

Relaciones entre clases en Java

Ricardo Pérez López

IES Doñana, curso 2020/2021



Generado el 23 de abril de 2021 a las 00:04:00

1. Asociaciones básicas

2. Generalización

3. Polimorfismo

4. Restricciones

1. Asociaciones básicas

1.1 Agregación

1.2 Composición

1.1. Agregación

Agregación

- ▶ La **agregación** se consigue haciendo que el objeto agregador contenga, entre sus variables de instancia, una referencia al objeto agregado.
- ▶ Para que sea agregación, la vida del objeto agregado **no** debe depender necesariamente del objeto agregador; es decir, que al destruirse el objeto agregador, eso no signifique que se tenga que destruir también al objeto agregado.
- ▶ Eso implica que puede haber en el programa varias referencias al objeto agregado, no sólo la que almacena el agregador.
- ▶ Lo habitual en la agregación es que la variable de instancia que almacene la referencia al objeto agregado se asigne, o bien directamente (si la variable tiene la suficiente visibilidad) o bien a través de un método que reciba la referencia y se la asigne a la variable de instancia.
- ▶ Ese método puede ser (y suele ser) un constructor de la clase.

► Ejemplo:

```
class Agregador {  
    private Agregado ag;  
  
    public Agregador(Agregado ag) {  
        setAg(ag);  
    }  
  
    public Agregado getAg() {  
        return ag;  
    }  
  
    public void setAg(Agregado ag) {  
        this.ag = ag;  
    }  
}
```

- En la agregación, es frecuente encontrarnos con métodos *getter* y *setter* para la variable de instancia que hace referencia al agregado.

1.2. Composición

Composición

- ▶ La **composición** se consigue haciendo que el objeto compuesto contenga, entre sus variables de instancia, una referencia al objeto componente.
- ▶ Para que sea composición, la vida del objeto componente **debe depender** necesariamente del objeto compuesto; es decir, que al destruirse el objeto compuesto, se debe destruir también al objeto componente.
- ▶ Eso implica que sólo puede haber en el programa una sola referencia al objeto componente, que es la que almacena el objeto compuesto.
- ▶ Por eso, lo habitual en la composición es que el objeto compuesto sea el responsable de crear al objeto componente.
- ▶ Normalmente, no hay *setters* para el componente y, en caso de haber *getters*, deberían devolver una copia del objeto componente, y no el objeto componente original.

2. Generalización

2.1 Declaración

2.2 Subtipado entre tipos referencia

2.3 Herencia

2.4 La clase `Object`

2.5 Visibilidad protegida

2.1. Declaración

Declaración

- ▶ Java es un lenguaje con generalización simple, por lo que una clase sólo puede ser subclase directa de una única clase.
- ▶ La relación de generalización directa entre dos clases se declara en la propia definición de la subclase usando la cláusula **extends**:

```
⟨clase⟩ ::= [public] [abstract | final] class ⟨subclase⟩ extends ⟨superclase⟩ {  
    ⟨miembro⟩*  
}
```

donde *⟨subclase⟩* y *⟨superclase⟩* son los nombres de la subclase directa y la superclase directa, respectivamente.

- ▶ Cuando no se especifica la superclase directa a la hora de definir una clase, el compilador sobreentiende que esa clase es subclase directa de la clase **Object**.
- ▶ **No es posible crear subclases de clases finales**, que son las clases declaradas con el modificador **final**.

2.2. Subtipado entre tipos referencia

Subtipado entre tipos referencia

- ▶ A partir de ese momento, se introduce en el sistema de tipos una regla que dice que:

$$\langle \textit{subclase} \rangle <_1 \langle \textit{superclase} \rangle$$

- ▶ Por tanto, se puede decir que el tipo definido por la subclase es un subtipo del tipo definido por la superclase.
- ▶ Esto va a permitir, entre otras cosas, el **polimorfismo** entre la subclase y la superclase.

2.3. Herencia

Herencia

- ▶ Mediante el mecanismo de la herencia, una subclase hereda ciertos miembros de sus superclases (directas o indirectas), dependiendo de la visibilidad de esos miembros.
- ▶ Los miembros con visibilidad **privada** no se heredan.
- ▶ Los miembros con visibilidad **pública** se heredan siempre.
- ▶ Los miembros con visibilidad **predeterminada** se heredan si la subclase y la superclase pertenecen al mismo paquete.
- ▶ Los miembros con visibilidad **protegida** se heredan siempre, aunque la subclase y la superclase pertenezcan a paquetes distintos.

2.4. La clase `Object`

La clase Object

- ▶ La clase `Object` es la raíz de la jerarquía de clases en Java.
- ▶ Toda clase en Java es subclase (directa o indirecta) de `Object`.
- ▶ Eso significa que todas las clases heredarán los métodos definidos en `Object`.
- ▶ Los más interesantes son `equals`, `hashCode` y `toString`.
- ▶ Más información en:

`https:`

`//docs.oracle.com/en/java/javase/14/docs/api/java.base/java/lang/Object.html`

2.5. Visibilidad protegida

Visibilidad protegida

- ▶ La visibilidad protegida está pensada para cuando queremos limitar la visibilidad de un miembro de una clase a sus posibles subclases.
- ▶ Pero no debemos olvidar que, en Java, un miembro con visibilidad protegida también puede ser accesible desde cualquier clase que pertenezca al mismo paquete que la clase donde está declarado el miembro.
- ▶ Las variables protegidas de una clase son visibles para sus subclases, pero sólo a través de objetos del tipo de la subclase o sus subtipos.

En otras palabras, **una subclase puede ver una variable protegida de su superclase como una variable heredada, pero no puede acceder a esa misma variable a través de una referencia a la propia superclase.**

- ▶ Esto puede parecer un poco confuso al principio, ya que puede que no resulte obvio que los modificadores de visibilidad no restringen el acceso entre instancias de la misma clase de la misma manera que restringen el acceso entre instancias de diferentes clases.
- ▶ **Dos instancias de la misma clase pueden acceder a todos los miembros de la otra, incluidos los privados, siempre que se acceda a través de una referencia del tipo correcto.**

Dicho de otra manera: dos instancias de `Gato` pueden acceder a todas las variables y métodos de cada uno (incluidos los privados), pero un `Gato` no puede acceder a un miembro protegido de una instancia de `Animal` a menos que el compilador pueda probar que el `Animal` es un `Gato`.

3. Polimorfismo

3.1 El principio de sustitución de Liskov

3.2 Sobreescritura de métodos

3.1. El principio de sustitución de Liskov

3.1.1 Ligadura temprana (*early binding*)

El principio de sustitución de Liskov

- ▶ Recordemos que, por el principio de sustitución de Liskov, se puede usar una instancia de una clase allí donde se espere una instancia de una superclase suya:

```
Base b = new Derivada(); // Si «Derivada» es subclase de «Base»
```

Eso hace que el tipo estático y el tipo dinámico de `b` puedan no coincidir.

- ▶ ¿Qué ocurre si intentamos invocar un método sobre `b`?

```
b.metodo();
```

- ▶ En un lenguaje de tipado estático como Java, el compilador comprueba que el método que se quiere invocar sobre un objeto es compatible con el tipo declarado (el tipo *estático*) para ese objeto.
- ▶ Eso quiere decir que el compilador tiene que determinar, en tiempo de compilación, si un objeto de ese tipo puede responder a la invocación de ese método.

Ligadura temprana (*early binding*)

- ▶ Para ello (es decir, para comprobar si el método es compatible con el tipo del objeto), el compilador hace un análisis estático de la expresión en la que se invoca al método para determinar cuál es el tipo estático del objeto sobre el que se está invocando.
- ▶ Eso significa que, en la invocación:

`<expr>.m()`

el compilador determina el tipo de `<expr>` en tiempo de compilación, y comprueba si el método `m` es compatible con ese tipo.

Por ejemplo, si ese tipo es una clase, comprueba si el método está definido en esa clase.

- ▶ Como esa comprobación se hace en tiempo de compilación y buscando el tipo estático, al mecanismo de comprobación de la existencia del método se le denomina **ligadura temprana (*early binding*)**.

► Ejemplos:

- Si se está invocando el método sobre una variable, el tipo será el tipo estático de la variable:

```
Trabajador t; // Declara la variable de tipo «Trabajador» (tipo estático)
t = new Docente(); // «t» contiene una referencia a un objeto
t.despedir(); // El método «despedir» debe ser compatible con «Trabajador»
```

- Si se está invocando el método sobre una expresión más complicada, el tipo será el tipo de esa expresión calculado por el compilador en tiempo de compilación:

```
// El método «despedir» debe ser compatible con «Docente», porque un
// docente es un trabajador:
(new Docente()).despedir();
```

Aquí, la expresión (`new Docente()`) tiene el tipo `Docente`, cosa que el compilador puede calcular perfectamente.

3.2. Sobreescritura de métodos

3.2.1 Despacho dinámico (*dynamic dispatch*)

3.2.2 Sobreescritura y visibilidad

3.2.3 Sobreescritura de variables

3.2.4 `super`

3.2.5 Covarianza en el tipo de retorno

3.2.6 Invarianza en el tipo de los argumentos

3.2.7 Sobreescritura de `equals`

3.2.8 Sobreescritura de `hashCode`

Sobreescritura de métodos

- ▶ Los métodos heredados desde una superclase (siempre que no se hayan marcado como `final`) se pueden sobreescribir.
- ▶ **Sobreescribir o redefinir un método heredado** consiste en definir, en la subclase, un método (el método que *sobreescribe* o que *redefine*) con el mismo nombre y la misma lista de parámetros que el método heredado de la superclase (el método *sobreescrito* o *redefinido*).
- ▶ El tipo de retorno del método que redefine tiene que ser *compatible* con el tipo de retorno del método redefinido, cosa que estudiaremos luego con más profundidad.
Por ahora sólo diremos que si dos tipos de retorno son iguales, entonces son compatibles.
- ▶ En Java, se recomienda (pero no es obligatorio) que el método que redefine (el de la subclase) se defina usando el decorador `@Override`.

► Ejemplo:

```
class Base {  
    public String hola(String s) {  
        return "Hola, " + s + ", soy la clase Base";  
    }  
}  
  
class Derivada extends Base {  
    @Override  
    public String hola(String s) {  
        return "Hola, " + s + ", soy la clase Derivada";  
    }  
}
```

Despacho dinámico (*dynamic dispatch*)

- ▶ Al invocar un método sobre un objeto, **el método concreto que se ejecutará dependerá del *tipo dinámico* del objeto sobre el que se invoca el método.**
- ▶ Por tanto, el método que acabará ejecutándose se elige en tiempo de ejecución dependiendo del objeto que recibe el mensaje, es decir, dependiendo del objeto sobre el que se está intentando invocar el método.
- ▶ A este mecanismo se le denomina **despacho dinámico (*dynamic dispatch*)**.

Java implementa el despacho dinámico en todos los métodos excepto en los **private**, **final** o **static**.

Ejemplo

```
class Base {
    public String hola(String s) {
        return "Hola, " + s + ", soy la clase Base";
    }
}

class Derivada extends Base {
    @Override
    public String hola(String s) {
        return "Hola, " + s + ", soy la clase Derivada";
    }
}

class Principal {
    public static void main(String[] args) {
        Base a = new Base();
        Derivada b = new Derivada();
        Base c = new Derivada();
        a.hola("Pepe");           // Invoca el «hola» de «Base»
        b.hola("Pepe");           // Invoca el «hola» de «Derivada»
        c.hola("Pepe");           // Invoca el «hola» de «Derivada»
    }
}
```

► Imprime:

```
Hola, Pepe, soy la clase Base
Hola, Pepe, soy la clase Derivada
Hola, Pepe, soy la clase Derivada
```

- ▶ La **ligadura temprana** (*early binding*) garantiza, *en tiempo de compilación*, que es seguro ejecutar el método `hola` sobre los objetos que hay en las variables `a`, `b` y `c`, ya que todas ellas tienen un tipo estático compatible con la existencia de un método `hola` (las clases `Base` y `Derivada` disponen del método `hola`).
- ▶ El **despacho dinámico** (*dynamic dispatch*) selecciona, *en tiempo de ejecución*, el método concreto que se ejecutará al invocar al método `hola` sobre los objetos que hay en las variables `a`, `b` y `c`, según el tipo dinámico del objeto que recibe el mensaje.

Por ejemplo:

- El objeto que hay en la variable `a` es una instancia de `Base`, por lo que el método `hola` que se ejecutará será el de `Base`.
- El objeto que hay en la variable `c` es una instancia de `Derivada`, por lo que el método `hola` que se ejecutará será el de `Derivada`.

Esto es así aunque ambas variables (`a` y `c`) estén declaradas de tipo `Base`, porque lo que importa aquí es el tipo dinámico, no el estático.

- En el siguiente ejemplo, un método llama a otro. El método que se ejecute dependerá del tipo dinámico del objeto sobre el que se invoque:

```
1  class Base {
2      public void hola() {
3          System.out.println(nombre());
4      }
5
6      public String nombre() {
7          return "Base";
8      }
9  }
10
11  class Derivada extends Base {
12      public String nombre() {
13          return "Derivada";
14      }
15  }
16
17  public class Principal {
18      public static void main(String[] args) {
19          Base b = new Derivada();
20          b.hola();
21      }
22  }
```

- Imprime:

Derivada

- El motivo por el que el método `hola` imprime `Derivada` y no `Base` es el siguiente:
 - El método es invocado sobre un objeto de la clase `Derivada`.
 - El método no está redefinido; tan sólo existe un método `hola` y está en la clase `Base`.
 - Por tanto, dentro de ese método, la referencia `this` tiene el tipo estático `Base`.
 - En cambio, en esa invocación concreta del método, `this` tiene el tipo dinámico `Derivada`.
 - La sentencia de la línea 3 equivale a la siguiente (con el `this`):

```
System.out.println(this.nombre());
```

en la que se invoca a `nombre` sobre un objeto cuyo tipo dinámico es `Derivada`.

- Por tanto, se acaba invocando al método `nombre` de `Derivada`, que devuelve `Derivada`.

Sobreescritura y visibilidad

- **La subclase no puede reducir la visibilidad del método redefinido.** Por tanto, el método que redefine debe tener, al menos, la misma visibilidad que el método redefinido, pero nunca menos.

```
class Base {  
    protected String hola(String s) {  
        return "Hola, " + s + ", soy la clase Base";  
    }  
}  
  
class Derivada extends Base {  
    @Override  
    private String hola(String s) {    // Error: reduce la visibilidad  
        return "Hola, " + s + ", soy la clase Derivada";  
    }  
}
```

- Sí que se puede ampliar la visibilidad:

```
class Derivada extends Base {  
    @Override  
    private String hola(String s) {    // Esto sí se permite  
        return "Hola, " + s + ", soy la clase Derivada";  
    }  
}
```

- ▶ Esta restricción tiene sentido si recordamos que un dato de un subtipo debe poder usarse en cualquier sitio donde se espere un dato de un supertipo.
- ▶ Por ejemplo, un `Mamífero` es una subclase de `Animal` y, por tanto, debe poderse usar allí donde se espere un `Animal`.

Es decir: un `Mamífero` es un `Animal`.

- ▶ Si pudiéramos sobrecribir un método con otro método menos visible, entonces podríamos tener el problema de que el `Mamífero` no podría ser capaz de hacer todo lo que puede hacer un `Animal`.

Sobreescritura de variables

- ▶ Las variables (de instancia o estáticas) de una clase se pueden redefinir sin restricción alguna, simplemente declarando en la subclase una variable con el mismo nombre que la variable heredada de una superclase, sin importar el tipo.
- ▶ Por tanto, las dos variables (la definida en la subclase y la definida en la superclase) pueden tener el mismo nombre pero distinto tipo.
- ▶ Asimismo, las dos variables pueden tener cualquier visibilidad; es decir, la visibilidad de ambas variables es independiente una de la otra.
- ▶ A todos los efectos, **son variables completamente diferentes**.
- ▶ Es como si la variable de la subclase **hiciese sombra** a la de la superclase.

- Aquí, las dos variables de instancia `x` son distintas e independientes:

```
class Base {  
    public int x;                // Esta es una variable...  
}  
  
class Derivada extends Base {  
    protected String x;        // ... y esta es otra distinta  
  
    public String getX() {  
        return x;              // Accede a la «x» de Derivada  
    }  
}  
  
public class Prueba {  
    public static void main(String[] args) {  
        Base b = new Base();  
        Derivada d = new Derivada();  
        Base bd = new Derivada();  
        b.x = 4;                // Accede a la «x» de Base  
        d.x = "Hola";          // Accede a la «x» de Derivada  
        bd.x = 5;              // Accede a la «x» de Base  
        System.out.println(d.getX()); // Imprime «Hola»  
        System.out.println(bd.getX()); // Imprime «Hola»  
    }  
}
```

- Imprime:

Hola
Hola

- ▶ Con las variables no se hace *despacho dinámico*, sino *ligadura temprana*. Por tanto, **las variables se resuelven en tiempo de compilación**, lo que puede dar lugar a resultados sorprendentes.
- ▶ Por ejemplo:

```
class Base {  
    public String nombre = "Base";  
  
    public String getNombre() {  
        return nombre;  
    }  
}  
  
class Derivada extends Base {  
    protected String nombre = "Derivada";  
}  
  
public class Prueba {  
    public static void main(String[] args) {  
        Base b = new Base();  
        Derivada d = new Derivada();  
        Base bd = new Derivada();  
        System.out.println(b.getNombre());  
        System.out.println(d.getNombre());  
        System.out.println(bd.getNombre());  
    }  
}
```

- ▶ Imprime:

Base
Base
Base

- En cambio, si se redefine el método `getNombre`, el resultado es distinto:

```
class Base {  
    public String nombre = "Base";  
  
    public String getNombre() {  
        return nombre;  
    }  
}  
  
class Derivada extends Base {  
    protected String nombre = "Derivada";  
  
    public String getNombre() {  
        return nombre;  
    }  
}  
  
public class Prueba {  
    public static void main(String[] args) {  
        Base b = new Base();  
        Derivada d = new Derivada();  
        Base bd = new Derivada();  
        System.out.println(b.getNombre());  
        System.out.println(d.getNombre());  
        System.out.println(bd.getNombre());  
    }  
}
```

- Imprime:

Base
Derivada
Derivada

- ▶ El motivo es que la ligadura temprana tiene en cuenta el **tipo estático** de un objeto (no el dinámico) al resolver una variable de instancia del objeto.
- ▶ Recordemos que:

```
public String getNombre() {  
    return nombre;  
}
```

equivale a:

```
public String getNombre() {  
    return this.nombre;  
}
```

- ▶ En el método `getNombre` de `Base`, la referencia `this` tiene el tipo estático `Base`. Por eso, el `getNombre` de `Base` accede siempre al `nombre` de `Base`.
- ▶ En cambio, en el mismo método redefinido en `Derivada`, la referencia `this` tiene el tipo estático `Derivada`. Por eso, el `getNombre` de `Derivada` accede siempre al `nombre` de `Derivada`.

- Por tanto, en el siguiente código:

```
Base b = new Base();  
Derivada d = new Derivada();  
Base bd = new Derivada();  
System.out.println(b.getNombre()); // Imprime «Base»  
System.out.println(d.getNombre()); // Imprime «Derivada»  
System.out.println(bd.getNombre()); // Imprime «Derivada»
```

tenemos que:

- `b.getNombre()` llama al método de `Base`, el cual accede al `nombre` de `Base`.
- `d.getNombre()` llama al método de `Derivada`, el cual accede al `nombre` de `Derivada`.
- `bd.getNombre()` llama al método de `Derivada`, el cual accede al `nombre` de `Derivada`.

super

- ▶ En Java, la palabra reservada **super** es una variable especial que se puede usar dentro de una clase y que hace referencia a un objeto de la superclase directa de la clase actual.
- ▶ Cuando se crea una instancia de una clase, automáticamente se crea de forma implícita una instancia de su superclase directa, a la que se tiene acceso a través de la variable **super**.
- ▶ A través de esa variable, se puede invocar métodos de la superclase directa o acceder a variables de instancia de la superclase directa.

- Acceder a una variable de instancia de la superclase directa:

```
class Animal {
    String color = "blanco";
}

class Perro extends Animal {
    String color = "negro";

    void imprimirColor() {
        System.out.println(color);           // imprime el color de Perro
        System.out.println(super.color);     // imprime el color de Animal
    }
}

public class Prueba {
    public static void main(String args[]) {
        Perro p = new Perro();
        p.imprimirColor();
    }
}
```

- Imprime:

negro
blanco

- Ejecutar un método de instancia de la superclase directa:

```
class Animal {  
    void comer () {  
        System.out.println("Comiendo...");  
    }  
}  
  
class Dog extends Animal {  
    void comer() {  
        System.out.println("Comiendo pan...");  
    }  
    void ladrar() {  
        System.out.println("Ladrando...");  
    }  
    void hacer() {  
        super.comer();  
        ladrar();  
    }  
}  
  
public class Prueba {  
    public static void main(String args[]) {  
        Perro p = new Perro();  
        p.hacer();  
    }  
}
```

- Imprime:

Comiendo...
Ladrando...

- Invocar al constructor de la superclase directa:

```
class Animal {  
    Animal() {  
        System.out.println("Se ha creado un animal");  
    }  
}  
  
class Perro extends Animal {  
    Perro() {  
        super();  
        System.out.println("Se ha creado un perro");  
    }  
}  
  
public class Prueba {  
    public static void main(String args[]) {  
        Perro p = new Perro();  
    }  
}
```

- Imprime:

```
Se ha creado un animal  
Se ha creado un perro
```

- El compilador introduce automáticamente una llamada a **super()** como primera sentencia del constructor de la subclase si éste no incluye ninguna llamada a **super()** o **this()**:

```
class Bicicleta {  
    Bicicleta() {  
        // sentencias  
    }  
}
```

→ compilador →

```
class Bicicleta {  
    Bicicleta() {  
        super();  
        // sentencias  
    }  
}
```

- Sabemos que, si una clase no tiene constructores, el compilador introduce un constructor por defecto. En ese caso, ese constructor por defecto también llamará a **super()** como primera sentencia:

```
class Bicicleta {  
}
```

→ compilador →

```
class Bicicleta {  
    Bicicleta() {  
        super();  
    }  
}
```

► Por ejemplo:

```
class Animal {  
    Animal(){  
        System.out.println("Se ha creado un animal");  
    }  
}  
  
class Perro extends Animal {  
    Perro() {  
        System.out.println("Se ha creado un perro");  
    }  
}  
  
public class Prueba {  
    public static void main(String args[]) {  
        Perro p = new Perro();  
    }  
}
```

► Imprime:

Se ha creado un animal

Se ha creado un perro

Covarianza en el tipo de retorno

- ▶ El tipo de retorno del método redefinido y del método que lo redefine deben ser **compatibles**.
- ▶ El objetivo a alcanzar es que sea seguro (desde el punto de vista del sistema de tipos) usar un método con un determinado tipo de retorno donde se espera usar un método con un tipo de retorno diferente.
- ▶ La teoría de tipos afirma que es seguro sustituir un método `f` por otro método `g` si `f` devuelve un valor de un tipo más general que `g`.
- ▶ Por ejemplo, si tenemos que `Gato <: Animal`, y hay un método que devuelve un valor de tipo `Animal`, es seguro sustituir ese método por otro que devuelva un valor de tipo `Gato`.
- ▶ Precisamente, lo que hace la sobreescritura de métodos es sustituir un método por otro. Por tanto, es importante que esa sustitución se haga de forma que resulte segura.

- ▶ La compatibilidad entre el tipo de retorno de un método redefinido y el de un método que lo redefine, se establece en Java por medio de estas dos reglas:

- Si el tipo de retorno es un **tipo primitivo**, los dos tipos de retorno deben ser **el mismo**.

Por ejemplo: si el tipo de retorno del método redefinido es `int`, el del método que lo redefine también deberá ser `int`.

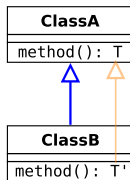
- Si el tipo de retorno es un **tipo referencia**, el tipo de retorno del método que redefine debe ser un **subtipo** del tipo de retorno del método redefinido.

Por ejemplo: si el tipo de retorno del método redefinido es `Number`, el tipo de retorno del método que lo redefine deberá ser un subtipo de `Number` (lo que incluye al propio `Number`).

- Esto se puede resumir diciendo:

En Java, las clases son **covariantes** en el tipo de retorno de sus métodos.

- Es decir, que el tipo de retorno de los métodos puede cambiar en la misma dirección que la subclase:



- En consecuencia, el tipo de un método redefinido puede sustituirse en el método que lo redefine por otro tipo «más estrecho», es decir, por un subtipo del tipo original.

- ▶ Es importante recordar que la covarianza sólo está permitida entre tipos referencia, no entre tipos primitivos.
- ▶ Más formalmente, supongamos que S y T son dos clases que cumplen que $S <: T$ y, además, ambas clases definen un método m (definido en T y redefinido en S) de forma que:
 - el tipo de retorno de m en S es $R1$
 - el tipo de retorno de m en T es $R2$
- ▶ En tal caso, decimos que el sistema de tipos de un lenguaje de programación orientado a objetos admite **covarianza en el tipo de retorno** si se tiene que cumplir que $R1 <: R2$.
- ▶ Esta regla garantiza seguridad en el tipo del método cuando se invoca el método redefiniendo sobre instancias de la subclase.

- ▶ En general, la covarianza es una propiedad que puede tener un tipo compuesto a partir de otros.
- ▶ Sean A y B dos tipos en un sistema de tipos, y sean $T\langle A \rangle$ y $T\langle B \rangle$ dos tipos contruidos sobre A y B , respectivamente. Si $A <: B$, se dice que:
 - T es **covariante** si $T\langle A \rangle <: T\langle B \rangle$.
 - T es **contravariante** si $T\langle B \rangle <: T\langle A \rangle$.
 - T es **invariante** si no es covariante ni contravariante.
- ▶ T se denomina en este contexto un constructor de tipos.
- ▶ Nótese que si T se construye con más de un parámetro, puede ser covariante o contravariante de forma indistinta en cada uno de ellos.

- ▶ El tipo que representa la signatura de un método se puede escribir como $S\langle\bar{P}, R\rangle$, donde:
 - \bar{P} representa la tupla de todos los tipos que aparecen en la lista de parámetros, en el orden en el que aparecen.
 - R representa el tipo del resultado del método.
- ▶ Podemos decir que si un método f tiene la signatura $S\langle\bar{P}, R_1\rangle$ y otro método g tiene la signatura $S\langle\bar{P}, R_2\rangle$, siempre se debe cumplir que:

Si $R_1 <: R_2$, entonces $S\langle\bar{P}, R_1\rangle <: S\langle\bar{P}, R_2\rangle$.

- ▶ O, dicho de otra forma: es seguro (desde el punto de vista del sistema de tipos) sustituir el método g por el método f ya que el tipo de retorno de f es un subtipo de el de g .

Este es un resultado de la teoría de tipos.

- El tipo de una clase T (que indicaremos como T) puede interpretarse como un tipo compuesto por los tipos de retorno de sus métodos.

Por ejemplo, si la clase T tiene un método m con tipo de retorno R , el tipo de la clase lo podemos representar como $T\langle R \rangle$.

- En ese caso, decimos que $T\langle R_1 \rangle <: T\langle R_2 \rangle$ si $R_1 <: R_2$.
- Es decir: una clase A es subtipo de otra clase B si ambas tienen el mismo método pero el tipo de retorno del método en A es subtipo del tipo de retorno del mismo método en B .
- Esa es precisamente la definición de **covarianza**: un tipo compuesto es covariante cuando cumple la condición anterior.

Invarianza en el tipo de los argumentos

- ▶ Los tipos de los parámetros del método redefinido deben coincidir exactamente con los tipos de los parámetros del método que lo redefine, lo que se puede resumir diciendo:

En Java, las clases son **invariantes** en los tipos de los parámetros de sus métodos.

- ▶ Si los tipos de los parámetros no son idénticos, entonces lo que se está haciendo es una sobrecarga en lugar de una redefinición.
- ▶ Por eso siempre es conveniente usar el decorador `@Override` para asegurarse de que no está ocurriendo ésto accidentalmente.

4. Restricciones

4.1 Clases y métodos abstractos

4.2 Clases y métodos finales

4.1. Clases y métodos abstractos

4.2. Clases y métodos finales