

UNIVERSIDADE DA CORUÑA

LABORATORIO DE REDES. TUTORIAL DE SOCKETS EN JAVA

Índice

| | |
|---|----|
| 1. Presentación..... | 3 |
| 2. Conceptos básicos..... | 3 |
| 2.1. Entorno de Desarrollo Integrado (IDE)..... | 3 |
| 2.2. Flujos de datos..... | 4 |
| 2.3. Threads..... | 4 |
| 2.4. Ejercicio 1: Implementación de Copy..... | 5 |
| 3. Pila de protocolos TCP/IP..... | 5 |
| 3.1. TCP..... | 5 |
| 3.2. UDP..... | 6 |
| 4. Sockets..... | 6 |
| 4.1. Sockets en Java..... | 6 |
| 4.2. Lectura recomendada..... | 7 |
| 5. Sockets UDP..... | 7 |
| 5.1. Ejercicio 2: Implementación del servidor de eco UDP..... | 8 |
| 6. Sockets TCP..... | 9 |
| 6.1. Ejercicio 3: Implementación del servidor de eco TCP..... | 10 |
| 7. ENTREGA..... | 12 |

1. Presentación

El laboratorio de Redes constará de un conjunto de prácticas **no obligatorias**. Todas las prácticas han de ser realizadas **individualmente**.

Cada práctica constará de un enunciado en donde se plantearán las tareas a realizar, y podrá incluir información complementaria para el desarrollo de la misma. Las prácticas que requieran el empleo de un lenguaje de programación deberán ser realizadas en **Java**. Para cualquier duda sobre este lenguaje se recomienda consultar la documentación del API de Java (para la última versión está disponible en <https://docs.oracle.com/en/java/javase/17/docs/api/>). Los ficheros con el código de las mismas deberán ser subidos al repositorio correspondiente a cada alumno a través de la siguiente URL: <https://github.com/GEI-Red-614G010172122/java-labs-<user-login>>, siendo user-login el login del alumno. Este repositorio se crea de manera automática tras hacer clic en la URL que aparece en Moodle una vez se ha completado la tarea Repositorio de Github / Github repository.

Este tutorial proporciona una introducción a los sockets en Java y representa la primera práctica de programación de la asignatura (p0 a partir de ahora). Para la realización de este tutorial se empleará como base el repositorio indicado. En concreto, se modificarán clases disponibles en el paquete **es.udc.redes.tutorial**. Además, el proyecto incluye también un fichero **README.md** con los distintos pasos para la configuración del entorno. **La parte práctica de este tutorial será evaluada y corregida.**

Las prácticas se ejecutarán desde el IDE escogido.

Para la implementación de la práctica no se emplearán novedades en la sintaxis aparecidas después de la versión 15 de java. De esta manera se facilitará la ejecución de la práctica en cualquier JVM con versión 15 o posterior.

Para la evaluación satisfactoria de la práctica el estudiante deberá generar al menos los siguientes commits:

- **Commit “copy”:** Se creará este commit una vez se haya terminado la implementación del ejercicio 1, que permite la copia de ficheros de texto y binarios.
- **Commit “UDP server”:** Se creará este commit tras haber implementado el servidor de eco UDP.
- **Commit “monothread TCP server”:** Se creará este commit tras haber implementado el servidor de eco TCP monohilo.
- **Commit “multithread TCP server”:** Se creará este commit tras haber implementado el servidor de eco TCP multihilo.

2. Conceptos básicos

Para la realización de este tutorial es necesario recordar ciertos conceptos básicos.

2.1. Entorno de Desarrollo Integrado (IDE)

Para la realización de las prácticas es recomendable utilizar un entorno de desarrollo integrado (IDE). En particular, sugerimos usar IntelliJ IDEA. Para familiarizarse con este IDE se recomienda revisar la ayuda disponible en

<https://www.jetbrains.com/help/idea/discover-intellij-idea.html>. El objetivo es aprender a crear un proyecto Java, compilar, ejecutar y depurar un programa.

Además, se utilizará **git** como herramienta de control de versiones. En concreto, **se deberán seguir las instrucciones facilitadas en el fichero README.md del repositorio**, y se podrán emplear como ayuda los ficheros contenidos en el directorio git-help del repositorio y la guía de Github en <https://guides.github.com/activities/hello-world/>.

Es recomendable subir a Github las diferentes versiones de la práctica según se va avanzando en el desarrollo como mecanismo de seguridad, y no solo los commits intermedios y la entrega final. Además, también es recomendable ir haciendo commits locales de forma recurrente.

2.2. Flujos de datos

Los programas pueden necesitar recoger información de una fuente externa y enviar información a un destino externo. Esta información puede estar en ficheros, disco, en la red, memoria, programas, etc., y puede ser de cualquier tipo (objetos, caracteres, imágenes, sonidos...).

El programa usará los flujos de datos para leer y enviar la información necesaria.

En la documentación de Java se incluye un tutorial completo para el manejo de los flujos de datos (<http://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/io/index.html>), del que, cómo mínimo se deben seguir los siguientes apartados para poder realizar la práctica:

- <http://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/io/bytestreams.html>
- <http://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/io/charstreams.html>
- <http://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/io/buffers.html>

2.3. Threads

Normalmente los programas están formados por un único hilo de ejecución y su comportamiento es secuencial.

Cuando en un programa se quiere realizar más de una tarea simultáneamente se utilizan técnicas de ejecución concurrente, que permiten que diversos puntos del programa se estén ejecutando a la vez.

Existen dos aproximaciones para ejecutar tareas de forma concurrente en un programa: Procesos y Threads. Mientras que todos los threads dentro de un proceso comparten recursos (como la memoria), los procesos no comparten recursos entre sí (por lo que un objeto creado en un proceso no es visible desde otro proceso distinto).

Ambas aproximaciones se pueden combinar en un mismo programa, que puede tener varios procesos, y cada uno de ellos con varios threads simultáneos. Un programa concurrente ejecuta múltiples threads simultáneamente, cada uno realizando diferentes tareas.

Java es multithread, por lo que permite la realización de programas de flujo múltiple. Las aplicaciones Java básicas están formadas normalmente por un único proceso con un único thread, que invoca al método “main” de la clase que se ejecuta.

Para más información leer el apartado destinado a threads en:

The Java Tutorials. Lesson: Concurrency.

<http://docs.oracle.com/javase/tutorial/essential/concurrency/index.html>

El uso de los threads se utilizará en el desarrollo de un servidor de eco TCP.

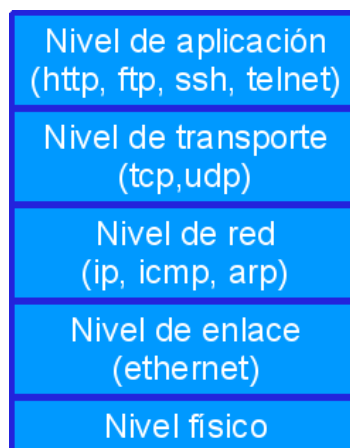
2.4. Ejercicio 1: Implementación de Copy

Utilizando IntelliJ IDEA, modificar la clase **es.udc.redes.tutorial.copy.Copy.java** disponible en el repositorio **java-labs** para desarrollar una aplicación que permita copiar ficheros de texto y ficheros binarios utilizando flujos de datos. Para su ejecución recibirá dos parámetros de la siguiente forma:

```
java es.udc.redes.tutorial.copy.Copy <fichero origen> <fichero destino>
```

3. Pila de protocolos TCP/IP

La pila de protocolos TCP/IP permite la transmisión de datos entre redes de computadores. Dicha pila consta de una serie de capas, tal y como se puede apreciar en el diagrama siguiente:



Normalmente, cuando se escriben aplicaciones Java en red trabajaremos con el nivel de aplicación, y utilizaremos además protocolos del nivel de transporte. Por este motivo es preciso recordar las principales diferencias entre los dos protocolos básicos del nivel de transporte: TCP (Transmission Control Protocol) y UDP (User Datagram Protocol).

3.1. TCP

- Es un protocolo orientado a conexión
- Provee un flujo de bytes fiable entre dos ordenadores (llegada en orden, correcta, sin perder nada). Para conseguirlo realiza control de flujo, control de congestión...
- Protocolos de nivel de aplicación que usan TCP: telnet, HTTP, FTP, SMTP...

3.2. UDP

- Es un protocolo no orientado a conexión
- Envía paquetes de datos (datagramas) independientes sin garantías
- Permite broadcast y multicast
- Protocolos de nivel de aplicación que usan UDP: DNS, TFTP...

4. Sockets

Cuando estamos trabajando en una red de ordenadores y queremos establecer una comunicación (recibir o enviar datos) entre dos procesos que se están ejecutando en dos máquinas diferentes de dicha red, ¿qué necesitamos para que dichos procesos se puedan comunicar entre sí?

Supongamos que una de las aplicaciones solicita un servicio (cliente), y la otra lo ofrece (servidor).

Una misma máquina puede tener una o varias conexiones físicas a la red y múltiples servidores pueden estar escuchando en dicha máquina. Si a través de una de dichas conexiones físicas se recibe una petición por parte de un cliente ¿cómo se identifica qué proceso debe atender la petición? Es aquí donde surge el concepto de **puerto**, que permite tanto a TCP como a UDP dirigir los datos a la aplicación correcta de entre todas las que se están ejecutando en la máquina. Todo servidor, por tanto, ha de estar registrado en un puerto para recibir los datos que a él se dirigen (veremos en los ejemplos cómo se hace esto).

Los datos transmitidos a través de la red tendrán, por tanto, información para identificar la máquina mediante su dirección IP (si IPv4 32 bits, y si IPv6 128 bits) y el puerto (16 bits) a los que van dirigidos.

Los puertos:

- son independientes para TCP y UDP
- se identifican por un número de 16 bits (de 0 a 65535)
- algunos de ellos están reservados (de 0 a 1023), puesto que se emplean para servicios conocidos como HTTP, FTP, etc., y no deberían ser utilizados por aplicaciones de usuario.

Por tanto, un **socket** se puede definir como un extremo de un enlace de comunicación bidireccional entre dos programas que se comunican por la red (se asocia a un número de puerto).

- Se identifica por una dirección IP de la máquina y un número de puerto.
- Existe tanto en TCP como en UDP.

4.1. Sockets en Java

Java incluye la librería `java.net` para la utilización de sockets, tanto TCP como UDP. Este tutorial se basa exclusivamente en clases y métodos de esta librería, por lo que será necesario importarla en todos los ejemplos y prácticas.

4.2. Lectura recomendada

The Java Tutorials. Lesson: All About Sockets.

<http://docs.oracle.com/javase/tutorial/networking/sockets/index.html>

5. Sockets UDP

Los sockets UDP son no orientados a conexión. Los clientes no se conectarán con el servidor sino que cada comunicación será independiente, sin poderse garantizar la recepción de los paquetes ni el orden de los mismos. Es en este momento en donde podemos definir el concepto de **datagrama**, que no es más que un mensaje independiente, enviado a través de una red, cuya llegada, tiempo de llegada y contenido no están garantizados.

En primer lugar, vamos a implementar un cliente de eco UDP. El formato de ejecución será:

```
java          es.udc.redes.tutorial.udp.client.UdpClient
<máquina_servidor> <puerto_servidor> <mensaje>
```

En donde,

- `máquina_servidor` será el nombre (o la dirección IP) de la máquina en donde se está ejecutando un servidor de eco UDP.
- `puerto_servidor` será el puerto en el que está escuchando el servidor de eco UDP.
- `mensaje` será el mensaje que queremos enviar.

El código fuente del cliente de eco UDP se ha implementado en la clase **es.udc.redes.tutorial.udp.client.UdpClient.java**.

De manera más detallada, estos son los pasos que se ejecutan en el cliente:

1. Se crea un socket no orientado a conexión. Es importante recalcar que no es necesario especificar un número de puerto en el constructor, ya que el propio constructor se encargará de seleccionar un puerto libre (puerto efímero). Para más información ver la documentación de la clase `DatagramSocket` (en especial la sección de constructores).
2. Establecemos un tiempo de espera máximo para el socket. Si pasado ese tiempo no ha recibido nada se lanzará la excepción correspondiente.
3. Se obtiene la dirección IP de la máquina en la que se encuentra el servidor, a partir del primer argumento recibido por línea de comandos. La clase `InetAddress` representa en Java el concepto de dirección IP. Esta clase dispone del método estático `getByName()` que obtiene la dirección IP a partir del `String` que recibe como parámetro. Este parámetro puede ser un nombre o una dirección IP.
4. Se obtiene el número de puerto en el que está ejecutándose el servidor, a partir del segundo argumento recibido por línea de comandos.
5. Se obtiene el mensaje que queremos enviar al servidor, a partir del tercer argumento recibido por línea de comandos. En caso de querer enviar varias palabras es necesario utilizar comillas dobles (p.e. "Esto es una prueba").
6. Preparamos el datagrama que vamos a enviar, indicando: el mensaje que

queremos enviar (como un array de bytes), el número de bytes a enviar, la dirección IP del destinatario y el puerto del destinatario. Ver la clase `DatagramPacket`.

7. Enviamos el datagrama invocando el método `send()` del socket que hemos creado inicialmente.
8. Preparamos un nuevo datagrama para recibir la respuesta del servidor. Para ello, es necesario crear previamente un array de bytes que va a almacenar la respuesta que vayamos a recibir. Al crear el nuevo datagrama, se indicará el array en donde queremos almacenar la respuesta y el número máximo de bytes que puede almacenar este array.
9. Recibimos el datagrama, utilizando el método `receive()` de nuestro socket UDP. Este método es bloqueante, es decir, el programa se quedará esperando en este método hasta recibir algo o, como hemos establecido un timeout, hasta que venza el timeout.
10. Por último, cerramos el socket.

5.1. Ejercicio 2: Implementación del servidor de eco UDP

En base al cliente de eco UDP, implementa un servidor de eco UDP modificando la clase **`es.udc.redes.tutorial.udp.server.UdpServer.java`**.

El servidor deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Crear un `DatagramSocket`, pero asociado a un número de puerto específico.
- 2 Establecer un tiempo de espera máximo para el socket.
- 3 Crear un bucle infinito:
 - 3.1 Preparar un datagrama para recibir mensajes de los clientes. Es recomendable crear un nuevo objeto `DatagramPacket` para cada mensaje que se vaya a recibir.
 - 3.2 Recibir un mensaje.
 - 3.3 Preparar el datagrama de respuesta para enviar al cliente. Recuerda que en cada datagrama recibido queda registrado la dirección IP y el número de puerto del remitente.
 - 3.4 Enviar el mensaje de respuesta.

Una vez finalizado el servidor de eco UDP, para comprobar que funciona correctamente deberás ejecutar desde el IDE o en un terminal el servidor:

```
java es.udc.redes.tutorial.udp.server.UdpServer 5000
```

El servidor se quedará esperando a que los clientes le envíen peticiones.

También desde el IDE o en otro terminal, deberás ejecutar el cliente UDP:

```
java es.udc.redes.tutorial.udp.client.UdpClient localhost 5000  
"Testing my UDP server"
```

El resultado debería ser que el servidor recibiese el mensaje del cliente y se lo reenviase, mientras que el cliente debería recibir la respuesta del servidor:

Mensajes en la consola del servidor

```
SERVER: Received Testing my UDP server from /127.0.0.1:35286
```

```
SERVER: Sending Testing my UDP server to /127.0.0.1:35286
```

Mensajes en la consola del cliente

```
CLIENT: Sending Testing my UDP server to  
localhost/127.0.0.1:5000
```

```
CLIENT: Received Testing my UDP server from /127.0.0.1:5000
```

6. Sockets TCP

Los sockets TCP son orientados a conexión y fiables. Esto implica que antes de poder enviar y recibir datos es necesario establecer una conexión entre el cliente y el servidor. Una vez que la conexión está establecida, el protocolo TCP garantiza que los datos enviados son recibidos correctamente y debidamente ordenados en el otro extremo.

En primer lugar, se incluye en java-labs un cliente de eco TCP ya implementado. El formato de ejecución será:

```
java          es.udc.redes.tutorial.tcp.client.TcpClient  
<máquina_servidor> <puerto_servidor> <mensaje>
```

En donde,

- `máquina_servidor` será el nombre (o la dirección IP) de la máquina en donde se está ejecutando un servidor de eco TCP.
- `puerto_servidor` será el puerto en el que está escuchando el servidor de eco TCP.
- `mensaje` será el mensaje que queremos enviar.

De manera más detallada, estos son los pasos que se ejecutan en el cliente:

1. Se obtiene la dirección IP de la máquina en la que se encuentra el servidor, a partir del primer argumento recibido por línea de comandos.
2. Se obtiene el número de puerto en el que está ejecutándose el servidor, a partir del segundo argumento recibido por línea de comandos.
3. Se obtiene el mensaje que queremos enviar al servidor, a partir del tercer argumento recibido por línea de comandos.
4. Se crea un socket orientado a conexión. No se especifica ningún puerto para el cliente, ya que automáticamente se seleccionará un puerto libre (efímero). En el constructor se especifica la dirección IP y el puerto del servidor, estableciéndose la conexión con el servidor inmediatamente después de la creación del socket. Para más información ver la documentación de la clase `Socket`, en especial la sección de constructores.
5. Establecemos un tiempo de espera máximo para el socket. Si pasado ese tiempo no ha recibido nada se lanzará la excepción correspondiente.
6. Creamos el canal de entrada para recibir los datos del servidor. Para leer los datos

del servidor se utiliza la clase `BufferedReader`, construida a partir del método `getInputStream()` del socket cliente. Esta clase dispone del método `readLine()` que permite la lectura línea a línea.

7. Creamos el canal de salida para enviar datos al servidor. Se utiliza la clase `PrintWriter`, construida a partir del método `getOutputStream()` del socket cliente. Esta clase dispone de los métodos `println()` y `print()`, equivalentes a los utilizados habitualmente para imprimir por pantalla.
8. Enviamos el mensaje al servidor invocando el método `println()` del flujo de salida.
9. Esperamos y recibimos la respuesta del servidor invocando el método `readLine()` del flujo de entrada.
10. Por último, cerramos el socket.

6.1. Ejercicio 3: Implementación del servidor de eco TCP

En base al cliente de eco TCP, implementa un servidor **multihilo** (**`es.udc.redes.tutorial.tcp.server.TcpServer`**) de eco TCP. Habitualmente, los servidores TCP son multihilo para poder procesar múltiples conexiones simultáneamente. Para facilitar su implementación se realizará una primera versión del servidor monohilo, y comprobar su funcionamiento con el cliente de eco TCP. Una vez la versión monohilo funcione correctamente, se puede realizar la versión multihilo.

El servidor monohilo deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Crear un `ServerSocket`, asociado a un número de puerto específico.
- 2 Establecer un tiempo de espera máximo para el socket.
- 3 Crear un bucle infinito:
 - 3.1 Invocar el método `accept()` del socket servidor. Este método se queda esperando hasta recibir la petición de conexión de un cliente. En cuanto se establece la conexión con el cliente, devuelve un nuevo socket que se utilizará para la comunicación con ese cliente.
 - 3.2 Preparar los flujos de entrada y salida, a partir del nuevo socket.
 - 3.3 Recibir el mensaje del servidor.
 - 3.4 Enviar el mensaje de eco de vuelta al cliente.
 - 3.5 Cerrar los flujos y la conexión del socket creado en el método `accept()`.

Una vez finalizado el servidor monohilo de eco TCP, para comprobar que funciona correctamente deberás ejecutar el servidor desde el IDE o desde un terminal:

```
java es.udc.redes.tutorial.tcp.server.MonoThreadTcpServer 5000
```

El servidor se quedará esperando a que los clientes le envíen peticiones.

Desde el IDE o en otro terminal, deberás ejecutar el cliente TCP:

```
java es.udc.redes.tutorial.tcp.client.TcpClient localhost 5000
"Testing my TCP server"
```

El resultado debería ser que el servidor recibiese el mensaje del cliente y se lo reenviase, mientras que el cliente debería recibir la respuesta del servidor:

Mensajes en la consola del servidor

```
SERVER: Received Testing my TCP server from /127.0.0.1:36725
```

```
SERVER: Sending Testing my TCP server to /127.0.0.1:36725
```

Mensajes en la consola del cliente

```
CLIENT: Sending Testing my TCP server to  
localhost/127.0.0.1:5000
```

```
CLIENT: Received Testing my TCP server from /127.0.0.1:5000
```

Para convertir el servidor monohilo en multihilo es necesario crear una clase nueva (`ServerThread`) que extienda la clase `Thread`. Esta clase será la que se encargue de atender una conexión con un cliente. Los pasos en el servidor TCP serían los siguientes:

- 1 Crear un `ServerSocket`, asociado a un número de puerto específico.
- 2 Establecer un tiempo de espera máximo para el socket.
- 3 Crear un bucle infinito:
 - 3.1 Invocar el método `accept()` del socket servidor. Al establecerse la conexión, devuelve un nuevo socket que se utilizará para la comunicación con ese cliente.
 - 3.2 Crear un nuevo objeto `ServerThread`, pasando como parámetro el nuevo socket de la conexión. De esta manera, la conexión es procesada con este nuevo socket en un hilo de ejecución independiente, quedando el socket servidor preparado para recibir nuevas peticiones de otros clientes.
 - 3.3 Iniciar la ejecución del hilo con el método `start()`. Importante: si se invoca el método `run()` en lugar del método `start()`, se realiza una ejecución secuencial, no multihilo.

Los pasos en la clase `ServerThread` son los siguientes (método `run()`):

- 1 Preparar los flujos de entrada y salida.
- 2 Recibir el mensaje del servidor.
- 3 Enviar el mensaje de eco de vuelta al cliente.
- 4 Cerrar los flujos y la conexión del socket creado en el método `accept()`.

Una vez finalizado el servidor multihilo de eco TCP, para comprobar que funciona correctamente deberás ejecutar el servidor desde el IDE o en un terminal:

```
java es.udc.redes.tutorial.tcp.server.TcpServer 5000
```

El servidor se quedará esperando a que los clientes le envíen peticiones.

En otro terminal ejecuta un comando `nc` que se conecte con el servidor, y déjalo conectado:

```
nc localhost 5000
```

Desde el IDE o en otro terminal, deberás ejecutar el cliente TCP:

```
java es.udc.redes.tutorial.tcp.client.TcpClient localhost 5000
"Testing my TCP server"
```

En este caso, el servidor lanzará un hilo para atender la conexión realizada con el `nc`. Al ser multihilo, lanzará otro hilo de ejecución en paralelo para atender la petición realizada con el cliente de `eco`. El resultado debería ser que el servidor recibiese el mensaje del cliente y se lo reenviase, mientras que el cliente debería recibir la respuesta del servidor, tal y como sucedía en el caso monohilo. Para finalizar la conexión del `nc`, simplemente introduce algo por teclado y pulsa ENTER: esto enviará un mensaje al servidor que responderá con el `eco` y cerrará la conexión.

7. ENTREGA

Las clases implementadas se subirán al repositorio en github: <https://github.com/GEI-Red-614G010172122/java-labs-<user-login>>.

Para indicar cuál es la versión de la práctica que debe ser evaluada, tras realizar los últimos cambios para la entrega se deberá etiquetar el commit y posteriormente publicar el tag ejecutando los siguientes comandos:

1. `git tag -a p0 -m "p0"`
2. `git push origin p0`

La entrega de la práctica se realizará a través de Moodle. La fecha límite de entrega será el día 18 de febrero de 2022 a las 23:59. Los pasos a realizar son:

1. Completar la tarea Repositorio de Github / Github repository en Moodle.
2. Desde el repositorio local (y después de crear el tag `p0`) ejecutar:

```
cd java-labs-<user-login>
git archive -o java-labs.zip p0
```
3. Se creará un fichero llamado `java-labs.zip`, que es el que tenéis que entregar en Moodle.

Una vez realizada la entrega, el estudiante deberá evaluar las prácticas de otros estudiantes siguiendo la rúbrica facilitada en la tarea de Moodle creada. Esta evaluación tendrá como fecha límite el 25 de febrero de 2022 a las 23:59.

En concreto, se evaluarán los siguientes apartados:

- Estructura del proyecto presentado.
- Ejecución de Copy.
- Ejecución del cliente y servidor de `eco` UDP.
- Ejecución del cliente y servidor multithread de `eco` TCP.

En caso de no entregar la práctica en plazo, de no disponer de los commits mínimos exigidos o en caso de que no exista en el repositorio el tag `p0`, se considerará que la práctica NO ha sido presentada. No evaluar todas o parte de las prácticas asignadas o realizar una evaluación incorrecta, supondrá una penalización en la nota del tutorial.

La entrega y la evaluación de este tutorial de forma correcta supone hasta 0,25 puntos en la nota final de la asignatura.