O3 -lm -fopenmp

Para ejecutarlo con 4 threads:
    export OMP_NUM_THREADS=4
    ejemplo_hello
```

Ejercicios



1.- En `ejemplo_for.c`: probar distintos schedules: estático vs. dinámico, sin tamaño vs. con tamaño=2. Ejecutar y razonar comportamientos.

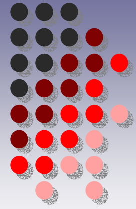
2.- En `ejemplo_sections.c`: Agrupar las directivas parallel y sections en una única.

3.- Compara y razona el comportamiento de `ejemplo_sections.c` vs. `ejemplo_single.c`.

4.- Compara y razona el comportamiento de `ejemplo_sections.c` vs. `ejemplo_critical.c`.

5.- A partir del ejemplo de multiplicación matriz-vector `ejemplo_mv.c`: diseña un programa para multiplicar dos matrices AxB=C, donde cada thread se encargue de calcular un bloque de filas consecutivas de elementos de C.

Ejercicios



6.- Diseñar, programar y probar un programa de recorrido recursivo de un árbol, usando tareas de OpenMP 3.0. Mostrar qué thread se encarga de procesar cada nodo.

```
. iccStart

icc_compilar ejemplo_recorrido_Arbol

ejemplo_recorrido_arbol
```