

2º curso / 2º cuatr.

Grado en  
Ing. Informática

# Arquitectura de Computadores

## Seminario 0. Entorno de programación: atcgrid y gestor TORQUE

Material elaborado por los profesores responsables de la asignatura:

Mancia Anguita – Julio Ortega

*Licencia Creative Commons*



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



# Contenidos

- Cluster de prácticas (atcgrid)
- Sistema de colas TORQUE
- Ejemplo hello OpenOMP en atcgrid usando TORQUE

# Contenidos

- Cluster de prácticas (atcgrid)
  - Componentes
  - Placa madre
  - Chip de procesamiento (procesador)
  - Acceso
- Sistema de colas TORQUE
- Ejemplo hello OpenOMP en atcgrid usando TORQUE

# Cluster de prácticas (atcgrid): componentes



**Switch: SMC8508T**

[http://www.smc.com/index.cfm?event=viewProduct&localeCode=EN\\_USA&cid=6&scid=24&pid=1147](http://www.smc.com/index.cfm?event=viewProduct&localeCode=EN_USA&cid=6&scid=24&pid=1147)



**Nodos de cómputo (tres): Servidores rack**  
**SuperMicro SuperServer 6016T-T**

<http://www.supermicro.com/products/system/1U/6016/SYS-6016T-T.cfm>

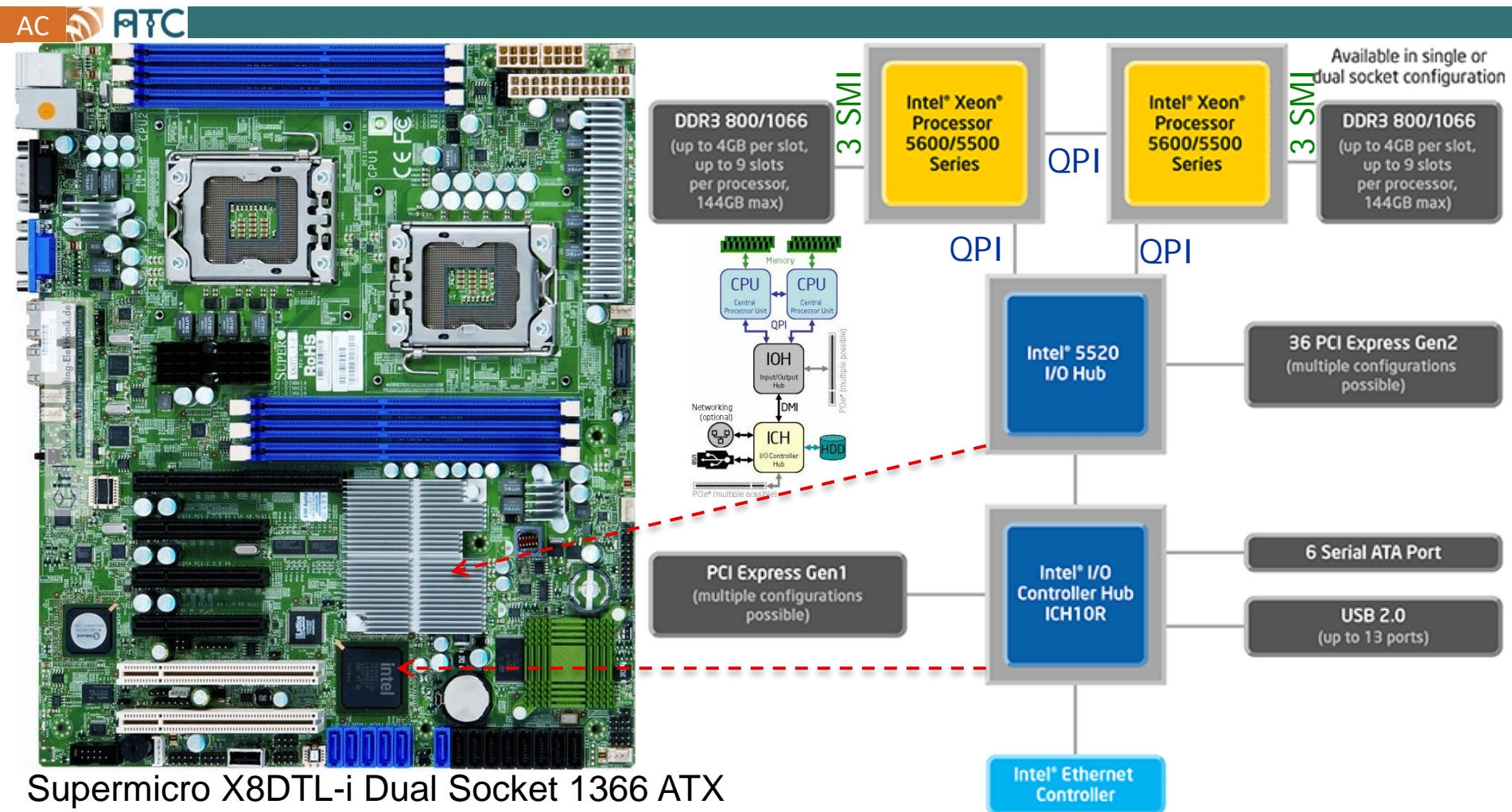


**Cables**



**Nodo front-end**  
**(host, master)**

# Cluster de prácticas (atcgrid): placa madre



Supermicro X8DTL-i Dual Socket 1366 ATX

Server Mainboard Intel 5520 chipset

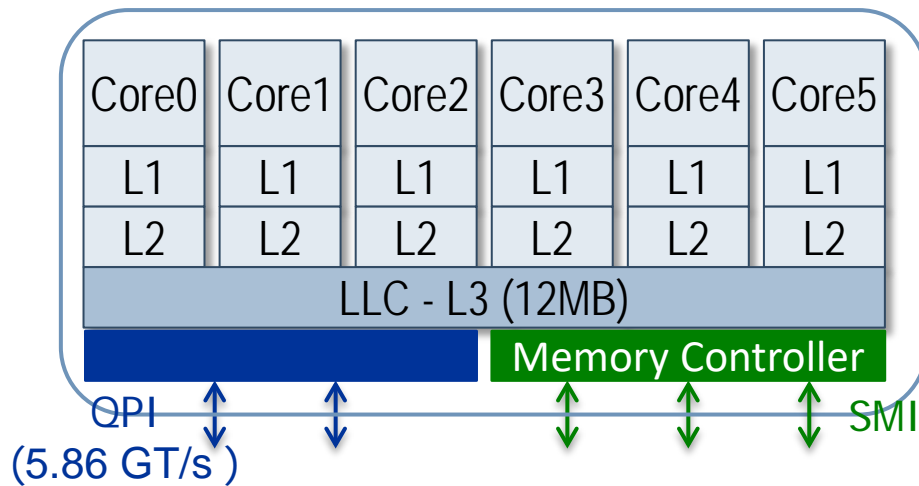
<http://www.supermicro.com/products/motherboard/QPI/5500/X8DTL-i.cfm>

Intel® 5520 Chipset

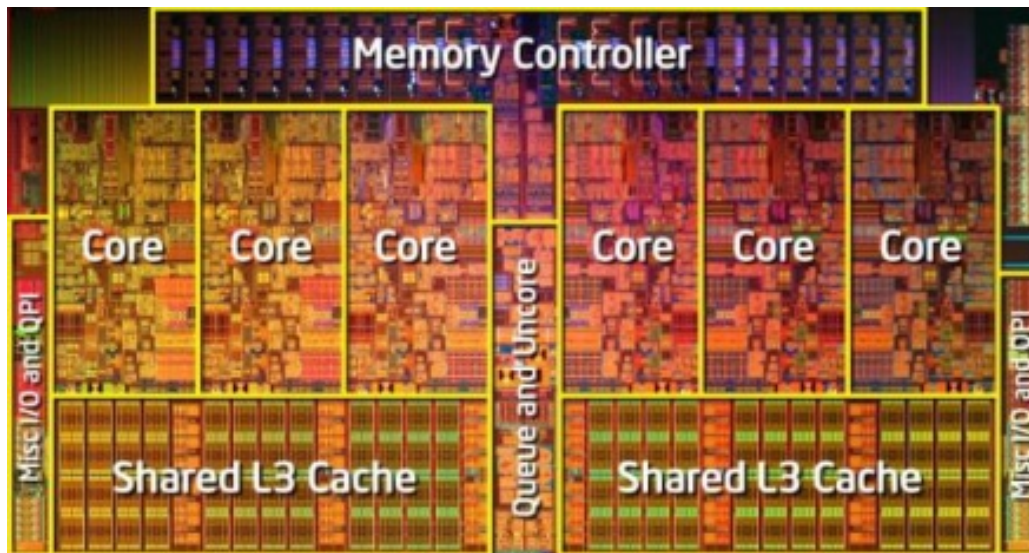
[http://www.intel.com/p/en\\_US/embedded/hwsw/hardware/xeon-5600-5500/overview](http://www.intel.com/p/en_US/embedded/hwsw/hardware/xeon-5600-5500/overview)



# Cluster de prácticas (atcgrid): chip de procesamiento

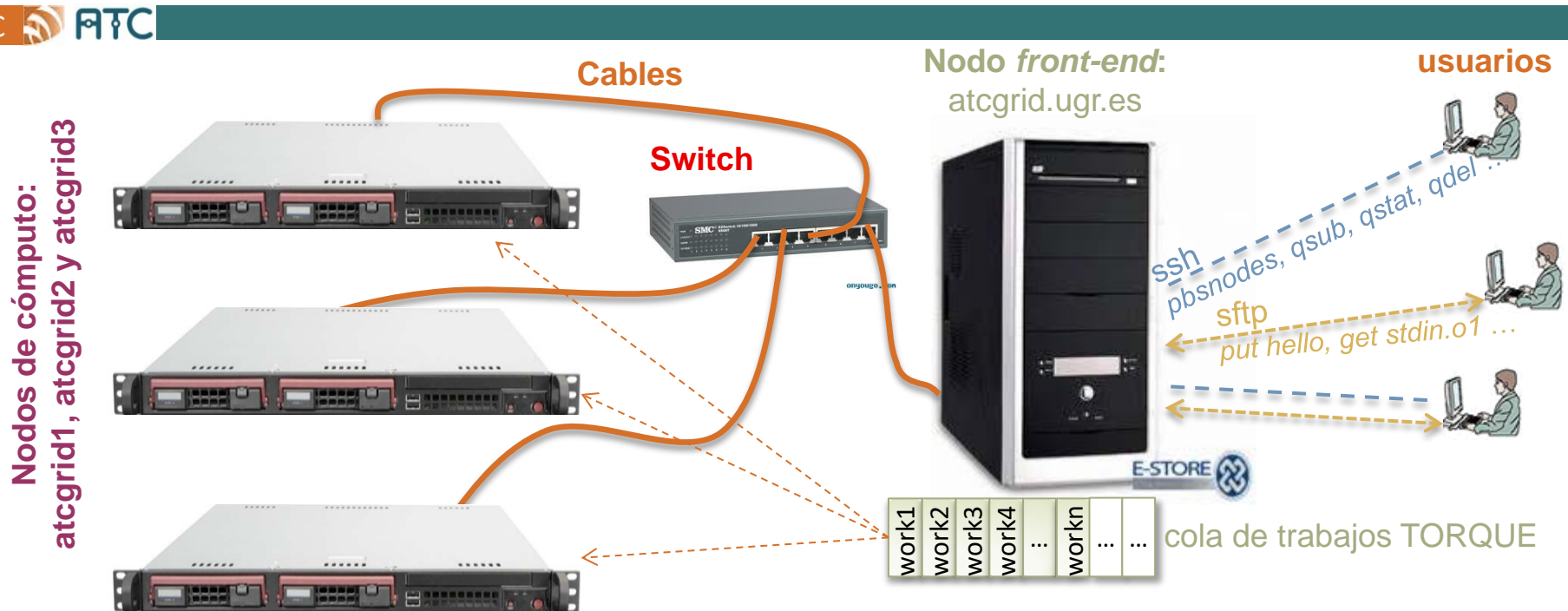


6 cores  
hyperthreading  
2.4 GHz (12  
threads)



Intel Xeon E5645 (6 cores/12 threads, 12M L3 Cache compartida, 2.40 GHz cada core, 5.86 GT/s Intel® QPI)  
[http://ark.intel.com/products/48768?wapkw=\(E5645\)](http://ark.intel.com/products/48768?wapkw=(E5645))

# Cluster de prácticas (atcgrid): acceso



- Cada **usuario** tiene un home en el nodo **front-end** de atcgrid al que accederá:
  - Para ejecutar comandos (`pbsnodes, qsub, qstat, qdel ...`), con un cliente **ssh** (*secure shell*):
    - Linux: `ssh username@atcgrid.ugr.es` (pide *password* del usuario “username”)
  - Para cargar y descargar ficheros (`put hello, get stdin.o1, ...`), con un cliente **sftp** (*secure file transfer protocol*)
    - Linux: `sftp username@atcgrid.ugr.es` (pide *password* del usuario “username”)

# Contenidos

- Cluster de prácticas (atcgrid)
- Sistema de colas TORQUE
  - ¿Qué es TORQUE?
  - Ejemplo con comandos TORQUE
- Ejemplo hello OpenOMP en atcgrid usando TORQUE



# ¿Qué es TORQUE?

- Es un **gestor de colas y de recursos distribuidos** basado en PBS (*Portable Batch System*)
- TORQUE: *Terascale Open-source Resource and QUEue manager*
- Comandos TORQUE que se usarán en prácticas
  - pbsnodes: información de nodos PBS
  - qsub: enviar un trabajo a ejecutar. Devuelve dos ficheros:
    - Salida del programa (*stdout*): en un fichero con extensión que comienza por “.o”
    - Errores (*stderr*): en un fichero con extensión que comienza por “.e”
  - qstat: chequear el estado de los trabajos
  - qdel: eliminar un trabajo
- Otros comandos:
  - <http://docs.adaptivecomputing.com/torque/4-1-3/help.htm#topics/12-appendices/commandsOverview.htm>

# Ejemplos con comandos TORQUE/PBS

➤ Se ejecutarán en el *front-end* con conexión **ssh**

| Ejemplo  | Explicación   |
|--|---|
| <code>echo 'hello'   qsub -q ac</code><br><code>echo './hello'   qsub -q ac</code> | Envía a ejecutar el trabajo, formado por el ejecutable “hello” (situado en el home del usuario), por la cola “ac”.  |
| <code>qsub script.sh -q ac</code>  | Envía a ejecutar el trabajo, formado por el <i>script</i> “script.sh”, por la cola “ac”   |
| <code>echo 'lscpu'   qsub -q ac</code>   | Envía a ejecutar el comando “lscpu” a través de la cola “ac”. Devuelve en el fichero de salida la información de la CPU del nodo al que se ha enviado el trabajo. |
| <code>qstat</code>   | Muestra todos los trabajos que se están ejecutando y los que están encolados en todas las colas   |
| <code>qstat -n -u username</code>  | Muestra todos los trabajos del usuario “username” y los nodos asignados a cada trabajo (-n)   |
| <code>qdel jobid</code>  | Elimina el trabajo con identificador “jobid”  |
| <code>pbsnodes [-a]</code>   | Lista los atributos de todos los nodos  |

# Contenidos

- Cluster de prácticas (atcgrid)
- Sistema de colas TORQUE
- Ejemplo hello OpenOMP en atcgrid usando TORQUE
  - Ejemplo hello OpenMP
  - Protagonistas de la ejecución
  - Ejecución de hello en atcgrid sin *script*
  - Ejecución de hello en atcgrid con *script*

# Ejemplo hello OpenMP

## HelloOMP.c

- Cada *thread* imprime su identificador
- El identificador se obtiene con la función OpenMP `omp_get_thread_num( )`

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>

int main(void) {

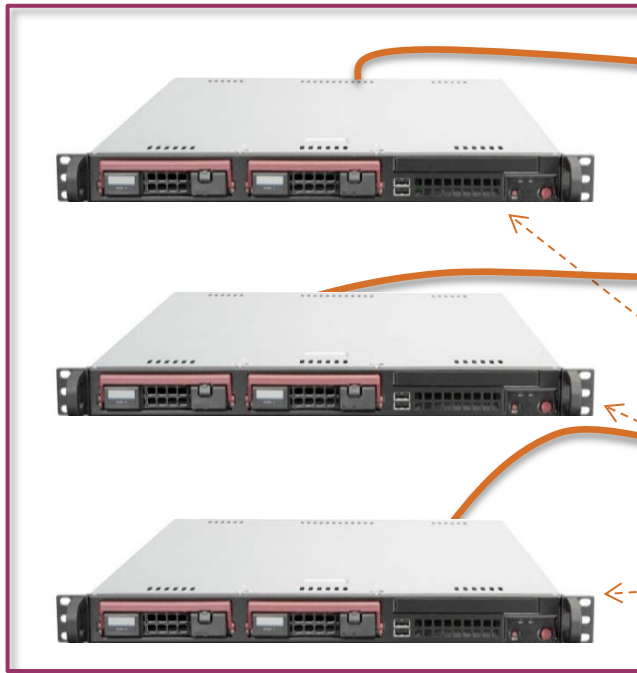
#pragma omp parallel
    printf("(%d:!!!Hello world!!!)",
           omp_get_thread_num());

return(0);

}
```

# Protagonistas de la ejecución

**Nodos de cómputo:**  
**atcgrid1, atcgrid2 y atcgrid3**  
(servidores PBS/TORQUE)



**Nodo front-end**  
(cliente PBS/TORQUE)  
(servidor ssh y sftp)



**PC local**  
(cliente ssh y sftp)



work1  
work2  
work3  
work4  
...  
workn  
...  
...

cola de trabajos TORQUE "ac"



# Contenidos

- Cluster de prácticas (atcgrid)
- Sistema de colas TORQUE
- Ejemplo hello OpenOMP en atcgrid usando TORQUE
  - Ejemplo hello OpenMP
  - Protagonistas de la ejecución
- ➔ Ejecución de hello en atcgrid sin *script*
  - Paso 1: Conectar con `ssh` y `sftp` al *front-end* desde PC local
  - Paso 2: Generar el ejecutable en PC local y transferirlo al *front-end*
  - Paso 3: Encolar el ejecutable en la cola “ac” para su ejecución en los servidores
  - Paso 4: Copiar el fichero con resultados desde el *front-end* al PC local
  - Paso 5: Visualizar el fichero de salida en PC local
  - Paso 6: Eliminar el fichero de salida y el de error en *front-end*
- Ejecución de hello en atcgrid con *script*

# Paso 1: Conectar con `ssh` y `sftp` al *front-end* desde PC local

## Ventana `ssh`

```
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda  1
$ ssh mancia@atcgrid.ugr.es
mancia@atcgrid.ugr.es's password:
Last login: Wed Feb 22 13:49:49 2012 from e
[mancia@atcgrid ~]$ mkdir hello
[mancia@atcgrid ~]$ cd hello
[mancia@atcgrid hello]$ █
```

- 1 (conexión `ssh`):
  - Ejecuta en un terminal `ssh` (introduce password)
  - Crea directorio 'hello' con `mkdir`
  - Pasa al directorio 'hello' con `cd`

## Ventana `sftp`

```
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda  2
$ sftp mancia@atcgrid.ugr.es
Connecting to atcgrid.ugr.es...
mancia@atcgrid.ugr.es's password:
sftp> cd hello
sftp> █
```

- 2 (conexión `sftp`):
  - Ejecuta en otro terminal `sftp` (introduce password)
  - Pasa al directorio 'hello' con `cd`

# Paso 2: Generar el ejecutable en PC local y transferirlo al *front-end*

- 3 (genera ejecutable en PC local):
  - Lista contenido directorio con `ls`
  - Genera ejecutable con `gcc` y lo ejecuta

## Ventana ssh

```
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda 5
[mancia@atcgrid hello]$ ls
HelloOMP
```

## Ventana sftp

```
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda 4
sftp> ll
helloomp  pi
sftp> lcd helloomp
sftp> ll
HelloOMP  HelloOMP.c
sftp> put HelloOMP
Uploading HelloOMP to /home/mancia/hello/HelloOMP
HelloOMP      100% 8696      8.5KB/s   00:00
sftp> ls
HelloOMP
```

## Ventana comandos PC local

```
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda 3
$ ls
HelloOMP.c
$ gcc -fopenmp -O2 -o HelloOMP HelloOMP.c
$ ls
HelloOMP  HelloOMP.c
$ ./HelloOMP
(1:!!!Hello World!!!)(0:!!!Hello World!!!)$
```

- 4 (trasferencia de PC local a *front-end*):
  - Lista con `lls` el directorio actual en PC local y cambia de directorio con `lcd` en PC local
  - Transfiere con `put` el ejecutable generado en 3 de PC local a *front-end*
  - Lista con `ls` el directorio actual en *front-end*

# Paso 3: Encolar el ejecutable en la cola ac para su ejecución en los servidores

AC ATC

Ventana ssh

```
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda  6
```

```
[mancia@atcgrid hello]$ ls
HelloOMP
[mancia@atcgrid hello]$ echo 'hello/HelloOMP' | qsub -q ac
195.atcgrid
[mancia@atcgrid hello]$ qstat
```

| Job id      | Name  | User   | Time Use | S | Queue |
|-------------|-------|--------|----------|---|-------|
| 195.atcgrid | STDIN | mancia | 00:00:00 | C | ac    |

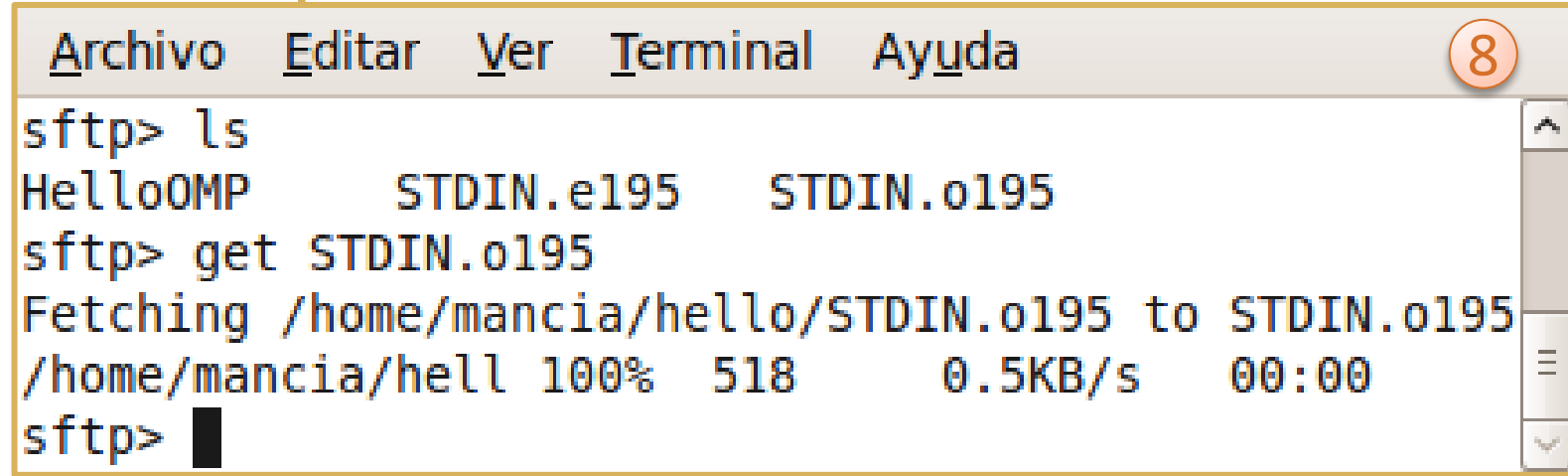
```
[mancia@atcgrid hello]$ ls -lag
total 32
drwxrwxr-x  2 mancia  4096 feb 22 18:21 .
drwx-----  6 mancia 12288 feb 22 13:53 ..
-rwxr-xr-x  1 mancia  8696 feb 22 13:56 HelloOMP
-rw-----  1 mancia    0 feb 22 18:20 STDIN.e195
-rw-----  1 mancia  518 feb 22 18:20 STDIN.o195
```

ficheros con la respuesta de qsub: ".o" (output) y ".e" (errors)

- 6 (ejecución del ejecutable HelloOMP en los servidores):
  - Usa `qsub` para enviar a ejecutar "HelloOMP" a los servidores a través de la cola "ac"
  - Usa `qstat` para ver el estado del trabajo enviado a ejecución (id.: 195.atcgrid)
  - Lista con `ls` el contenido del directorio actual antes y después de la ejecución

# Paso 4: Copiar el fichero con resultados desde el *front-end* al PC local

## Ventana sftp

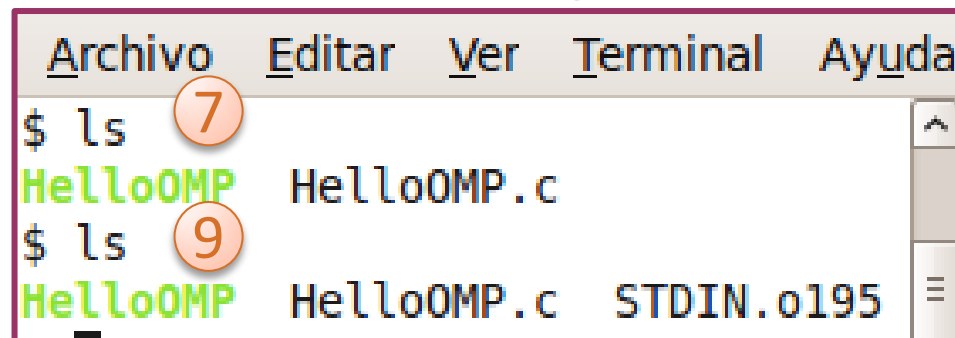


The screenshot shows the sftp window with a menu bar (Archivo, Editar, Ver, Terminal, Ayuda) and a toolbar with a circled '8'. The terminal content is as follows:

```
sftp> ls
HelloOMP      STDIN.e195    STDIN.o195
sftp> get STDIN.o195
Fetching /home/mancia/hello/STDIN.o195 to STDIN.o195
/home/mancia/hell 100% 518      0.5KB/s   00:00
sftp> █
```

- 8 (trasferencia de resultados de *front-end* a PC local):
  - Transfiere con `get` el fichero con la salida de la ejecución (STDIN.o195) de *front-end* a PC local

## Ventana comandos PC local



The screenshot shows the PC local command window with a menu bar (Archivo, Editar, Ver, Terminal, Ayuda). The terminal content is as follows:

```
$ ls
HelloOMP  HelloOMP.c
$ ls
HelloOMP  HelloOMP.c  STDIN.o195
```

Annotations: A circled '7' is next to the first `$ ls` command, and a circled '9' is next to the second `$ ls` command.

- 7: lista el directorio actual en PC local antes de ejecutar `get` en la ventana de `sftp`
- 9: lista el directorio actual en PC local después de ejecutar `get` en la ventana de `sftp`



# Paso 5: Visualizar el fichero de salida en PC local

## Ventana comandos PC local

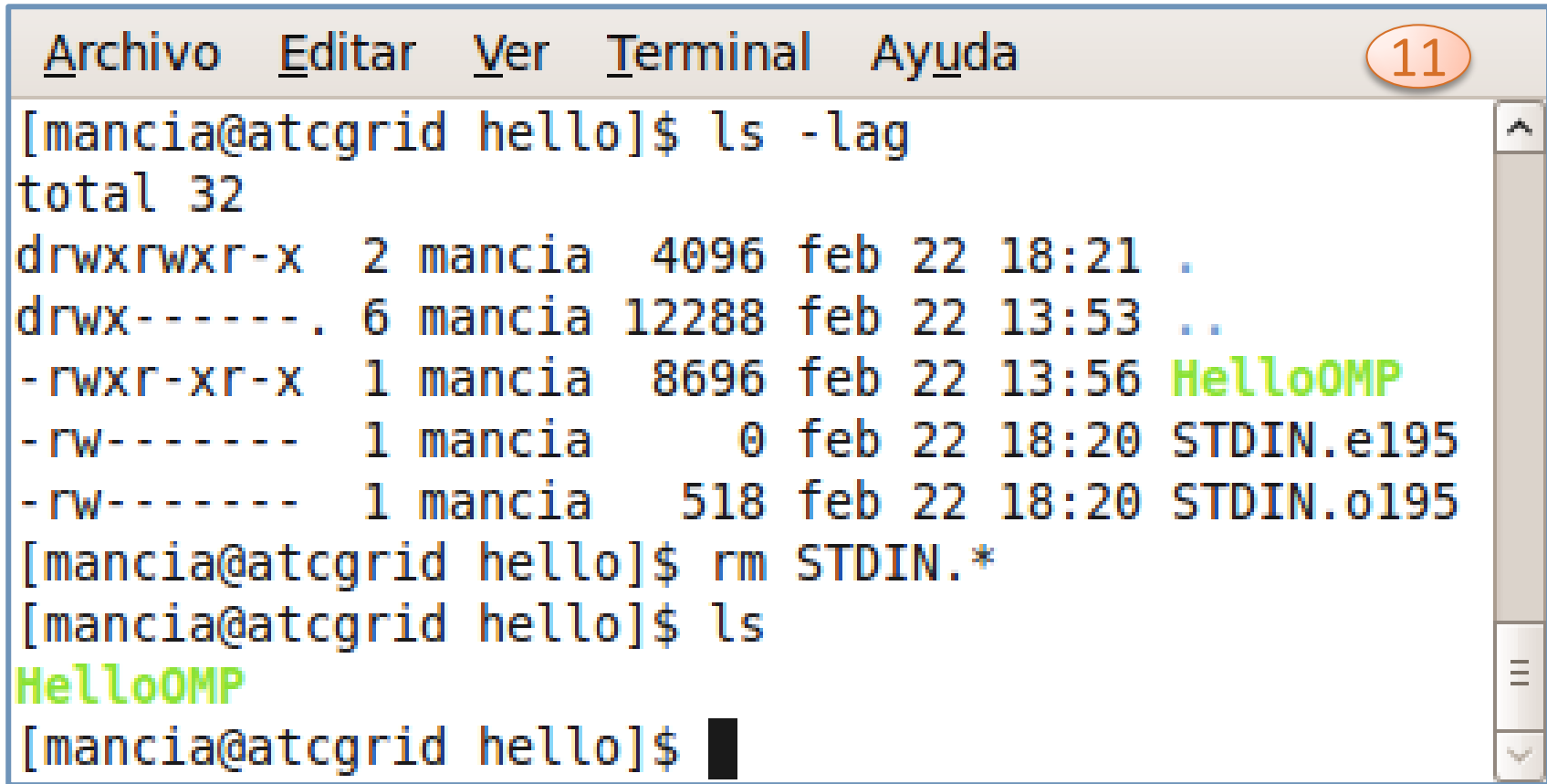


```
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda
$ ls
HelloOMP  HelloOMP.c  STDIN.o195
$ cat STDIN.o195
(20:!!!Hello World!!!)(2:!!!Hello World!!!)(18:!!!Hello World!!!)(17:!!!Hello World!!!)(7:!!!Hello World!!!)(11:!!!Hello World!!!)(9:!!!Hello World!!!)(19:!!!Hello World!!!)(21:!!!Hello World!!!)(4:!!!Hello World!!!)(10:!!!Hello World!!!)(6:!!!Hello World!!!)(16:!!!Hello World!!!)(22:!!!Hello World!!!)(15:!!!Hello World!!!)(13:!!!Hello World!!!)(0:!!!Hello World!!!)(12:!!!Hello World!!!)(1:!!!Hello World!!!)(8:!!!Hello World!!!)(23:!!!Hello World!!!)(3:!!!Hello World!!!)(5:!!!Hello World!!!)(14:!!!Hello World!!!)$
$ ./HelloOMP
(0:!!!Hello World!!!)(1:!!!Hello World!!!)$
```

- 10 (visualización en PC local del contenido del fichero de salida):
  - Visualiza en PC local con `cat` el fichero con la salida de la ejecución (STDIN.o195) que se transfirió previamente desde *front-end* a PC local
  - Ejecuta en PC local “HelloOMP” para comparar la salida de PC local y atcgrid

# Paso 6: Eliminar el fichero de salida y el de error en *front-end*

## Ventana ssh



```
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda  11
[mancia@atcgrid hello]$ ls -lag
total 32
drwxrwxr-x  2 mancia  4096 feb 22 18:21 .
drwx----- 6 mancia 12288 feb 22 13:53 ..
-rwxr-xr-x  1 mancia  8696 feb 22 13:56 HelloOMP
-rw-----  1 mancia    0 feb 22 18:20 STDIN.e195
-rw-----  1 mancia   518 feb 22 18:20 STDIN.o195
[mancia@atcgrid hello]$ rm STDIN.*
[mancia@atcgrid hello]$ ls
HelloOMP
[mancia@atcgrid hello]$
```

- 11 (borrado de ficheros devueltos por `qsub` en *front-end*):
  - Elimina en *front-end* con `rm` los dos ficheros generados por el comando `qsub` (el fichero de salida `STDIN.o195` y el fichero de error `STDIN.e195`)

# Contenidos

- Cluster de prácticas (atcgrid)
- Sistema de colas TORQUE
- Ejemplo hello OpenOMP en atcgrid usando TORQUE
  - Ejemplo hello OpenMP
  - Protagonistas de la ejecución
  - Ejecución de hello en atcgrid sin *script*
  - ➔ Ejecución de hello en atcgrid con *script*
    - *Script* para la ejecución del ejemplo HelloOMP en atcgrid
    - Paso 1: Tráferencia del *script* desde PC local al *front-end* usando `sftp`
    - Paso 2: Ejecución del *script* en los servidores del cluster con TORQUE
    - Paso 3: Tráferencia del fichero de salida desde *front-end* a PC local usando `sftp`
    - Paso 4: Visualización en PC local del contenido del fichero de salida

# Script para la ejecución del ejemplo HelloOMP en atcgrid

## script\_helloomp.sh

```
#!/bin/bash
#Se asigna al trabajo el nombre helloomp
#PBS -N helloomp
#Se asigna al trabajo la cola ac
#PBS -q ac
#Se imprime información del trabajo usando variables de entorno de PBS
echo "Id. usuario del trabajo: $PBS_O_LOGNAME"
echo "Id. del trabajo: $PBS_JOBID"
echo "Nombre del trabajo especificado por usuario: $PBS_JOBNAME"
echo "Nodo que ejecuta qsub: $PBS_O_HOST"
echo "Cola: $PBS_QUEUE"
echo "Nodos asignados al trabajo:"
cat $PBS_NODEFILE

#Se fija a 12 el nº de threads máximo (tantos como cores en un nodo)
export OMP_THREAD_LIMIT=12
echo "Nº de threads inicial: $OMP_THREAD_LIMIT"
#Se ejecuta HelloOMP, que está en el directorio en el que se ha ejecutado qsub
for ((P=OMP_THREAD_LIMIT;P>0;P=P/2))
do
    export OMP_NUM_THREADS=$P
    echo -e "\nPara $OMP_NUM_THREADS threads:"
    $PBS_O_WORKDIR/HelloOMP
done
```

Para imprimir  
variables de  
entorno PBS  
Órdenes  
para PBS

Instrucciones del  
script

# Paso 1: Traslado del *script* desde PC local al *front-end* usando `sftp`

```
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda  1  Ventana sftp
sftp> ls
HelloOMP
sftp> ll
HelloOMP  HelloOMP.c  script_helloomp.sh  STDIN.o195
sftp> put script_helloomp.sh
Uploading script_helloomp.sh to /home/mancia/hello/script_helloomp.sh
script_helloomp.sh          100% 825    0.8KB/s   00:00
sftp> ls
HelloOMP          script_helloomp.sh
```



# Paso 2: Ejecución del *script* en los servidores del cluster con TORQUE

Archivo Editar Ver Terminal Ayuda 2 Ventana ssh

```
[mancia@atcgrid hello]$ qstat
[mancia@atcgrid hello]$ ls
HelloOMP
[mancia@atcgrid hello]$ ls
HelloOMP script_helloomp.sh
[mancia@atcgrid hello]$ qsub script_helloomp.sh
200.atcgrid
[mancia@atcgrid hello]$ qstat
```

| Job id      | Name     | User   | Time Use | S | Queue |
|-------------|----------|--------|----------|---|-------|
| 200.atcgrid | helloomp | mancia | 00:00:00 | C | ac    |

```
[mancia@atcgrid hello]$ ls -lag
total 36
drwxrwxr-x  2 mancia  4096 feb 22 19:46 .
drwx-----  6 mancia 12288 feb 22 13:53 ..
-rwxr-xr-x  1 mancia  8696 feb 22 13:56 HelloOMP
-rw-----  1 mancia    0 feb 22 19:45 helloomp.e200
-rw-----  1 mancia   753 feb 22 19:45 helloomp.o200
-rw-r--r--  1 mancia   825 feb 22 19:46 script_helloomp.sh
[mancia@atcgrid hello]$
```

# Paso 3: Traslado del fichero de salida desde *front-end* a PC local usando `sftp`

```
Archivo  Editar  Ver  Terminal  Ayuda  Ventana sftp
sftp> ls
HelloOMP
sftp> ll
HelloOMP  HelloOMP.c  script_helloomp.sh  STDIN.o195
sftp> put script_helloomp.sh
Uploading script_helloomp.sh to /home/mancia/hello/script_helloomp.sh
script_helloomp.sh          100% 825      0.8KB/s   00:00
sftp> ls
HelloOMP  ----- script_helloomp.sh -----
sftp> ls
HelloOMP          helloomp.e200          helloomp.o200
script_helloomp.sh
sftp> get helloomp.o200
Fetching /home/mancia/hello/helloomp.o200 to helloomp.o200
/home/mancia/hello/helloomp.o200  100% 753      0.7KB/s   00:00
sftp> 
```

3

# Paso 4: Visualización en PC local del contenido del fichero de salida

```
$ ls
HelloOMP HelloOMP.c helloomp.o200 script_helloomp.sh STDIN.o195
$ cat helloomp.o200
Id. usuario del trabajo: mancia
Id. del trabajo: 200.atcgrid
Nombre del trabajo especificado por usuario: helloomp
Nodo que ejecuta qsub: atcgrid
Cola: ac
Nodos asignados al trabajo:
atcgrid1
Nº de threads inicial: 12

Para 12 threads:
(6:!!!Hello World!!!)(4:!!!Hello World!!!)(8:!!!Hello World!!!)(11:!!!Hello World!!!)
(0:!!!Hello World!!!)(5:!!!Hello World!!!)(1:!!!Hello World!!!)(9:!!!Hello World!!!)(
2:!!!Hello World!!!)(3:!!!Hello World!!!)(7:!!!Hello World!!!)(10:!!!Hello World!!!)
Para 6 threads:
(1:!!!Hello World!!!)(3:!!!Hello World!!!)(5:!!!Hello World!!!)(4:!!!Hello World!!!)(
2:!!!Hello World!!!)(0:!!!Hello World!!!)
Para 3 threads:
(1:!!!Hello World!!!)(0:!!!Hello World!!!)(2:!!!Hello World!!!)
Para 1 threads:
(0:!!!Hello World!!!)$
```