



# **Desarrollo de Aplicaciones en Red**

## **Práctica 3**

### **Programación en RMI**

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

**Curso 2021-2022**

Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos  
Universidad de Granada

# Índice

- Presentación de objetivos
- Comunicaciones entre procesos en sistemas distribuidos
  - Introducción
  - Sockets y RPC
  - RMI
- Java RMI
  - Objetivos
  - Modelo de Objetos Distribuidos
  - Creación de Aplicaciones RMI en Java
  - Compilación de Programas Java RMI
  - Ejecución de Programas Java RMI
- Ejercicio Propuesto

# Objetivos

- Objetivo **general**:
  - En esta práctica se pretende que el alumno conozca y adquiera experiencia en el manejo de los mecanismos para la implementación de programas distribuidos en Java utilizando la API RMI (*Remote Method Invocation*)
- Objetivos **específicos**:
  - Conocer los mecanismos para definir interfaces a objetos remotos
  - Aprender a implementar interfaces remotas y hacerlas accesibles
  - Implementar programas cliente basados en esta tecnología
  - Compilar, desplegar y ejecutar los programas desarrollados
  - Resolver problemas de comunicación entre aplicaciones de usuario

# Objetivos

- Enlaces a información complementaria
  - [Tutorial de Java para RMI](http://docs.oracle.com/javase/tutorial/rmi/index.html) (*“trail RMI”*)
    - <http://docs.oracle.com/javase/tutorial/rmi/index.html>
  - [Especificación de Java RMI](http://docs.oracle.com/javase/6/docs/platform/rmi/spec/rmiTOC.html)
    - <http://docs.oracle.com/javase/6/docs/platform/rmi/spec/rmiTOC.html>
  - [Remote Method Invocation Home](http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-136424.html)
    - <http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-136424.html>

# Introducción

- En sistemas distribuidos, programas que se ejecutan en espacios de direcciones **diferentes**, y posiblemente, equipos **diferentes**, pueden necesitar **comunicarse** unos con otros



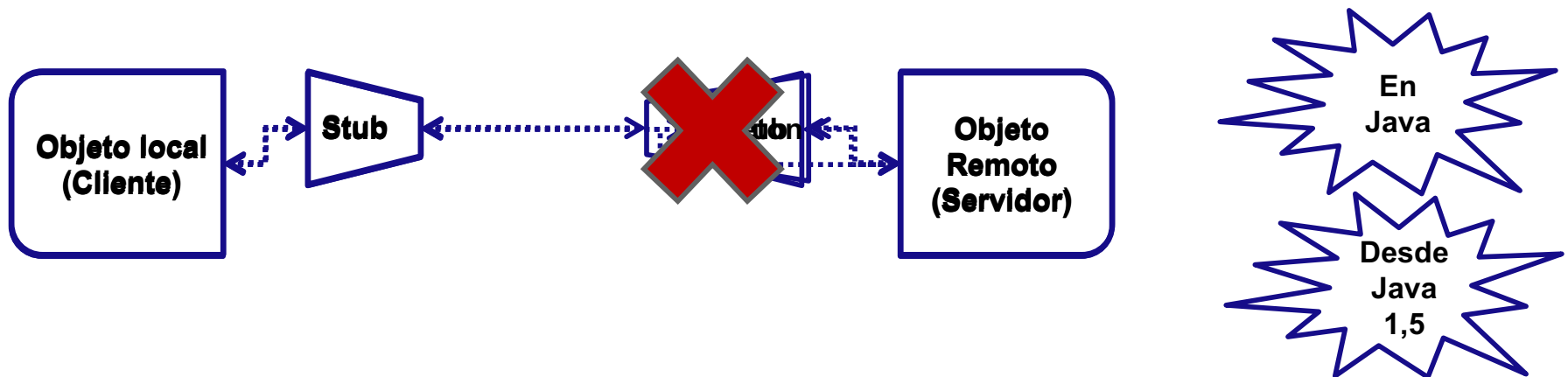
# Introducción



- En sistemas distribuidos, existen diferentes tecnologías para comunicar dispositivos, como el uso de *sockets* y RPC
- **Sockets** → requiere el tratamiento de protocolos de **bajo nivel** para la codificación y decodificación de los mensajes intercambiados, lo que dificulta la programación y es más proclive a errores
- **RPC** → resulta adecuado para programas basados en llamadas a procedimientos, pero no encaja bien en **sistemas de objetos distribuidos**, donde se requiere la comunicación entre instancias de clases residentes en espacios de direcciones distintos

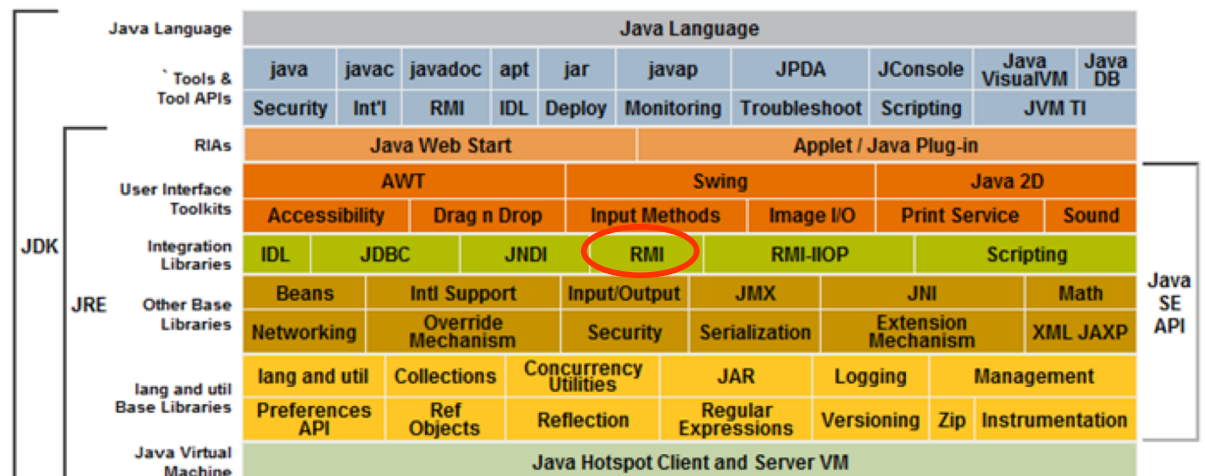
# RMI

- Para una correcta adecuación a la semántica de invocación de objetos, los sistemas de objetos requieren *remote method invocation* o *RMI*
- En estos sistemas, un objeto *delegado* o *substituto* (llamado *stub*) gestiona las invocaciones al objeto remoto, gestionando la *serialización* y *deserialización* de parámetros, así como de los valores devueltos



# Java RMI

- Java RMI es una tecnología que permite construir objetos distribuidos que operen en el entorno de aplicación Java
- Como entorno de funcionamiento se presupone el de la **Java Virtual Machine** (JVM), que sigue el enfoque “*Write Once, Run Anywhere*” (“se codifica una vez y se ejecuta en cualquier sitio”). Java RMI se basa y extiende este enfoque para que se ejecute en/por todas partes (“*run everywhere*”)





# Objetivos de Java RMI

- Soporta invocaciones remotas sobre objetos de diferentes máquinas virtuales
- Se encarga automáticamente de desplegar las **hebras** requeridas para dotar de **conurrencia** a un servicio implementado usando esta tecnología
- Soporta comunicaciones desde servidores a *applets* (conocidas como *callbacks*)
- Integra de forma natural el modelo de objetos distribuidos en el lenguaje de programación Java, preservando la mayor parte de la semántica de objetos en este lenguaje
- Preserva seguro el entorno de la plataforma Java proporcionado por gestores de seguridad y cargadores de clases
- .... **Como requisito subyacente a los objetivos anteriores aparece la simplicidad de uso y la homogeneidad/naturalidad del modelo Java RMI, de forma que las construcciones pueden utilizarse de forma similar al resto de los elementos del lenguaje**

# Modelo de Objetos Distribuidos

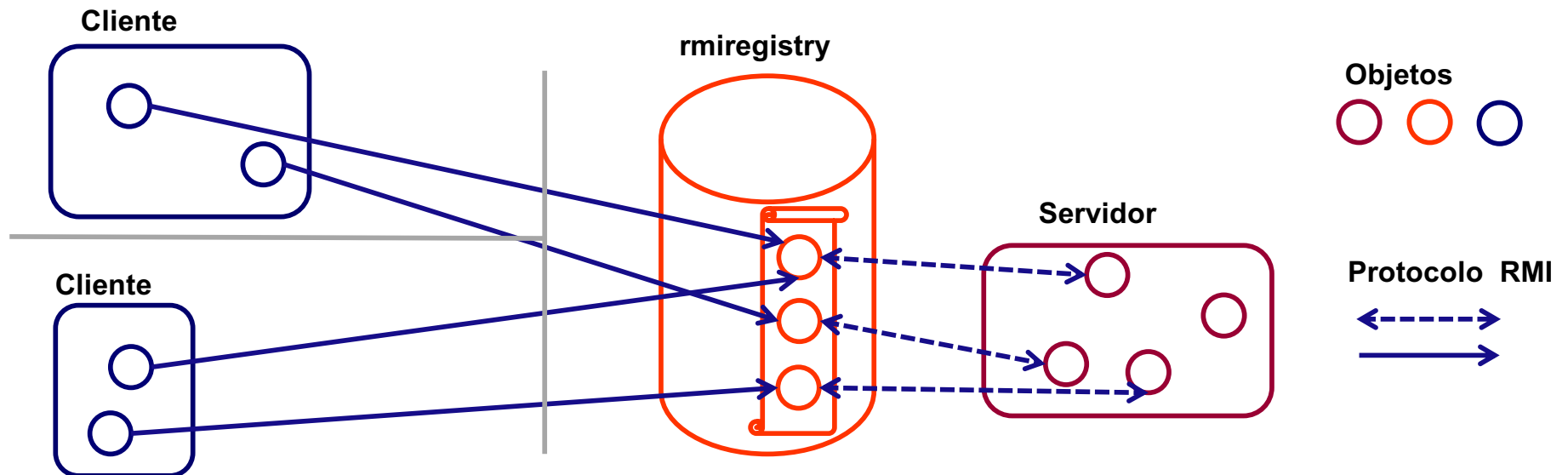
- En el modelo de objetos distribuidos de la plataforma Java, un **objeto remoto** es aquel cuyos métodos pueden invocarse desde otra JVM, posiblemente en otra computadora
- Un objeto de este tipo **se describe** mediante una o más **interfaces remotas**, que son **interfaces** Java donde se declaran los métodos del objeto remoto. Las **clases** implementan los métodos declarados en las **interfaces** y eventualmente, métodos adicionales
- **Remote method invocation** (RMI) es la acción de invocar un método en una **interfaz remota** de un objeto remoto. La invocación de un método en una **interfaz remota** sigue la misma sintaxis que en un objeto local

# Modelo de Objetos Distribuidos

- Normalmente, las aplicaciones RMI constan de dos aplicaciones separadas: **servidor** y **cliente**
- **Servidor:**
  1. Crea objetos remotos
  2. Hace accesibles las referencias a dichos objetos remotos
  3. Aguada a la invocación de métodos sobre dichos objetos remotos por parte de los clientes
- **Cliente:**
  1. Obtiene una referencia remota a uno o más objetos remotos en el servidor
  2. Invoca métodos sobre los objetos remotos
- RMI proporciona los mecanismos para que servidor y cliente se comuniquen e intercambien información. Esta aplicación normalmente se denomina **aplicación de objetos distribuidos**

# Aplicaciones de Objetos Distribuidos

- Las aplicaciones de objetos distribuidos requieren:
  - Localizar objetos remotos
    - Para ello, las aplicaciones pueden registrar sus objetos remotos utilizando el servicio `rmiregistry`, o pueden enviar y devolver referencias a objetos remotos como argumentos y resultados de procedimientos.
  - Comunicarse con objetos remotos
  - Cargar bytecodes de objetos que se pasan como parámetros o valores de retorno



# Modelos Distribuidos y no-Distribuidos

- **Similitudes:**

- Una referencia a un objeto remoto puede ser pasada como argumento o devuelta como resultado en cualquier invocación de un método (local o remoto)
- Un objeto remoto puede convertirse ("*cast*") al tipo de cualquiera de las interfaces remotas soportadas en la implementación utilizando la sintaxis para castings de Java
- Se puede utilizar el operador `instanceof` para comprobar las interfaces remotas soportadas por un objeto remoto

- **Diferencias:**

- Los clientes de objetos remotos interactúan con **interfaces** remotas, nunca con las clases que implementan dichas interfaces
- Los argumentos y resultados de una invocación remota se pasan **por copia** (no por referencia) Las referencias solo tienen sentido dentro de la misma JVM
- Los objetos remotos se pasan por referencia
- La semántica de algunos métodos de la clase `java.lang.Object` se especializan para objetos remotos
- Es necesario tratar con tipos especiales de **excepciones** por tratarse de un sistema distribuido

# Creación de Aplicaciones RMI en Java

- La utilización de Java RMI para aplicaciones distribuidas sigue las siguientes etapas:
  1. Diseñar e implementar los componentes de la aplicación distribuida\*\*
  2. Compilar el código fuente
  3. Hacer las clases accesibles a través de la red
  4. Iniciar la aplicación
- 1. Diseñar e implementar los componentes de la aplicación distribuida:

Esta etapa incluye:

  - a) Definir las interfaces remotas: Los métodos que pueden ser invocados remotamente por los clientes (sólo los de las interfaces, no los de las clases que los implementan)
  - b) Implementar los objetos remotos: Deben implementar una o más interfaces remotas (también pueden implementar otras que sólo sean locales, pero no estarán disponibles para los clientes)
  - c) Implementar los clientes

# Creación de Aplicaciones RMI en Java

## a) Definir las interfaces remotas

- b) Ejemplo: Impresión por pantalla de un mensaje de forma remota en función del identificador del proceso que lo invoca y que se pasa como parámetro: si el identificador es 0, suspende el proceso durante 5 segundos.
- c) La interfaz tendrá por nombre “Ejemplo\_I” (“*ejemplo de interfaz*”, no “ejemplo 1”). Por claridad, en lo que sigue a todas los nombres de interfaces le añadiremos el sufijo “\_I” (“subrayado *i* mayúscula”).
- d) En este caso, sólo es necesario definir un método:

“escribir\_mensaje”

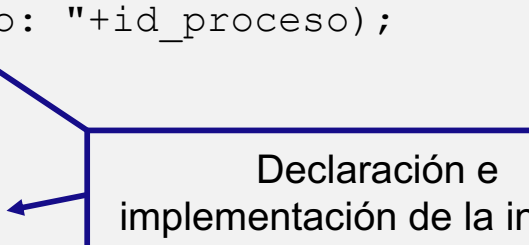
```
//Diseño de la interfaz. Fichero Ejemplo_I.java del directorio "simple"
import java.rmi.Remote;
import java.rmi.RemoteException;
public interface Ejemplo_I extends Remote {
    public void escribir_mensaje (int id_proceso) throws RemoteException;
}
```

# Creación de Aplicaciones RMI en Java

## b) Implementación del objeto remoto

```
//Implementación de la interfaz remota. Fichero Ejemplo.java del directorio
//"simple"
public class Ejemplo implements Ejemplo_I {

    public void escribir_mensaje (int id_proceso) {
        System.out.println("Recibida petición de proceso: "+id_proceso);
        if (id_proceso == 0) {
            try{
                System.out.println("Empezamos a dormir");
                Thread.sleep(5000);
                System.out.println("Terminamos de dormir");
            }
            catch (Exception e) {
                System.err.println("Ejemplo exception:");
                e.printStackTrace();
            }
        }
        System.out.println("\nHebra "+id_proceso);
    }
    ...
}
```



Declaración e implementación de la interfaz



# Creación de Aplicaciones RMI en Java

- Una vez implementado el objeto remoto, necesitamos crear el objeto remoto inicial y exportarlo al entorno RMI, para habilitar la recepción de invocaciones remotas.
- Pasos a seguir:
  - Crear e instalar un **gestor de seguridad** (“**security manager**”)
  - Crear y exportar uno o más objetos remotos
  - Registrar al menos un objeto remoto en el registro RMI
- Este proceso puede realizarse dentro de algún método de inicialización de la propia clase o llevarse a cabo en cualquier otro método de otra clase. En el ejemplo, será la propia clase que implemente el objeto remoto quien lo realice.

# Creación de Aplicaciones RMI en Java

- Implementación del objeto remoto

```
//Continuación del código anterior... Fichero Ejemplo.java del directorio
//"simple"
public static void main(String[] args) {
    if (System.getSecurityManager() == null) {
        System.setSecurityManager(new SecurityManager());
    }
    try {
        Ejemplo_I prueba = new Ejemplo();
        Ejemplo_I stub =
            (Ejemplo_I) UnicastRemoteObject.exportObject(prueba, 0);
        Registry registry = LocateRegistry.getRegistry();
        String nombre_objeto_remoto = "un_nombre_para_obj_remoto";
        registry.rebind(nombre_objeto_remoto, stub);
        System.out.println("Ejemplo bound");
    } catch (Exception e) {
        System.err.println("Ejemplo exception:");
        e.printStackTrace();
    }
}
```

Instalación del gestor de seguridad

Creamos una instancia

Puerto anónimo para atender peticiones

Se selecciona en tiempo de ejecución

La exportamos y le damos un nombre con el que identificarla en el RMI registry

Mientras exista una referencia al objeto Ejemplo, local o remota, no se cerrará ni liberará su espacio de memoria por el recolector de basura

# Creación de Aplicaciones RMI en Java

## c) Implementación del cliente

```
//Implementación del cliente que accede a la interfaz remota Ejemplo_I.  
//Fichero Cliente_Ejemplo.java del directorio "simple"  
import java.rmi.registry.LocateRegistry;  
import java.rmi.registry.Registry;
```

```
public class Cliente_Ejemplo {  
    public static void main(String args[]) {  
        if (System.getSecurityManager() == null) {  
            System.setSecurityManager(new SecurityManager());  
        }  
        try {  
            Registry registry = LocateRegistry.getRegistry(args[0]);  
            System.out.println("Buscando el objeto remoto");  
            String nombre_objeto_remoto = "un_nombre_para_obj_remoto";  
            Ejemplo_I instancia_local = (Ejemplo_I)  
                registry.lookup(nombre_objeto_remoto);  
            System.out.println("Invocando el objeto remoto");  
            instancia_local.escribir_mensaje(Integer.parseInt(args[1]));  
        } catch (Exception e) {  
            System.err.println("Ejemplo_I exception:");  
            e.printStackTrace();  
        }  
    }  
}
```

Instalación del gestor de seguridad

Invocación del objeto remoto

Buscando el objeto remoto en el rmiregistry

Llamada a métodos remotos

# Creación de Aplicaciones RMI en Java

- Al igual que el servidor `Ejemplo`, el cliente comienza instalando un servidor de seguridad, necesario para que el stub local pueda descargar la definición de una clase desde el servidor.
- A continuación, el cliente almacena en una variable el nombre con el que buscar en el `registry` el objeto remoto. Utilizamos el mismo nombre que la instancia de la clase `Ejemplo` para ligar el objeto remoto ("`un_nombre_para_obj_remoto`").
- Asimismo, el cliente invoca `LocateRegistry.getRegistry` para obtener una referencia al RMI `registry` en la `máquina del servidor`, cuyo nombre se pasará como primer argumento al programa cliente (`args[0]`, p.ej.: `localhost`, `ei142168.ugr.es`, `192.168.1.104`, etc.).
- Entonces, el cliente invoca el método `lookup` en el `registry` para buscar el objeto remoto por su nombre.

# Compilación de Programas Java RMI

## 2. Compilar el código fuente

- En este caso, dado que no se trata de un programa muy complejo y que no hemos creado una estructura de paquetes, podemos compilar todos los archivos con la orden `javac *.java`, estableciendo previamente como directorio de trabajo actual aquel donde se encuentren los ficheros fuente (en este caso sería el directorio “*simple*”).
- En un entorno de trabajo real, donde los ficheros de servidor y cliente están en máquinas distintas, hay que velar por que, una vez compiladas, las clases estén públicamente accesibles a través de la red:
  - A veces no se traducen bien los nombres de hosts, y por lo tanto es mejor usar direcciones IP
  - Si se está detrás de un firewall o proxy el puerto debe estar permitido o como alternativa se puede hacer por medio de un servidor Web sencillo (ya que los puertos están abiertos y accesibles).

# Ejecución de Programas Java RMI

- Como ya hemos visto, servidor y cliente (en este caso, clases **Ejemplo** y **Cliente\_Ejemplo**, respectivamente) se ejecutan instalando un gestor de seguridad (*security manager*).
- Por esta razón, para ejecutar cualquiera de ellos es necesario especificar un **fichero de políticas de seguridad** tal que conceda al código los permisos de seguridad que necesita para ejecutarse.
- A continuación mostramos un ejemplo de fichero de políticas de seguridad que utilizaremos para lanzar servidor y cliente.

Da igual el sistema operativo: las barras deben ir siempre hacia la derecha

```
//Fichero server.policy del directorio "simple"  
grant codeBase "file:/C:/Users/froxendo/p4_RMI/simple/" {  
    permission java.security.AllPermission;  
};
```

Debe ser una URL

Este path habrá que adaptarlo a cada usuario

- En este ejemplo, se conceden todos los permisos a las clases en el **classpath** del programa local, de manera que no se conceden permisos para el código descargado desde otras ubicaciones.
- El fichero se denomina "server.policy" y lo utilizaremos al lanzar, tanto el cliente, como el servidor.

# Ejecución del Servidor

- Antes de ejecutar el programa servidor “Ejemplo”, debemos lanzar el RMI registry.
  - Esto podemos realizarlo ejecutando la orden `rmiregistry` (en Linux podemos lanzarlo en segundo plano con `&`)
  - Por defecto, el `registry` se ejecuta en el puerto 1099, y este es también el número de puerto que se utiliza en todas las operaciones con el registry (como `getRegistry`). Si queremos utilizar otro puerto, debemos pasarlo como argumento (p. ej. `rmiregistry 2011 &`), y por tanto, también en todas las operaciones con el `registry`.
- Una vez que se ha iniciado el `registry`, se puede lanzar el servidor.

```
#java -cp . -Djava.rmi.server.codebase=file:/C:/Users/froxendo/p4_RMI/simple/  
-Djava.rmi.server.hostname=localhost  
-Djava.security.policy=server.policy Ejemplo
```

Adaptar según  
usuario

Por cuestiones de **PORTABILIDAD** es preferible URLs relativas (ej. `File:./`)  
Igualmente para el fichero de políticas de seguridad.

# Ejecución del Servidor

```
#java -cp . -Djava.rmi.server.codebase=file:/C:/Users/froxendo/p4_RMI/simple/  
-Djava.rmi.server.hostname=localhost  
-Djava.security.policy=server.policy Ejemplo
```

- La orden anterior especifica distintas propiedades para el entorno Java:
  - `java.rmi.server.codebase` especifica la ubicación desde la que poder descargar definiciones de clases desde el servidor.
  - `java.rmi.server.hostname` especifica el nombre de la máquina donde colocar los stubs para los objetos remotos.
  - `java.security.policy` especifica el fichero de políticas de seguridad que se pretenden seguir o conceder.



# Ejecución del Cliente

- Una vez que el RMI `registry` y el programa servidor están ejecutándose, podemos lanzar los clientes. Para ello, debemos especificar:
  - La ubicación desde la que el cliente puede proporcionar la definición de sus clases mediante la propiedad `java.rmi.server.codebase`. En este caso, dado que el cliente (`Cliente_Ejemplo`) no envía como parámetro ninguno que sea de un tipo o clase desconocidos para el servidor, no hace falta especificarlo.
  - La propiedad `java.security.policy` con los permisos que queremos conceder al programa.
  - El nombre de la máquina (host) donde se encuentra el servidor, así como el identificador del cliente. Ambos parámetros se pasan como argumentos de la línea de comandos (`args[0]` y `args[1]`).

# Ejecución del Cliente

- Ejemplos de órdenes para lanzar clientes

```
#java -cp . -Djava.security.policy=server.policy Cliente_Ejemplo localhost 0
```

Cliente 0



```
#java -cp . -Djava.rmi.server.codebase=file:///C:/Users/froxendo/p4_RMI/  
-Djava.security.policy=server.policy Cliente_Ejemplo localhost 1
```

Cliente 1 especificando la propiedad  
java.rmi.server.codebase



# Un Ejemplo Multihebrado

- En lugar de lanzar varios clientes, creamos varias hebras que realizan la misma tarea de imprimir un mensaje remoto accediendo al stub de un objeto remoto.
- El objetivo es ver también la gestión de la concurrencia en RMI.
- En esta ocasión, en vez de pasar al objeto remoto un número entero, pasamos una cadena **String**.

```
//Diseño de la interfaz. Fichero Ejemplo_I.java del directorio "multi_hebra"  
import java.rmi.Remote;  
import java.rmi.RemoteException;  
  
public interface Ejemplo_I extends Remote {  
    public void escribir_mensaje (String mensaje) throws RemoteException;  
}
```

# Un Ejemplo Multihebrado

- Implementación del objeto remoto: programa servidor

```
//Diseño de la interfaz. Fichero Ejemplo.java del directorio "multi_hebra"
...
public class Ejemplo implements Ejemplo_I {

    public void escribir_mensaje (String mensaje) {
        System.out.println("\nEntra Hebra "+mensaje);

        //Buscamos los procesos 0, 10, 20,...
        if (mensaje.endsWith("0")) {
            try{
                System.out.println("Empezamos a dormir");
                Thread.sleep(5000);
                System.out.println("Terminamos de dormir");
            }
            catch (Exception e) {
                System.err.println("Ejemplo exception:");
                e.printStackTrace();
            }
        }
        System.out.println("Sale Hebra "+mensaje);
    }

    public static void main(String[] args) {
        if (System.getSecurityManager() == null) {
            System.setSecurityManager(new SecurityManager());
        }
        try {
            String nombre_objeto_remoto = "un_nombre_para_obj_remoto";
            ...//Igual que el anterior
        }
    }
}
```

# Un Ejemplo Multihebrado

- Programa cliente

```
//Diseño de la interfaz. Fichero Cliente_Ejemplo_Multi_Threaded.java en directorio "multi_hebra"
...
public class Cliente_Ejemplo_Multi_Threaded
    implements Runnable {

    public String nombre_objeto_remoto = "un_nombre_para_obj_remoto";
    public String server;

    public Cliente_Ejemplo_Multi_Threaded (String server) {
        //Almacenamos el nombre del host servidor
        this.server = server;
    }

    public void run() {
        System.out.println("Buscando el objeto remoto");
        try {
            Registry registry = LocateRegistry.getRegistry(server);
            Ejemplo_I instancia_local = (Ejemplo_I) registry.lookup(nombre_objeto_remoto);
            System.out.println("Invocando el objeto remoto");
            instancia_local.escribir_mensaje(Thread.currentThread().getName());
        } catch (Exception e) {
            System.err.println("Ejemplo_I exception:");
            e.printStackTrace();
        }
    }
    ...
}
```

# Un Ejemplo Multihebrado

- Programa cliente (II, viene de la transparencia anterior)

```
//Diseño de la interfaz. Fichero Cliente_Ejemplo_Multi_Threaded.java en directorio "multi_hebra"
...
public static void main(String args[]) {

    if (System.getSecurityManager() == null) {
        System.setSecurityManager(new SecurityManager());
    }
    int n_hebras = Integer.parseInt(args[1]);
    //Creamos vector de hebras
    Cliente_Ejemplo_Multi_Threaded[] v_clientes = new Cliente_Ejemplo_Multi_Threaded[n_hebras];
    Thread[] v_hebras = new Thread[n_hebras];
    for (int i=0;i<n_hebras;i++) {
        //A cada hebra le pasamos el nombre el servidor
        v_clientes[i] = new Cliente_Ejemplo_Multi_Threaded(args[0]);
        v_hebras[i] = new Thread(v_clientes[i], "Cliente "+i);
        v_hebras[i].start();
    }
}
```

Cada hebra llama a la función **Cliente\_Ejemplo\_Multi\_Threaded** con el nombre del servidor y un nombre de la hebra, que luego la usaremos como parámetro en el método del servidor `escribir_mensaje`

# Ejecución de Servidor y Cliente Multihebrado

- Suponemos lanzado el *rmiregistry*

Servidor



```
#java -cp . -Djava.rmi.server.codebase=file:/C:/Users/froxendo/p4_RMI/multi_hebra/  
-Djava.rmi.server.hostname=localhost  
-Djava.security.policy=server.policy Ejemplo
```

```
#java -cp . -Djava.rmi.server.codebase=file:/C:/Users/froxendo/p4_RMI/multi_hebra/  
-Djava.security.policy=server.policy  
Cliente_Ejemplo_Multi_Threaded localhost 11
```

**Cliente:** Esta vez el segundo argumento especifica el número de hebras a crear

# Ejercicio1: Ejecución de Servidor y Cliente Multihebrado

- ¿Qué ocurre con las hebras cuyo nombre acaba en 0? ¿Qué hacen las demás hebras? ¿Se entrelazan los mensajes?
  - RMI es **multihebrado**, lo que habilita la gestión concurrente de las peticiones de los clientes.
  - Esto también implica que las implementaciones de los objetos remotos han de ser seguras (*thread-safe*).
- Prueba a introducir el modificador **synchronized** en el método de la implementación remota: `public synchronized void escribir_mensaje (String mensaje) {...` y trata de entender las diferencias en la ejecución de los programas.



# Ejercicio propuesto 2:

## Servidores replicados

- El servidor será un servidor replicado para recibir donaciones.
- Cada réplica proporcionará dos operaciones:
  - Registro de una entidad (cliente)
  - Depósito de una donación (previamente registrado el cliente).
- Cuando una entidad desea registrarse y contacta con cualquiera de las dos réplicas del servidor.
- El registro del cliente debe ocurrir en la réplica con menos entidades registradas.
- El cliente realizará los depósitos en la réplica del servidor donde ha sido registrado.
- Cada réplica del servidor mantendrá el subtotal de las donaciones realizadas en dicha replica.
- Un cliente no podrá registrarse más de una vez, ni siquiera en replicas distintas.
- Los servidores ofrecerán una operación de consulta del total donado en un momento dado, realizando la operación oportuna con la otra replica.

# Ejercicio propuesto 1:

## Servidor replicado de donaciones

