# Tema 4: Herencia y polimorfismo

## Tecnología de la Programación de Videojuegos 1

Grado en Desarrollo de Videojuegos

Curso 2023-2024

Miguel Gómez-Zamalloa Gil con cambios de Rubén Rubio Cuéllar

Departamento de Sistemas Informáticos y Computación

Universidad Complutense de Madrid

# Introducción

- La herencia y el polimorfismo son las características propias más importantes de la POO
- La herencia permite reutilizar código, definiendo nuevas clases a partir de otras ya existentes, formando jerarquías
- Si la clase B hereda de la clase A:

```
class B : public A {...};
```

  - La clase A se denomina clase base o madre de B, mientras que B se denomina clase derivada, subclase o hija de A.
  - La clase B hereda todos los métodos y atributos de la clase A
  - Puede definir nuevos atributos y/o métodos, o también redefinir métodos heredados

- Se puede heredar de una clase (herencia simple) o de varias clases (herencia múltiple)

# Sintaxis de la herencia en C++

- Sintaxis de herencia simple:

```
class B : TipoHerencia A {...};
```

  - Indica que la clase B hereda de A
  - *TipoHerencia* especifica el tipo de herencia, que en C++ puede ser: `public`, `protected` y `private`

- Por ahora nos limitamos a la herencia simple y pública (la más habitual en orientación a objetos):

```
class B : public A {...};
```

⚠ Por defecto la herencia es privada en C++

# Niveles de protección

- Además de los niveles de protección `private` y `public`, existe el nivel `protected` para métodos y atributos
  - El nivel `protected` indica que éstos pueden ser utilizados dentro de la implementación de una clase que herede de ella
  - En cualquier otra situación se comportan como privados
- En la implementación de una subclase podemos utilizar todos los elementos públicos y protegidos (`protected`) de la clase base, pero no los privados

# Niveles de protección

| Declaración de método o atributo | Accesible desde la propia clase | Accesible desde subclases | Accesible para las demás |
|---|---|---|---|
| `public` | sí | sí | sí |
| `protected` | sí | sí | NO |
| `private` | sí | NO | NO |

# Niveles de protección

`class Hija : tipo` Base

| Declaración en Base | public | protected | private |
|---|---|---|---|
| public | public | protected | private |
| protected | protected | protected | private |
| private | innacesible | innacesible | innacesible |

Como si en Hija se hubiera declarado...

# Ejemplo

```
class Base {
private: // no accesible desde las subclases
   int x, y;
protected: // accesible desde las subclases
   int nx, ny;
   void init() { x = 0; y = 0; nx = 0; ny = 0; }
public: // accesible para todos
   Base() : x(0), y(0), nx(0), ny(0) {}
   Base(int a, int b) : x(a), y(b), nx(a), ny(b) {}
   void set(int a, int b, int na, int nb) {
      x = a; y = b;
      nx = na; ny = nb;
   }
   int getX()  const { return x; }
   int getY()  const { return y; }
   int getNX() const { return nx; }
   int getNY() const { return ny; }
};
```

# Ejemplo

```
class Hija: public Base { // Hija tiene los atributos y métodos de Base
private:
   Vector2D p1, p2;    // y nuevos atributos
   int z;
public:
   void actualizaN() {  // nuevo método
      init();           // Correcto, init es protected
      p1.setX(nx);      // Correcto, nx es protected
      z = y + ny;       // INCORRECTO -> z = getY() + ny;
      set(2, 3, z, z);  // Correcto
   }
   Vector2D getP1() const { return p1; }
   const Vector2D& getP2() const { return p2; }
};
```

# Constructoras

- La constructora de una subclase invoca, implícita o explícitamente, en primer lugar, a una constructora de la clase base.
  - Explícitamente: mediante llamada a una constructora de la clase base en la secuencia de inicialización
  - Implícitamente: si no se especifica una, se invoca automáticamente a la constructora por defecto de la clase base. Si no existe → Error

**Orden en la construcción de un objeto:**

1. Una constructora de la clase base
2. Las constructoras de los nuevos atributos (de tipo clase) de la clase (y/o la secuencia de inicialización)
3. El bloque de código de la constructora de la clase

Recuerda que al crearse un objeto con **new**, se ejecuta la constructora del objeto que se crea

# Constructoras

- Supongamos que declaramos la variable

```
Hija h;
```

  - ¿Qué constructora se ejecuta?

- Como la clase Hija no tiene definida ninguna constructora, se ejecuta su constructora por defecto:

  1. La constructora por defecto de la clase Base
     - Si no existe → Error de compilación
  2. Las constructoras por defecto de los nuevos atributos de Hija, en el orden textual de la declaración: p1 y p2 (z es básico, no se inicia por defecto).
     - Si alguna no existe → Error de compilación

# Constructoras

- Si añadimos a la clase Hija una constructora sin argumentos:

```
Hija() { set(1, 1, 1, 1); z = 7; }
```

- Al declarar `Hija h;` se ejecutarán
  1. La constructora por defecto de la clase Base
     - Si no existe → Error de compilación
  2. Las constructoras por defecto de los nuevos atributos de Hija, en el orden textual de la declaración: `p1` y `p2` (`z` es básico, no se inicia por defecto)
     - Si alguna no existe → Error de compilación
  3. El bloque de instrucciones de la constructora de Hija

- El compilador completa automáticamente la sec. de inicialización:

```
Hija() : Base(), p1(), p2() { set(1, 1, 1, 1); z = 7; }
```

# Constructoras

- Podemos hacer una llamada explícita a la constructora con dos argumentos de la clase Base:

```
Hija() : Base(2, 3), p1(2, 2), p2(), z(7) {};
Hija(int a, int b) : Base(a, b), p1(a+2, b+1), p2() { z=7; };
```

  - Posibles declaraciones: `Hija h2(2, 3); Hija h;`

- O no hacerla, en cuyo caso el compilador completa la lista de inicializaciones con `Base()`:

```
Hija(int a) : Base(), p1(a + 2, 1), p2(), z(0) {};
```

  - Si no existe → Error de compilación

# Destructoras

- La destructora de una subclase invoca automáticamente, en último lugar, a la destructora de la clase base
  - Siempre de forma implícita (solo existe una destructora por clase)

### Orden en la destrucción de un objeto:

1. El bloque de instrucciones de la destructora de la clase hija (las variables creadas con **`new`**, hay que liberarlas con **`delete`**, y entonces se ejecuta la destructora del objeto liberado)
2. Las destructoras de los nuevos atributos de la clase hija, en el orden inverso al de la construcción
3. La destructora de la clase base

Observa que el orden es precisamente el orden inverso al orden de construcción

# Redefinición de métodos

- Una subclase puede redefinir métodos de la clase base
  - El nuevo método puede invocar al método heredado

```
class Base {
   int x, y, nx, ny;
   ...
   int suma() { return x + y + nx + ny; }
};
class Hija: public Base {
   int z;
   ...
   int suma() { // Redefinición para incluir al nuevo atributo z
      // return getX() + getY() + nx + ny + z; // Mejorable ...
      return Base::suma() + z; // Así mucho mejor
   }          // ↑ Invocación al método heredado
};
```

# Redefinición de métodos

¿Qué método se ejecuta, el heredado o el redefinido?

- Por defecto se hace enlace estático (se decide en tiempo de compilación)
- Se ejecuta el método de la clase declarada para la variable

Ejemplo:

```
Hija h(2, 3);
int n = h.suma(); // Se ejecuta Hija::suma()
h.actualizaN();   // Se ejecuta Hija::actualizaN()

Base b(2, 3);
n = b.suma();   // Se ejecuta Base::suma()
b.actualizaN(); // Error de compilación. ¡Base no tiene el método!
```

# Castings (static_cast)

## Casting ascendente (seguro)

- Al igual que con tipos básicos, el casting ascendente es seguro y automático
- Todo objeto de la clase hija lo es también de la clase base
- Ejemplos:

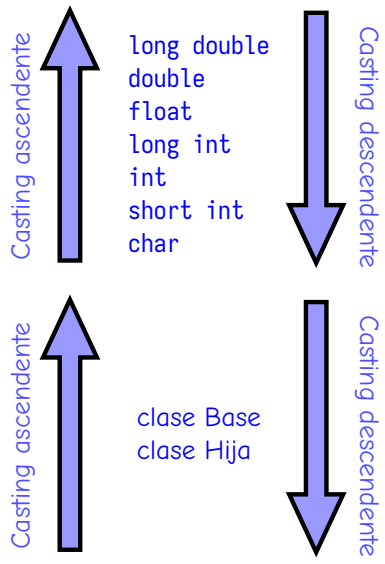
```
Base b(2,3);
Hija h(2,3);
int n = static_cast<Base>(h).suma();
```

```
Base b(2,3);
Hija h(2,3);
b = static_cast<Base>(h);
// b = h; // Sería igual
int n = b.suma(); // Base::suma()
```

## Casting descendente (no seguro)

- Si no es con punteros es muy raro
- Daría error de compilación. Requiere programar proceso de conversión (constructora por copia)

```
Base b(2,3);
Hija h(2,3);
int n = static_cast<Hija>(b).suma(); // Error de compilación
```



# Polimorfismo

Una variable Base* var puede apuntar a un objeto de cualquiera de las subclases de Base

- El polimorfismo se utiliza con punteros o referencias
- El operador de asignación para punteros simplemente copia la dirección en la variable
- Ejemplos:

```
Base b(2,3);
Hija h(2,3);
Base* pb = &h; // Hija es subclase de Base
Hija* ph = &b; // ERROR de compilación
Hija* ph = pb; // ERROR de compilación
ph = static_cast<Hija*>(pb); // Ok, pero en general mucho cuidado
ph = static_cast<Hija*>(&b); // ¡Posibles errores imprevisibles de ejecución!
```

# Polimorfismo

- El **static_cast** simplemente comprueba en compilación que los tipos son compatibles

> Su uso correcto es responsabilidad del programador

- El enlace es estático por defecto

```
Hija h(2,3);
Base* pb = &h; // Hija es subclase de Base
int n = pb->actualizaN(); // ERROR, Base no tiene el método actualizaN
n = static_cast<Hija*>(pb)->actualizaN(); // OK
n = pb->suma(); // Enlace estático, se ejecuta Base::suma
```

- Para que se ejecute el método suma de Hija (tipo del objeto apuntado por pb) hay que utilizar enlace dinámico (mediante métodos virtuales)

# Enlace dinámico (métodos virtual)

El enlace de los métodos **virtual** es dinámico: se ejecuta el método de la clase del objeto apuntado en el momento de la ejecución

```
class Base {
    ...
    virtual int suma() {
        return x + y + nx + ny;
    }
};
class Hija: public Base {
    ...
    virtual int suma() { // Redefinición para incluir al nuevo atributo z
        return Base::suma() + z;
    }
};
```

```
Hija h(2,3);
Base* pb = &h;
int n = pb->suma(); // Se ejecuta el suma del objeto real en ejecución
```

# Enlace dinámico (métodos virtual)

- Los métodos **virtual** se heredan **virtual**
- Las redefiniciones del método se pueden marcar con **override** (así el código es más legible y se evitan descuidos porque se comprueba)

```
class Base {
   virtual void f();
   void g();
}
```

```
class Hija : public Base {
   void f() override;
   void g() override;  // ERROR: no
                       // es virtual
}
```

- En lenguajes como Java el enlace es dinámico por defecto (de hecho no existe el enlace estático)
  - Anécdota: **virtual** y **override** también se usan en C#. Otros lenguajes como Julia soportan enlace dinámico múltiple (sobre todos los argumentos, no solo sobre el receptor del método).

# Polimorfismo y destructoras

- Recuerda que al final de la destructora de una clase se invoca automáticamente a la destructora de su clase base
- Importante: como con todos los métodos, por defecto la destructora se resuelve por enlace estático
- Esto puede provocar que quede basura

```
Hija* h = new Hija(2,3);
Base* pb = h;
// Se ejecuta el suma del objeto real en ejecución
int n = pb->suma();
delete pb; // ¡Se ejecuta la destructora de la clase Base!
```

# Polimorfismo y destructoras

```
class Base {
private:
   T* pt; // Objeto dinámico de clase T
public:
   Base() {pt = new T(...); ... }
   ...
   ~Base() { delete pt; pt = nullptr; }
};

class Hija : public Base {
private:
   M* pm; // Objeto dinámico de clase M
public:
   Hija() : Base() { pm = new M(...); ... }
   ...
   ~Hija() { delete pm; pm = nullptr; } // Llama a destructora de Base
};
```

# Polimorfismo y destructoras

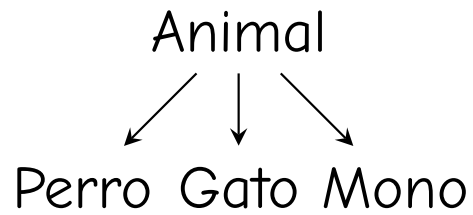
```
Hija* h = new Hija(2,3);
Base* pb = h;
int n = pb->suma(); // Se ejecuta el suma del objeto real en ejecución
delete pb; // ¡Se ejecuta la destructora de la clase Base!
```

- Quedaría sin destruir la memoria apuntada por pb
- Cada objeto debe responsabilizarse de borrar la memoria que él ha creado

La destructora siempre debe ser virtual, para que se resuelva siempre por enlace dinámico

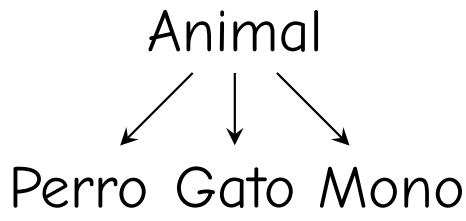
# Jerarquías de clases polimórficas

- La herencia y el polimorfismo permiten diseñar e implementar sistemas extensibles con gran facilidad
- Los programas procesan los objetos de todas las clases existentes en una jerarquía de forma genérica
- Para que una clase sea polimórfica basta con que tenga un método virtual. La destructora siempre debe ser virtual.



# Jerarquías de clases polimórficas

- Un puntero de un tipo puede apuntar a cualquier objeto de sus subclases



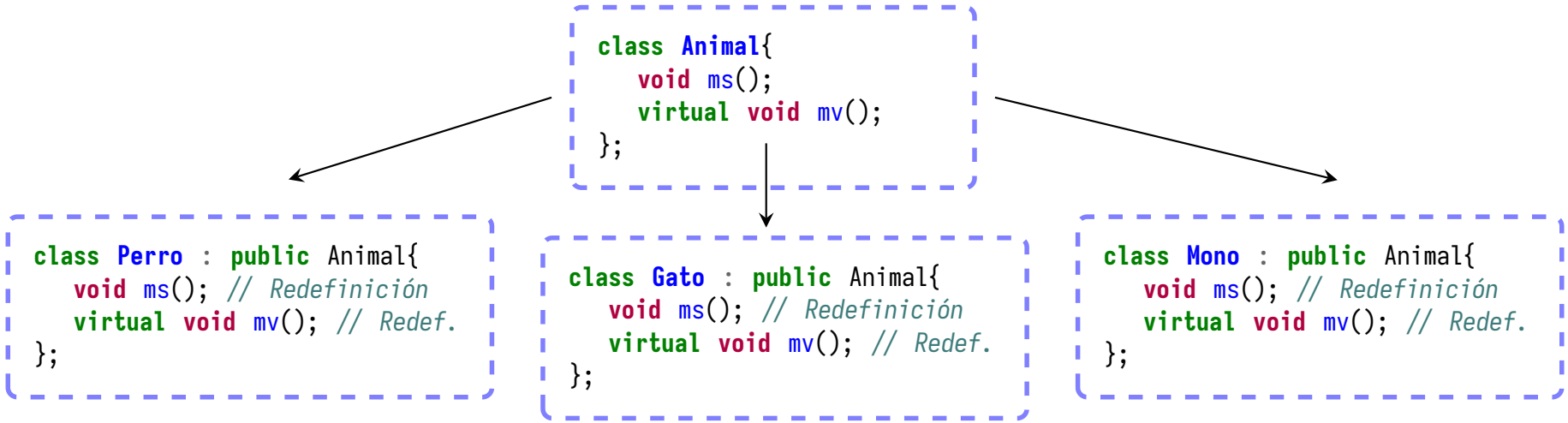

- Se establece una relación de tipo "es un"
  - ¿Un perro es un animal? → SI

```
Animal* a = new Perro(); // Correcto
```

  - ¿Un animal es un perro? → NO

```
Perro* p = new Animal(); // ¡Incorrecto! Error de compilación
```

# Jerarquías de clases polimórficas




```
Animal* as[N]; // array de elementos polimórficos (Animal es clase polimórfica)
Perro* p = new Perro();
Gato* g = new Gato();
as[0] = p; // perro es un animal
as[1] = g; // gato es un animal
as[2] = new Mono(); // mono es un animal
...
for (Animal* a : as) {
   a->ms(); // ms no es virtual -> enlace estático -> Siempre A::ms
   a->mv(); // mv es virtual -> enlace dinámico -> Ejecuta mv del objeto apuntado
}
```

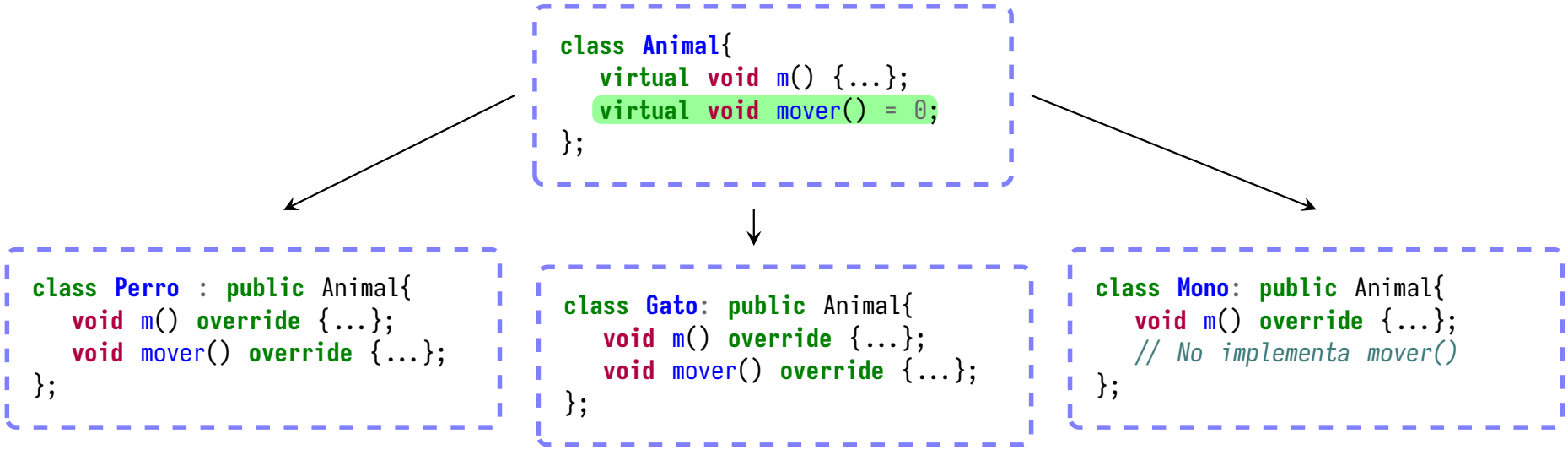
# Clases abstractas

- Una clase abstracta es una clase que no se puede instanciar, es decir, no se pueden tener objetos de esa clase, ni estáticos ni dinámicos
- Se usan como clases base de las cuales heredan otras clases para definir jerarquías
- Una clase es abstracta si no tiene constructora pública, o si tiene un método abstracto (método virtual puro)

```
virtual tipoResultado nombreMetodo(parámetros) = 0;
```

- Una clase abstracta debe tener la destructora virtual
- Una clase abstracta pura (también llamada interfaz) consta exclusivamente de métodos abstractos

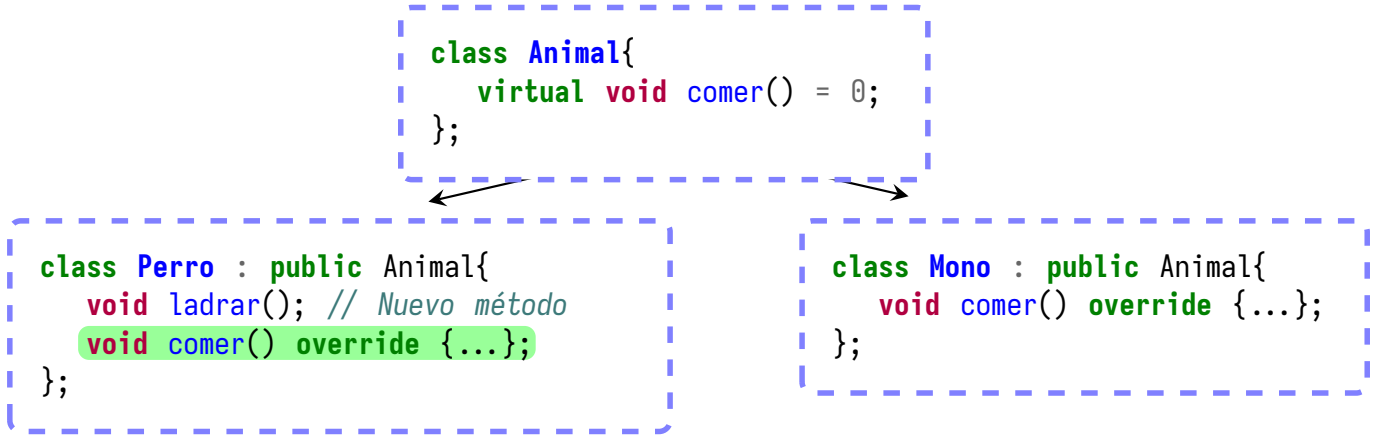
# Clases abstractas




```
Animal a; // Error: No se puede construir un objeto de Animal (es abstracta)
Animal* pa; // Correcto
pa = nullptr; // Correcto
pa = new Animal(); // Error: No se puede construir un objeto de Animal (es abstracta)
pa = new Perro(); // Correcto: Perro es concreta
pa = new Mono(); // Error: No se puede construir un objeto de Mono (tb es abstracta)
```

Una clase que hereda de una clase abstracta, si no implementa todos los métodos abstractos, sigue siendo abstracta

# Polimorfismo y métodos nuevos




```
Animal* as[N]; // array de elementos polimórficos (Animal es clase polimórfica)
Gato* g = new Gato();
as[0] = = new Perro(); // perro es un animal
as[1] = g; // gato es un animal
...
as[0]->ladrar(); // Error de compilación: Animal no sabe ladrar
static_cast<Perro*>(as[0])->ladrar(); // Se ejecuta Perro::ladrar, ¡pero cuidado!
```

No se comprueba que `as[0]` apunte a un objeto de tipo `Perro`. Si no habrá problemas impredecibles. ¡Es responsabilidad del programador!

# Casting dinámico (dynamic_cast)

- Solo se debe usar **static_cast** cuando hay seguridad 100% de que el objeto es de una clase compatible

## Casting dinámico (dynamic_cast)

- Con **dynamic_cast** se comprueba en ejecución que el tipo es compatible, si no devuelve **nullptr**
- Eso permite hacer castings más seguros:

```
Animal* as[N]; // Array de elementos polimórficos (Animal es clase polimórfica)
as[0] = new Perro(); // perro es un animal
...
Perro* p = dynamic_cast<Perro*>(as[0]); // Se intenta dependiendo del tipo real
if (p ≠ nullptr) p->ladrar(); // Solo se invoca si el tipo es correcto
else throw "Error en casting"s;
```

- También se puede preguntar en ejecución por un tipo con **typeid**

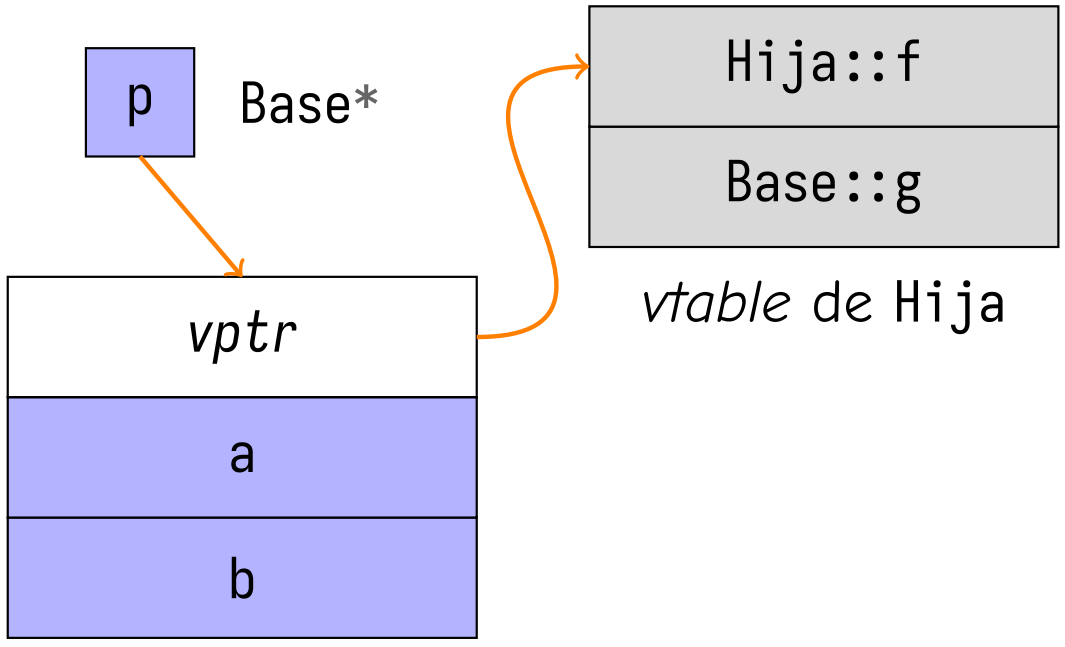
```
if (typeid(*as[0]) == typeid(Perro)) ...
```

# Implementación del enlace dinámico

Cada objeto polimórfico tiene un puntero a su tabla de métodos virtuales:

```
class Base {
    int a;
    virtual f();
    virtual g();
};

class Hija
  : public Base {
    int b;
    f() override;
}
```



# Herencia y excepciones

Sintaxis:

```
try {
      // Código que puede generar excepciones
      // o que se debe proteger de éstas, evitando su ejecución

} // Después del bloque try, la secuencia de cláusulas catch
catch(Tipo1[& var]) { /* código de tratamiento para Tipo1 */ }
catch(Tipo2[& var]) { /* código de tratamiento para Tipo2 */ }
  ...
catch(TipoN[& var]) { /* código de tratamiento para TipoN */ }
catch (...) { /* código de tratamiento else (opcional) */ }
// "fin-try-catch" siguiente instrucción al try-catch
```

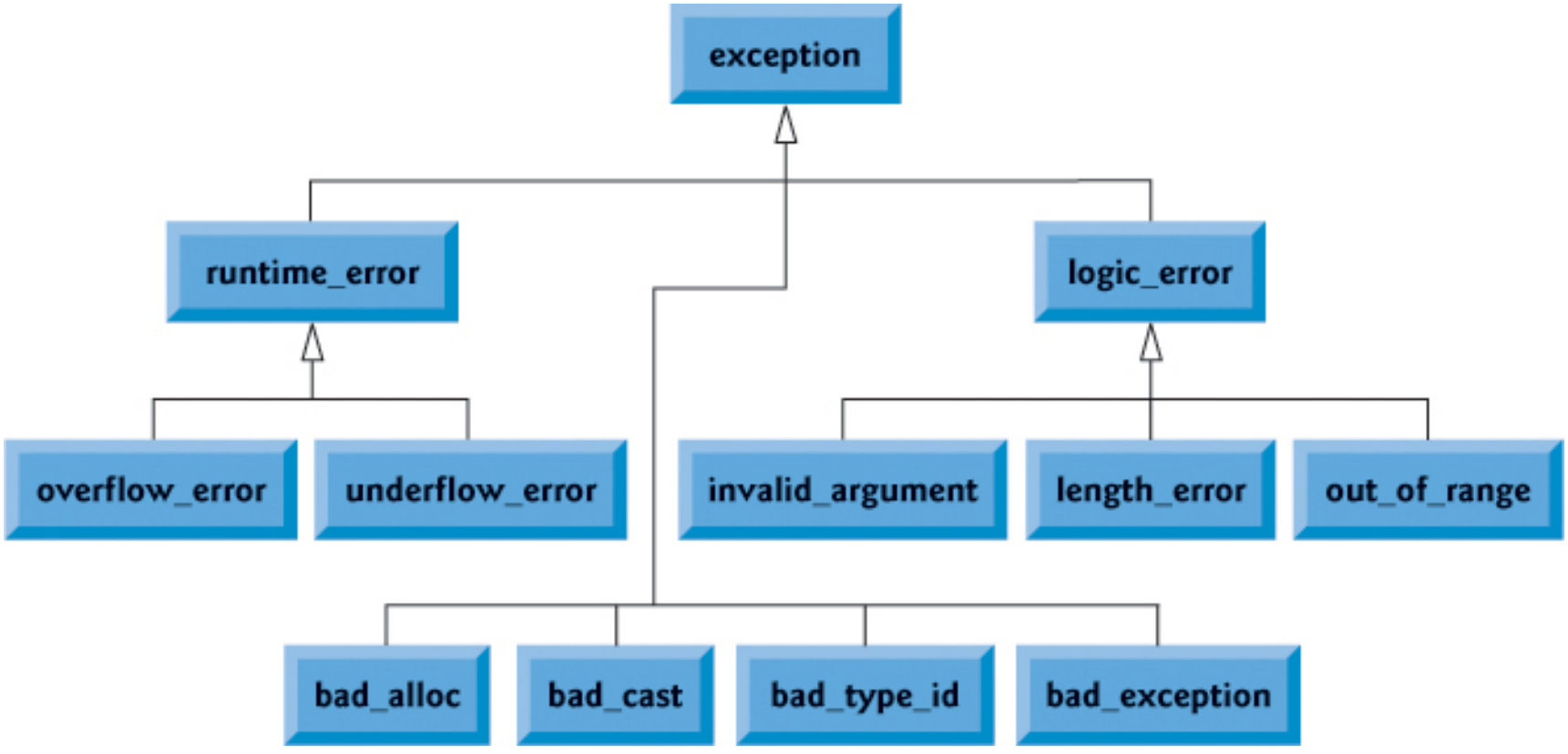
Las cláusulas **catch** se prueban secuencialmente hasta que una captura la excepción lanzada, y el control de la ejecución del programa pasa al bloque de código de dicha cláusula.

# Herencia y excepciones

- Normalmente las excepciones se declaran formando jerarquías
- En C++ estándar, la clase base de la jerarquía es `exception`, clase definida en la cabecera `<exception>`, con un método virtual `const char* what()` y constructora sin argumento
- Algunas subclases de exception: `bad_alloc`, `bad_typeid`, `overflow_error`, `out_of_range`, `invalid_argument`, ...
- Algunas tienen una constructora con un argumento de tipo `string` o `char*`, para el mensaje que describe el error y que se puede consultar con el método `what()`
- Podemos definir nuestras propias clases de excepciones a partir de alguna de las clases existentes o de forma independiente

# Jerarquía de la biblioteca estándar

Jerarquía básica de la biblioteca estándar:




En los estándares C++11 y C++17 hay varias más

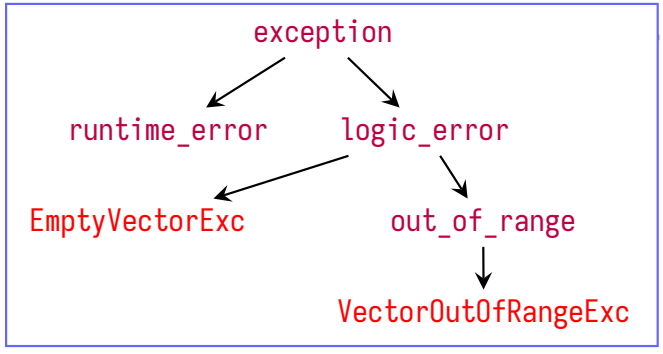
- https://en.cppreference.com/w/cpp/error/exception

# Herencia y excepciones

- Podemos simplemente heredar para tener nuevos tipos

```
class EmptyVectorExc : public logic_error {
public:
   EmptyVectorExc(const string& m) : logic_error("Empty vector. " + m) {};
};
```

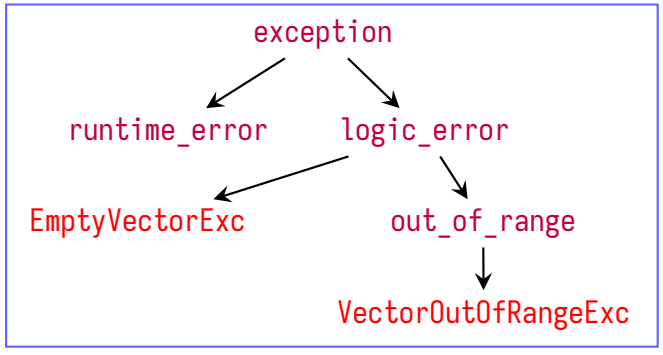
- O añadir nuevo comportamiento para hacer cosas más sofisticadas




```
class VectorOutOfRangeExc : public out_of_range {
protected:
   int index;
   int rangeIni;
   int rangeEnd;
public:
   VectorOutOfRangeExc(const string& m, int i, int rIni, int rEnd) :
   out_of_range(m + "Invalid access at pos. " + to_string(i) +
      ". Valid range is [" + to_string(rIni) + "," + to_string(rEnd) + "]"),
      index(i), rangeIni(rIni), rangeEnd(rEnd) {};
};
```

# Herencia y excepciones

Las secuencias de **catch** se suelen ordenar de los tipos más específicos a los más generales




```
try {
      // Código que puede generar excepciones
      // o que se debe proteger de éstas
}
catch (EmptyVectorExc& e) { /* código para EmptyVectorExc */ }
catch (VectorOutOfRangeExc &e) { /* código para VectorOutOfRangeExc */ }
catch (logic_error &e) { /* código para logic_error */ }
catch (exception &e) { /* código para exception */ }
catch (...) { /* código de tratamiento de otros errores */ }
// "fin-try-catch" siguiente instrucción al try-catch
```