

Sistemas Concurrentes y Distribuidos.  
**Seminario 3. Introducción al paso de mensajes  
con MPI.**

Dpt. Lenguajes y Sistemas Informáticos  
ETSI Informática y de Telecomunicación  
Universidad de Granada

Curso 15-16

# Índice

## Sistemas Concurrentes y Distribuidos.

### Seminario 3. Introducción al paso de mensajes con MPI.

---

- 1 Message Passing Interface (MPI)
- 2 Compilación y ejecución de programas MPI
- 3 Funciones MPI básicas
- 4 Paso de mensajes síncrono en MPI
- 5 Comunicación insegura

# Introducción

- El objetivo de esta práctica es familiarizar al alumno con el uso de la interfaz de paso de mensajes MPI y la implementación OpenMPI de esta interfaz.
- Se indicarán los pasos necesarios para compilar y ejecutar programas usando OpenMPI.
- Se presentarán las principales características de MPI y algunas funciones básicas de comunicación entre procesos.

## Enlaces para acceder a información complementaria

- Web oficial de OpenMPI.
- Instalación de OpenMPI en Linux.
- Ayuda para las funciones de MPI.
- Tutorial de MPI.

## Sección 1

# Message Passing Interface (MPI)

---

## ¿Qué es MPI?

- ▶ MPI es un estándar de programación paralela mediante paso de mensajes que permite crear programas portables y eficientes.
- ▶ Proporciona un conjunto de funciones que pueden ser utilizadas en programas escritos en C, C++, Fortran y Ada.
- ▶ MPI-2 contiene más de 150 funciones para paso de mensajes y operaciones complementarias (con numerosos parámetros y variantes).
- ▶ Muchos programas paralelos se pueden construir usando un conjunto reducido de dichas funciones (hay 6 funciones básicas).

# Modelo de Programación en MPI

- El esquema de funcionamiento implica un número fijo de procesos que se comunican mediante llamadas a funciones de envío y recepción de mensajes.
- Se sigue como modelo básico el estilo SPMD (Single Program Multiple Data), en el que todos los procesos ejecutan un mismo programa.
- También se permite seguir un modelo MPMD (Multiple Program Multiple Data), en el que cada proceso puede ejecutar un programa diferente.
- La creación e inicialización de procesos no está definida en el estándar, depende de la implementación. En OpenMPI sería algo así:
  - `$ mpirun -np 4 -machinefile maquinas prog1`
  - Comienza 4 copias del ejecutable `prog1`.
  - El archivo `maquinas` define la asignación de procesos a máquinas.

# Aspectos de implementación

- ▶ Hay que hacer: `#include "mpi.h"`
  - ▶ Define constantes, tipos de datos y los prototipos de las funciones MPI.
- ▶ Las funciones devuelven un código de error:
  - ▶ **MPI\_SUCCESS**: Ejecución correcta.
- ▶ **MPI\_Status** es una estructura que se obtiene cada vez que se completa la recepción de un mensaje. Contiene 2 campos:
  - ▶ `status.MPI_SOURCE`: proceso fuente.
  - ▶ `status.MPI_TAG`: etiqueta del mensaje.
- ▶ **Constantes** para representar tipos de datos básicos de C/C++ (para los mensajes en MPI): **MPI\_CHAR**, **MPI\_INT**, **MPI\_LONG**, **MPI\_UNSIGNED\_CHAR**, **MPI\_UNSIGNED**, **MPI\_UNSIGNED\_LONG**, **MPI\_FLOAT**, **MPI\_DOUBLE**, **MPI\_LONG\_DOUBLE**, etc.
- ▶ **Comunicador**: es tanto un grupos de procesos como un contexto de comunicación. Todas las funciones de comunicación necesitan como argumento un comunicador.

## Sección 2

### Compilación y ejecución de programas MPI

---



# Compilación y ejecución de programas en OpenMPI

**OpenMPI** es una implementación portable y de código abierto del estándar MPI-2, llevada a cabo por una serie de instituciones de ámbito tanto académico y científico como industrial.

**OpenMPI** ofrece varios scripts necesarios para trabajar con programas aumentados con llamadas a funciones de MPI. Los más importantes son estos dos:

- **mpicxx**: para compilar y enlazar programas C++ que hagan uso de MPI.
- **mpirun**: para ejecutar programas MPI.

El programa **mpicxx** puede utilizarse con las mismas opciones que el compilador de C/C++ usual, p.e.:

- `$mpicxx -c ejemplo.c`
- `$mpicxx -o ejemplo ejemplo.o`

# Compilación y ejecución de programas MPI

La forma más usual de ejecutar un programa MPI es :

- ▶ `$ mpirun -np 4 ./ejemplo`
- ▶ El argumento `-np` sirve para indicar cuántos procesos ejecutarán el programa ejemplo. En este caso, se lanzarán cuatro procesos ejemplo.
- ▶ Como no se indica nada más, OpenMPI lanzará dichos procesos en la máquina local.

## Sección 3

### **Funciones MPI básicas**

---

3.1. Introducción a los comunicadores

3.2. Funciones básicas de envío y recepción de mensajes

# Funciones MPI básicas

Hay 6 funciones básicas en MPI:

- **MPI\_Init**: inicializa el entorno de ejecución de MPI.
- **MPI\_Finalize**: finaliza el entorno de ejecución de MPI.
- **MPI\_Comm\_size**: determina el número de procesos de un comunicador.
- **MPI\_Comm\_rank**: determina el identificador del proceso en un comunicador.
- **MPI\_Send**: operación básica para envío de un mensaje.
- **MPI\_Recv**: operación básica para recepción de un mensaje.

# Inicializar y finalizar un programa MPI

Se usan estas dos sentencias:

```
int MPI_Init( int *argc, char ***argv )
```

- Llamado antes de cualquier otra función MPI.
- Si se llama más de una vez durante la ejecución da un error.
- Los argumentos `argc`, `argv` son los argumentos de la línea de orden del programa.

```
int MPI_Finalize( )
```

- Llamado al fin de la computación.
- Realiza tareas de limpieza para finalizar el entorno de ejecución

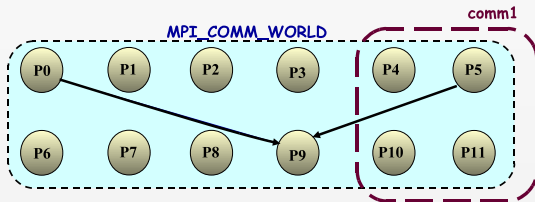
## Subsección 3.1

### **Introducción a los comunicadores**

---

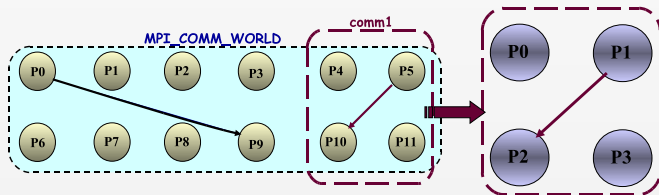
# Introducción a los comunicadores MPI

- ▶ **Comunicador MPI:** es variable de tipo `MPI_Comm`.
- ▶ Un comunicador está constituido por:
  - ▶ Grupo de procesos: Subconjunto de procesos (pueden ser todos).
  - ▶ Contexto de comunicación: Ámbito de paso de mensajes en el que se comunican dichos procesos. Un mensaje enviado en un contexto sólo puede ser recibido en dicho contexto.
- ▶ Todas las funciones de comunicación de MPI necesitan como argumento un comunicador.



# Introducción a los comunicadores

- ▶ La constante **MPI\_COMM\_WORLD** hace referencia al comunicador universal, un comunicador predefinido por MPI que incluye a todos los procesos de la aplicación (es el comunicador por defecto).
- ▶ La identificación de los procesos participantes en un comunicador es unívoca:
- ▶ Un proceso puede pertenecer a diferentes comunicadores.
- ▶ Cada proceso tiene un identificador: desde 0 a  $P - 1$  ( $P$  es el número de procesos del comunicador).
- ▶ Mensajes destinados a diferentes contextos de comunicación no interfieren entre sí.





# Funciones para obtener información

```
int MPI_Comm_size( MPI_Comm comm, int *size )
```

- ▶ size : número de procesos que pertenecen al comunicador comm.
- ▶ ejemplo: `MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size)`.

```
int MPI_Comm_rank( MPI_Comm comm, int *rank )
```

- ▶ rank: Identificador del proceso llamador en comm.

```
#include "mpi.h"
#include <iostream>
using namespace std ;
int main(int argc, char *argv[])
{ int rank, size;
  MPI_Init(&argc, &argv);
  MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
  cout << "Hola desde proc. "
        << rank << " de " << size << endl;
  MPI_Finalize();
  return 0;
}
```

```
$ mpicxx -o hola hola.cpp
$ mpirun -np 4 hola
```

```
Hola desde proc. 0 de 4
Hola desde proc. 2 de 4
Hola desde proc. 1 de 4
Hola desde proc. 3 de 4
```

## Subsección 3.2

### **Funciones básicas de envío y recepción de mensajes**

---

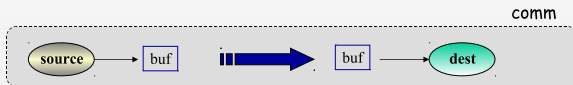
# Envío y recepción de mensajes

```
int MPI_Send( void *buf, int num, MPI_Datatype datatype, int dest,  
              int tag, MPI_Comm comm )
```

- ▶ Envía los datos `num` elementos de tipo `datatype` almacenados a partir de `buf`) al proceso `dest` con la etiqueta `tag` (entero  $\geq 0$ ) dentro del comunicador `comm`.
- ▶ Implementa envío asíncrono seguro.

```
int MPI_Recv( void *buf, int num, MPI_Datatype datatype, int source,  
              int tag, MPI_Comm comm, MPI_Status *status )
```

- ▶ Recibe mensaje de proceso `source` dentro del comunicador `comm` (recepción segura) y lo almacena en posiciones contiguas desde `buf`.
- ▶ Solo se recibe desde `source` con etiqueta `tag`, aunque existen argumentos comodín: **`MPI_ANY_SOURCE`**, **`MPI_ANY_TAG`**.



## Envío y recepción de mensajes (2)

Los argumentos `num` y `datatype` determinan la longitud en bytes del mensaje. El objeto `status` es una estructura:

- ▶ Permite conocer el emisor (campo `MPI_SOURCE`), la etiqueta (campo `MPI_TAG`) y el número de ítems de un mensaje recibido.
- ▶ Para obtener la cuenta, el receptor debe conocer y proporcionar el tipo de los mismos. Se hace con `MPI_Get_Count`:

```
int MPI_Get_count( MPI_Status *status, MPI_Datatype dtype, int *num );
```

### Ejemplo: Programa para dos procesos

```
MPI_Init( &argc, &argv );  
MPI_Comm_rank( MPI_COMM_WORLD, &rank );  
MPI_Comm_size( MPI_COMM_WORLD, &size );  
if ( rank == 0 )  
{  
    value = 100 ;  
    MPI_Send( &value, 1, MPI_INT, 1, 0, MPI_COMM_WORLD );  
}  
else  
    MPI_Recv( &value, 1, MPI_INT, 0, 0, MPI_COMM_WORLD, &status );  
MPI_Finalize( );
```

# Emparejamiento de operaciones de envío y recepción

En MPI, una operación de envío (con etiqueta  $e$ ) desde un proceso  $A$  **encajará** con una operación de recepción en un proceso  $B$  solo si se cumplen cada una de estas tres condiciones:

- $A$  nombra a  $B$  como receptor y  $e$  como etiqueta.
- $B$  especifica **MPI\_ANY\_SOURCE**, o bien nombra explícitamente a  $A$  como emisor
- $B$  especifica **MPI\_ANY\_TAG**, o bien nombra explícitamente  $e$  como etiqueta

Si una operación encaja con varias (un envío con varias posibles recepciones, o una recepción con varios posibles envíos), entonces:

- Se seleccionará de entre esas varias **la primera en iniciarse** (esto facilita al programador garantizar propiedades de equidad).

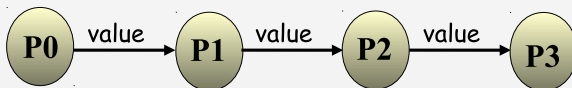
# Interpretación de bytes transferidos

Es importante tener en cuenta que para determinar el emparejamiento MPI **no tiene en cuenta el tipo de datos ni la cuenta de items**. Es responsabilidad del programador asegurarse de que, en el lado del receptor:

- **Los bytes transferidos se interpretan con el mismo tipo de datos** que el emisor usó en el envío (de otra forma los valores leídos son indeterminados).
- **Se sabe exactamente cuantos items de datos** se han recibido (en otro caso el receptor podría leer valores indeterminados de zonas de memoria no escritas por MPI).
- **Se ha reservado memoria suficiente** para recibir todos los datos (de no hacerse, MPI escribiría erróneamente fuera de la memoria correspondiente a la variable especificada en el receptor).

# Ejemplo: Difusión de mensaje en una cadena de procesos

```
int main(int argc, char *argv[])
{ int rank, size,value; MPI_Status status;
  MPI_Init(&argc, &argv);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD,&rank);MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD,&size );
  do
  { if (rank == 0)
    { scanf( "%d", &value );
      MPI_Send( &value, 1, MPI_INT, rank+1, 0, MPI_COMM_WORLD );
    }
    else
    { MPI_Recv( &value, 1, MPI_INT, rank-1, 0, MPI_COMM_WORLD, &status );
      if (rank < size-1)
        MPI_Send( &value, 1, MPI_INT, rank+1, 0, MPI_COMM_WORLD );
    }
    cout<< "Soy el proceso "<<rank<<" y he recibido "<<value<<endl;
  }
  while ( value >= 0 );
  MPI_Finalize(); return 0;
}
```



## Sección 4

### Paso de mensajes síncrono en MPI

---



## Envío en modo síncrono

En MPI existe una función de envío **síncrono** (siempre es **seguro**):

```
int MPI_Ssend( void* buf, int count, MPI_Datatype datatype, int dest,  
               int tag, MPI_Comm comm );
```

- ▶ Presenta los mismos argumentos que **MPI\_Send**
- ▶ La operación de envío finalizará solo cuando el correspondiente **MPI\_Recv** sea invocado y el receptor haya comenzado a recibir el mensaje, y además los datos hayan terminado de leerse en el emisor.
- ▶ Por **MPI\_Ssend** es **seguro**: cuando devuelve el control, la zona de memoria que alberga el dato podrá ser reutilizada.
- ▶ Si la correspondiente operación de recepción usada es **MPI\_Recv**, la semántica del paso de mensajes es puramente síncrona (existe una cita entre emisor y receptor).

## Ejemplo: Intercambio síncrono entre pares de procesos

```
int main(int argc, char *argv[])
{ int rank, size, val_env, val_rec;
  MPI_Status status;
  MPI_Init(&argc, &argv);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &rank);
  MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &size);
  val_env = rank*(rank+1);
  if (rank % 2 == 0) // El orden de las operaciones es importante
  { MPI_Ssend(&val_env, 1, MPI_INT, rank+1, 0, MPI_COMM_WORLD);
    MPI_Recv(&val_rec, 1, MPI_INT, rank+1, 0, MPI_COMM_WORLD, &status);
  }
  else
  { MPI_Recv(&val_rec, 1, MPI_INT, rank-1, 0, MPI_COMM_WORLD, &status);
    MPI_Ssend(&val_env, 1, MPI_INT, rank-1, 0, MPI_COMM_WORLD);
  }
  cout<< "Soy el proceso " << rank << " y he recibido " << val_rec << endl;
  MPI_Finalize(); return 0;
}
```



## Sección 5

### **Comunicación insegura**

---

# Comunicación insegura

- Las operaciones de comunicación vistas anteriormente son *seguras* (y por tanto pueden hacer esperar al proceso)
  - Incluso **MPI\_Send** puede causar el bloqueo del emisor si no ha comenzado la operación de recepción correspondiente y no se dispone de memoria intermedia suficiente para copiar el mensaje completo.
- Se necesitan operaciones de comunicación no bloqueantes
  - Sondeo de mensajes:
    - **MPI\_Iprobe**: Chequeo no bloqueante para un mensaje.
    - **MPI\_Probe**: Chequeo bloqueante para un mensaje.
  - Envío-Recepción inseguro:
    - **MPI\_Isend**: Inicia envío pero retorna antes de copiar en buffer.
    - **MPI\_Irecv**: Inicia recepción pero retorna antes de recibir.
    - **MPI\_Test**: Chequea si la operación no bloqueante ha finalizado.
    - **MPI\_Wait**: Bloquea hasta que acabe la operación no bloqueante.

# Comunicación asíncrona

El acceso no estructurado a un recurso compartido requiere comprobar la existencia de mensajes sin recibirlos.

```
int MPI_Iprobe( int source, int tag, MPI_Comm comm,  
               int *flag, MPI_Status *status );
```

- ▶ No bloquea. Si hay algún mensaje, no se recibe (se puede hacer después con `MPI_Recv`, p.ej.).
- ▶ Si `flag > 0`, eso indica que hay un mensaje pendiente que encaja con `(source, tag, comm)`.
- ▶ El argumento `status` permite obtener más información sobre el mensaje pendiente de recepción.

```
int MPI_Probe( int source, int tag, MPI_Comm comm, MPI_Status *status );
```

- ▶ Retorna sólo cuando hay algún mensaje que encaje con los argumentos.
- ▶ Permite esperar la llegada de un mensaje sin conocer su procedencia, etiqueta o tamaño.

# Sondeo continuo de varias fuentes desconocidas

```
int rank, size, flag, buf, src, tag;
MPI_Status status ;
...
MPI_Comm_rank( MPI_COMM_WORLD, &rank );
MPI_Comm_size( MPI_COMM_WORLD, &size );
if (rank == 0) // proceso 0 recibe de todos los demás
{ int contador = 0;
  while ( contador < 10*(size-1) )
  { MPI_Iprobe(MPI_ANY_SOURCE, MPI_ANY_TAG, MPI_COMM_WORLD, &flag, &status);
    if ( flag > 0 )
    { MPI_Recv( &buf, 1, MPI_INT, MPI_ANY_SOURCE, MPI_ANY_TAG,
               MPI_COMM_WORLD, &status );

      src = status.MPI_SOURCE; tag = status.MPI_TAG ;
      cout << "mensaje de " << src << " con tag= " << tag << endl;
      contador++;
    }
  }
  cout << "total de mensajes recibidos: " << contador << endl;
}
else // resto de procesos envían 10 items cada uno a proceso 0
  for( int i = 0 ; i < 10 ; i++ )
    MPI_Send( &buf, 1, MPI_INT, 0, i, MPI_COMM_WORLD );
...
}
```

## Recepción con tamaño y fuente desconocidos

Se espera la llegada de un mensaje, una vez que llega, y antes de recibirlo, se reserva justo la memoria suficiente para contener el mensaje:

```
int num, *buf, source ;
MPI_Status status ;

// bloqueo hasta que se detecte un mensaje:
MPI_Probe( MPI_ANY_SOURCE, 0, comm, &status ) ;

// averigua el tamaño y el proceso emisor del mensaje:
MPI_Get_count( status, MPI_INT, &num ) ;
source = status.MPI_SOURCE ;

// reserva memoria para recibir el mensaje:
buf = malloc( num*sizeof(int) ) ;

// se recibe el mensaje:
MPI_Recv( buf, num, MPI_INT, source, 0, comm, &status ) ;
```

## Operaciones inseguras

Se pueden usar estas dos funciones:

```
int MPI_Isend( void* buf, int count, MPI_Datatype datatype, int dest,  
              int tag, MPI_Comm comm, MPI_Request *request)  
  
int MPI_Irecv( void* buf, int count, MPI_Datatype datatype, int source,  
              int tag, MPI_Comm comm, MPI_Request *request)
```

Los argumentos son similares a `MPI_Send` excepto:

- Argumento `request`: Identifica operación cuyo estado se pretende consultar o se espera que finalice.
- No incluye argumento `status`: Se puede obtener con otras 2 funciones de chequeo de estado.

Cuando ya no se va a usar una variable `MPI_Request`, se puede usar:

```
int MPI_Request_free( MPI_Request *request )
```

- Libera la memoria usada por la variable `request`.



## Operaciones inseguras. Chequeo de estado

Para comprobar si una operación insegura ha finalizado o no, se usa:

```
int MPI_Test( MPI_Request *request, int *flag, MPI_Status *status )
```

- Escribe en flag.
- Si  $\text{flag} > 0$  entonces la operación identificada ha finalizado, libera request e inicializa status.

Para esperar bloqueado hasta que termine una operación, se usa:

```
int MPI_Wait( MPI_Request *request, MPI_Status *status )
```

- Produce bloqueo hasta que la operación chequeada finaliza (es segura).

Hay que tener en cuenta que es posible conectar operaciones inseguras con sus contrapartes seguras.

# Intercambio de mensajes con operaciones inseguras

```
int main(int argc, char *argv[])
{
    int rank, size, vecino, valor_env, valor_rec;
    MPI_Status status;
    MPI_Request request_env, request_rec;
    MPI_Init( &argc, &argv );
    MPI_Comm_rank( MPI_COMM_WORLD, &rank );
    MPI_Comm_size( MPI_COMM_WORLD, &size );
    // calcular valor a enviar y número de proceso vecino:
    valor_env = rank*(rank+1);
    if (rank %2 == 0) vecino = rank+1 ;
    else              vecino = rank-1 ;
    // envío y recepción simultáneos (en cualquier orden)
    MPI_Irecv( &valor_rec, 1, MPI_INT, vecino, 0, MPI_COMM_WORLD, &request_rec );
    MPI_Isend( &valor_env, 1, MPI_INT, vecino, 0, MPI_COMM_WORLD, &request_env );
    // ... aquí se puede hacer algo que no use valor_rec ni altere valor_env
    // bloqueo hasta que sea seguro:
    MPI_Wait( &request_env, &status );
    MPI_Wait( &request_rec, &status );
    // ya esta:
    cout << "Soy el proceso " << rank << " y he recibido " << valor << endl ;
    MPI_Finalize(); return 0;
}
```