

Relaciones entre clases

Ricardo Pérez López

IES Doñana, curso 2020/2021

Generado el 9 de febrero de 2021 a las 10:37:00

Índice general

1. Relaciones básicas	1
1.1. Introducción	2
1.2. Asociación	4
1.3. Dependencia	5
1.4. Agregación	5
1.5. Composición	7
2. Herencia	9
2.1. Generalización	10
2.2. Herencia	11
2.3. Modos	11
2.3.1. Herencia simple	11
2.3.2. La clase <i>object</i>	15
2.3.3. Herencia múltiple	16
3. Polimorfismo	20
3.1. Concepto	20
3.2. Principio de sustitución de Liskov	21
3.3. <i>Duck typing</i>	23
3.4. Sobreescritura de métodos	24
3.5. <i>super</i>	26
3.6. Sobreescritura de constructores	27
3.7. Clases abstractas y métodos abstractos	27
4. Herencia vs. composición	31
4.1. Herencia vs. composición	31

1. Relaciones básicas

1.1. Introducción

Los objetos de un programa interactúan entre sí durante la ejecución del mismo, por lo que decimos que **los objetos se relacionan entre sí**.

Las **relaciones entre objetos** pueden ser de varios tipos.

Por ejemplo, cuando un objeto **envía un mensaje** a otro, tenemos un ejemplo de relación del tipo **usa** (el primer objeto «usa» al segundo).

Otras veces, los objetos **contienen** a otros objetos, o bien **forman parte** de otros objetos.

Finalmente, a veces las relaciones entre los objetos son meramente **conceptuales**:

- Son relaciones que **no se reflejan** directamente **en el código fuente** del programa, sino que aparecen durante el **análisis** del problema a resolver o como parte del **diseño** de la solución, en las etapas de análisis y diseño del sistema.

A la relación específica que se da entre dos objetos concretos se denomina **enlace**.

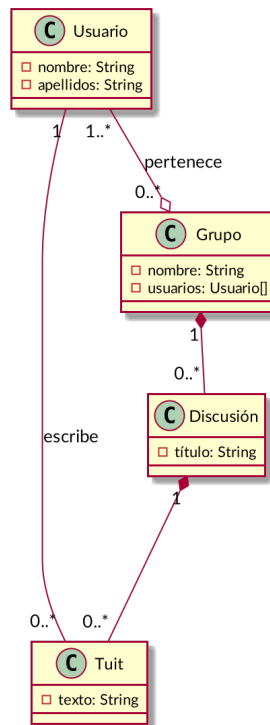
Cuando una o varias instancias de una clase está relacionada con una o varias instancias de otra clase, también podemos decir que ambas clases están relacionadas.

Una **relación entre clases** representa un conjunto de posibles relaciones entre instancias de esas clases (un **conjunto de enlaces**).

Las relaciones entre clases se pueden representar gráficamente en los llamados **diagramas de clases**.

Esos diagramas se construyen usando un **lenguaje de modelado** visual llamado **UML**, que se estudia con detalle en el módulo *Entornos de desarrollo*.

Entre otras cosas, el lenguaje UML describe los distintos *tipos de relaciones entre clases* que se pueden dar en un sistema orientado a objetos y cómo se representan y se identifican gráficamente.



Ejemplo de diagrama de clases

La **multiplicidad de una clase en una relación** representa la cantidad de instancias de esa clase que se pueden relacionar con una instancia de la otra clase en esa relación.

El lenguaje UML también describe la sintaxis y la semántica de las posibles *multiplicidades* que se pueden dar en una relación entre clases.

Esas multiplicidades también aparecen en los diagramas de clases.

Ejemplos de sintaxis:

- n : exactamente n instancias (siendo n un número entero).
- $*$: cualquier número de instancias.
- $n..m$: de n a m instancias.
- $n..*$: de n instancias en adelante.

En el módulo de *Programación* sólo trabajaremos con las relaciones que se reflejen en el código fuente del programa y que, por tanto, formen parte del mismo.

Por tanto, las **relaciones conceptuales** que se puedan establecer a nivel semántico durante el análisis o el diseño del sistema no se verán aquí y sólo se trabajarán en *Entornos de desarrollo*.

En ese módulo también se estudia que los diagramas de clases son una forma de **modelar la estructura y el funcionamiento de un sistema**.

Está relacionado también con el **modelo de datos** que se construye en el módulo de *Bases de datos*.

Todos estos **artefactos** (código fuente, diagrama de clases y modelo de datos) representan puntos de vista distintos pero complementarios del mismo sistema.

1.2. Asociación

Una **asociación** simple es una relación *genérica* que se establece entre dos clases.

Se utiliza cuando se quiere representar el hecho de que las dos clases están relacionadas de alguna manera **distinta a la de otros tipos de relaciones más específicas** (dependencia, agregación, composición, generalización, etc.).

Tiene más interés en el módulo de *Entornos de desarrollo*, ya que se usa principalmente durante el análisis y diseño preliminar del sistema.

En *Programación* tiene menos utilidad y casi siempre se puede sustituir por otro tipo de relación más específica.

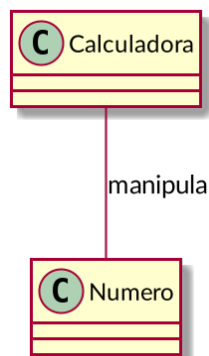
Las asociaciones suelen llevar nombre, ya que representan una relación conceptual y hay que aclarar cuál es (normalmente es un nombre asociado al **dominio del problema**).

En ese sentido, se parecen mucho a las relaciones del **modelo Entidad-Relación** que se estudia en *Bases de datos*.

Por ejemplo, si estamos construyendo una aplicación que simule una calculadora, podríamos tener las clases *Calculadora* y *Numero*.

En ese caso, podríamos decir que se establece una *asociación* entre las clases *Calculadora* y *Numero*: la calculadora *manipula* números.

Dicha asociación se puede representar así en un diagrama de clases, usando el lenguaje UML:



La asociación se llama *manipula* y representa una relación que se da conceptualmente en el modelo que estamos haciendo de nuestra aplicación.

No hay más pistas sobre qué quiere decir *manipular* números.

Puede ser útil durante el análisis pero no nos ayuda mucho en *Programación*.

1.3. Dependencia

Una **dependencia** es un tipo de relación que representa el hecho de que una clase depende de otra por algún motivo.

Ese motivo se indica en la misma dependencia usando un **estereotipo**.

Un *estereotipo* es una etiqueta entre comillas («») que acompaña a la relación y que indica de qué tipo es, o bien aporta más información.

En *Programación* se puede usar, entre otras cosas, para representar el hecho de que una clase «usa» a la otra de alguna forma.

Por ejemplo, cuando un método de una clase necesita acceder a una instancia de otra clase.

En ese caso, esa instancia la puede recibir como argumento, o bien puede crearla y destruirla el propio método.

También cuando una clase llama a un método de la otra clase.

Siguiendo con el ejemplo anterior de la calculadora, si partimos del siguiente código:

```
class Calculadora:
    @staticmethod
    def suma(x, y):
        """Devuelve la suma de dos instancias de la clase Numero."""
        return x.get_valor() + y.get_valor()
```

Aquí ya tenemos claro que se establece una *dependencia* entre las clases *Calculadora* y *Numero*: la clase *Calculadora* «usa» a la clase *Numero*.

Esa dependencia se representa gráficamente así:



En lugar del estereotipo «usa», también podríamos haber usado el estereotipo «llama», que representa el hecho de que la clase origen llama a algún método de la clase destino.

1.4. Agregación

La **agregación** es una relación que se establece entre una clase (la **agregadora**) y otra clase (la **agregada**).

Representa la relación «**tiene**»: la agregadora *tiene* a la agregada.

Podríamos decir que la clase agregada **forma parte** de la agregadora, pero de una forma **débil**, ya que los objetos de la clase agregadora y de la clase agregada tienen su existencia propia, independiente unos de otros.

Por tanto, un objeto agregado puede estar en varios objetos agregadores al mismo tiempo.

Para ello, los objetos de la clase agregadora **almacenan referencias** a los objetos agregados pero esas no tienen por qué ser las únicas referencias a esos objetos que existen en el programa.

Por tanto:

- La clase agregada puede formar parte de varias clases agregadoras.
- Según sea el caso, un objeto de la clase agregada puede existir aunque no forme parte de ningún objeto de la clase agregadora.
- La clase agregadora no tiene por qué ser la responsable de crear el objeto agregado, sino que ese objeto ya puede haber sido creado en otra parte del programa.
- La clase agregadora no es la responsable de que del objeto agregado permanezca existiendo mientras forme parte de la agregadora.
- Cuando se destruye un objeto de la clase agregadora, no está obligado a destruir los objetos de la clase agregada.

Ejemplo

Los grupos tienen alumnos. Un alumno puede pertenecer a varios grupos, y un alumno existe por sí mismo aunque no pertenezca a ningún grupo.

La clase **Grupo** «agrega» a la clase **Alumno** y contiene referencias a los alumnos del grupo.



```
class Grupo:
    def __init__(self):
        self.__alumnos = [] # Guarda una lista de referencias a Alumnos

    def get_alumnos(self):
```

```

    return self.__alumnos

def meter_alumno(self, alumno):
    self.__alumnos.append(alumno)

def sacar_alumno(self, alumno):
    try:
        self.__alumnos.remove(alumno)
    except ValueError:
        raise ValueError("El alumno no está en el grupo")

daw1 = Grupo()           # Los objetos los crea...
pepe = Alumno()          # ... el programa principal, así que ...
juan = Alumno()          # ... ningún objeto crea a otro.
daw1.meter_alumno(pepe)  # Metemos en __alumnos una referencia a pepe
                        # (ahora hay dos referencias al mismo alumno)
daw1.meter_alumno(juan)  # Metemos en __alumnos una referencia a juan
                        # (ahora hay dos referencias al mismo alumno)
daw1.sacar_alumno(pepe)  # Eliminamos de __alumnos la referencia a pepe
daw2 = Grupo()           # Se crea otro grupo
daw2.meter_alumno(juan)  # juan está en daw1 y daw2 al mismo tiempo
                        # (ahora hay tres referencias al mismo alumno)

```

1.5. Composición

La **composición** es una relación que se establece entre una clase (la clase **compuesta**) y otra clase (la clase **componente**).

Representa la relación «**está compuesto por**»: la compuesta *está compuesta por* sus componentes.

También se puede decir que la clase componente **forma parte** de la clase compuesta, pero de una forma **fuerte**, ya que los objetos componentes sólo pueden existir como parte de un objeto compuesto.

Para ello, los objetos de la clase compuesta **almacenan referencias** de los objetos componentes, pero de manera que esas referencias no se pueden compartir entre varios objetos compuestos y son las únicas referencias que existen de esos objetos componentes.

Por tanto:

- Un objeto componente sólo puede formar parte de un único objeto compuesto.
- Un objeto componente sólo debe existir como parte de un objeto compuesto (no debe tener existencia propia fuera del objeto compuesto).
- La clase compuesta puede crear sus objetos componentes (y normalmente ocurre así) pero no es estrictamente necesario.
- La clase compuesta es responsable de almacenar las únicas referencias que deben existir de todos sus objetos componentes.
- Cuando se destruye un objeto compuesto, se deben destruir todos sus objetos componentes.

Ejemplo

En Twitter, una cuenta tiene una serie de tuits. Cada tuit debe pertenecer a una cuenta, pero no pueden pertenecer a más de una cuenta al mismo tiempo. Cuando se elimina una cuenta, se eliminan

todos sus tuits.

Junto al rombo relleno siempre habrá una multiplicidad de “1,” ya que un componente sólo puede formar parte de un objeto compuesto.



La clase `Tuit` podría ser tan sencilla como:

```

class Tuit:
    def __init__(self, texto):
        self.__texto = texto
        self.__ident = id(self)

    def get_ident(self):
        return self.__ident
  
```

Primera opción, donde la clase `Cuenta` se encarga de crear el tuit:

```

class Cuenta:
    def __init__(self):
        self.__tuits = [] # Guarda una lista de referencias a Tuits

    def get_tuits(self):
        return self.__tuits[:] # Devuelve una copia

    def crear_tuit(self, texto):
        t = Tuit(texto) # El tuit se crea dentro de la cuenta
        self.__alumnos.append(t) # La cuenta almacena el tuit
        return t.get_ident() # Devuelve el id del tuit

    def eliminar_tuit(self, ident):
        for t in self.__tuits:
            if t.get_ident() == ident:
                self.__alumnos.remove(t)
                return
        raise ValueError("No existe ningún tuit con ese id")

c1 = Cuenta()
id1 = c1.crear_tuit("Este módulo es muy bonito")
id2 = c1.crear_tuit("Me encanta DAW")
c2 = Cuenta()
id3 = c2.crear_tuit("Odio Programación")
  
```

Segunda opción, donde el tuit se crea fuera de la clase `Cuenta` y luego se envía a ésta:


```

class Cuenta:
    def __init__(self):
        self.__tuits = [] # Guarda una lista de referencias a Tuits

    def get_tuits(self):
        return self.__tuits[:] # Devuelve una copia

    def guardar_tuit(self, tuit):
        self.__alumnos.append(tuit) # La cuenta almacena el tuit
        return tuit.get_ident()

    def eliminar_tuit(self, ident):
        for t in self.__tuits:
            if t.get_ident() == ident:
                self.__alumnos.remove(t)
                return
        raise ValueError("No existe ningún tuit con ese id")

# Los tuits se crean fuera de la clase Cuenta, pero justo a continuación
# se envían a la cuenta. Así, el objeto cuenta es el único que almacena
# una referencia al tuit (es la única referencia que existe de ese tuit):
c1 = Cuenta()
id1 = c1.guardar_tuit(Tuit("Este módulo es muy bonito"))
id2 = c1.guardar_tuit(Tuit("Me encanta DAW"))
c2 = Cuenta()
id3 = c2.guardar_tuit(Tuit("Odio Programación"))

```

1.5.0.1. Resumen

	Agregación	Composición
Al todo se le llama:	Agregador(a)	Compuesto/a
A la parte se le llama:	Agregado/a	Componente
Una parte puede pertenecer a:	Varios todos	Un único todo
Una parte puede existir aunque no pertenezca a un todo:	Sí	No
El todo es responsable de crear la parte:	No	Normalmente sí, pero no es necesario
El todo es responsable de almacenar la parte:	No	Sí
Cuando se destruye el todo, se debe destruir la parte:	No	Sí
Multiplicidad en el todo:	Cualquiera	1

2. Herencia

2.1. Generalización

La relación de **generalización** es un tipo de relación que se da entre una clase (la **superclase** o **clase base**) y otra clase (la **subclase** o **clase derivada**).

Representa la relación «**es un(a)**»: una instancia de la subclase también *es una* instancia de la superclase.

También se puede decir que:

- La subclase *es una* forma **más especializada** de la superclase.
- La superclase *es una* forma **más general** de la subclase.

La práctica totalidad de los lenguajes orientados a objetos permiten definir subclases a partir de otras clases, creando lo que se denominan **jerarquías de generalización**.

Por ejemplo:

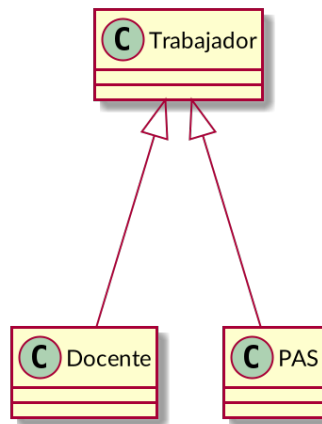
En un Instituto hay dos tipos de trabajadores: docentes y PAS (personal de administración y servicios).

Ambos comparten características comunes pero también tienen otras que los diferencian.

Todo docente «es un» trabajador, y todo PAS también «es un» trabajador.

Pero no podemos decir que todo trabajador es un docente, ya que podría ser un PAS.

Por tanto, podemos decir que tanto **Docente** como **PAS** son subclases de **Trabajador**.



Se puede usar la generalización para:

- **Cambiar o ampliar** las características de una clase creando a partir de ella otra **más especializada** (una *subclase* de la original).
- **Combinar** las características de varias clases en una clase **más general** que agrupe los elementos comunes a todas ellas (una *superclase* de las originales).

2.2. Herencia

A través de la relación de generalización, las subclases adquieren (*heredan*) las características de la superclase.

A ese mecanismo se le denomina **herencia**.

Son dos conceptos distintos pero interconectados:

- La **generalización** es la *relación* por la cual una clase se convierte en subclase de otra.
- La **herencia** es el *mecanismo* por el que una subclase adquiere características de la superclase.

La herencia puede considerarse como un mecanismo de **reutilización de código** entre la superclase y la subclase, evitando repeticiones innecesarias.

2.3. Modos

Existen dos modos de generalización, en función de la cantidad de superclases que se le permite tener a una subclase dada:

- **Generalización simple:** también llamada **herencia simple**, es cuando una subclase sólo puede tener una superclase.
- **Generalización múltiple:** también llamada **herencia múltiple**, es cuando una subclase puede tener varias superclases (no sólo una).

Hay lenguajes que sólo admiten herencia simple y lenguajes que admiten herencia múltiple.

En concreto:

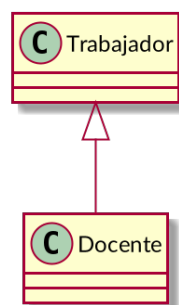
- Python soporta la herencia múltiple.
- Java sólo soporta la herencia simple.

2.3.1. Herencia simple

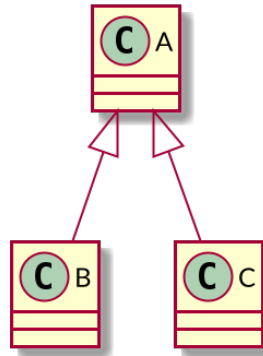
En la herencia simple, una clase sólo puede subclase de una única superclase.

Una clase siempre puede ser superclase de muchas clases, pero en la herencia simple sólo puede ser subclase de una única superclase.

Por ejemplo, el caso de un docente que también es un trabajador, de forma que la clase **Docente** sólo es subclase de **Trabajador**.

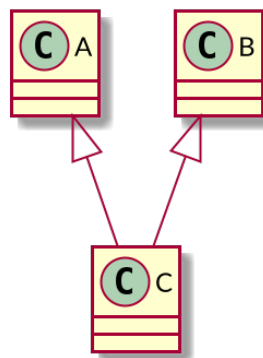


El siguiente caso también sería herencia simple, ya que tenemos dos relaciones de generalización separadas, pero ninguna subclase tiene más de una superclase:



Por tanto, lo que tenemos son dos herencias simples, no una herencia múltiple.

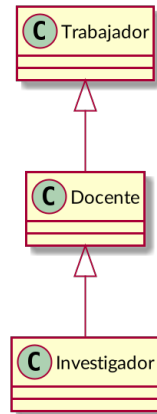
Ésto, en cambio, no sería herencia simple, sino múltiple:



Una subclase con dos superclases (herencia múltiple)

Las relaciones de generalización pueden formar una cadena tan larga como sea necesaria.

Por ejemplo, aquí tenemos **dos** relaciones de generalización simple:



Trabajador es **superclase directa** de **Docente** y **superclase indirecta** de **Investigador**.

Docente es subclase (directa) de **Trabajador** y superclase (directa) de **Investigador**.

Investigador es **subclase directa** de **Docente** y **subclase indirecta** de **Trabajador**.

La forma de codificar la herencia simple en Python es especificar el nombre de la superclase detrás del nombre de la subclase, entre paréntesis:

```
class Trabajador:
    """Trabajador es la superclase"""
    def set_nombre(self, nombre):
        self.__nombre = nombre

    def get_nombre(self):
        return self.__nombre

class Docente(Trabajador):
    """Docente es subclase de Trabajador"""
    def set_nrp(self, nrp):
        self.__nrp = nrp

    def get_nrp(self, nrp):
        return self.__nrp
```

Con este código podemos crear instancias de las clases **Trabajador** y **Docente**:

```
>>> t = Trabajador()
>>> t.set_nombre("Manolo")
>>> t.get_nombre()
'Manolo'
>>> d = Docente()
>>> d.set_nrp(273849)
>>> d.get_nrp()
273948
```

Lo interesante del mecanismo de la herencia es que la subclase adquiere las características de la superclase, por lo que la clase **Docente** también dispone de los métodos **set_nombre** y **get_nombre** heredados de **Trabajador**:

```
class Trabajador:
    """Trabajador es la superclase"""
    def set_nombre(self, nombre):
        self.__nombre = nombre

    def get_nombre(self):
        return self.__nombre

class Docente(Trabajador):
    """Docente es subclase de Trabajador"""
    def set_nrp(self, nrp):
        self.__nrp = nrp

    def get_nrp(self, nrp):
        return self.__nrp
```

```
>>> t = Trabajador()
>>> t.set_nombre("Manolo")
>>> t.get_nombre()
'Manolo'
>>> d = Docente()
>>> d.set_nrp(273849)
>>> d.get_nrp()
273948
>>> d.set_nombre("Juan")
>>> d.get_nombre()
'Juan'
```

Es como si el código de los métodos `set_nombre` y `get_nombre` se hubiesen «copiado y pegado» dentro de la clase `Docente`.

En realidad, el mecanismo funciona como una lista enlazada, más o menos como los entornos que hemos estudiado hasta ahora.

Ya hemos visto en la unidad anterior que las **definiciones de las clases** se representan internamente mediante una estructura tipo **diccionario**.

Esos diccionarios se conectan entre sí formando una **lista enlazada**, de forma que el diccionario que contiene la definición de la subclase **apunta** al diccionario de su **superclase directa**, siguiendo el camino que trazan las relaciones de generalización.

Esa lista será tan larga como sea necesario, y tendrá tantos diccionarios como clases haya en la cadena de herencia simple.

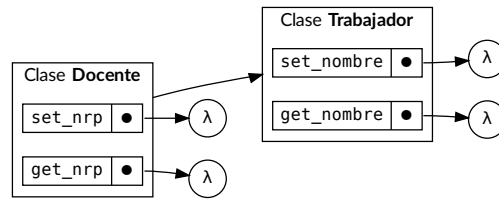
De esta forma, la herencia va *propagando* las características de la superclase a todas sus subclases (*directas e indirectas*).

En nuestro caso, el diccionario de `Docente` apunta al de `Trabajador`.

Al llamar a un método sobre un objeto, el intérprete busca el método dentro del diccionario que contiene la definición de la clase del objeto:

- Si encuentra el método, lo usa.
- Si no lo encuentra, sigue subiendo por la lista enlazada localizando el siguiente diccionario (que será el que contenga la definición de su superclase directa), buscando ahí el método solicitado.

El intérprete seguirá buscando en el resto de la lista hasta que encuentre el método o se acabe la cadena de herencia, en cuyo caso dará un error `AttributeError` por método no encontrado.



Cadena de herencia simple

Por eso podemos llamar al método `set_nombre` sobre una instancia de la clase `Docente` aunque dicha clase no tenga definido ese método.

Por el mecanismo de la herencia, el método lo hereda de su superclase `Trabajador`.

En tiempo de ejecución, cuando se encuentra una llamada al método `set_nombre`, el intérprete busca el método recorriendo la cadena de herencia representada en la lista de diccionarios:

- Primero lo busca en la definición de la clase `Docente`.
- Como no lo encuentra, a continuación lo busca en la definición de la clase `Trabajador`.
- Como ahora sí lo ha encontrado, lo ejecuta como si el método hubiese estado definido directamente en la clase `Docente`.

Al igual que ocurre con los *métodos*, las **variables de clase** también se heredan de una clase a sus subclases:

```

class A:
    cadena = "Hola"

class B(A):
    def saluda(self):
        print(B.cadena)

b = B()
b.saluda() # Imprime "Hola"
  
```

2.3.2. La clase `object`

En Python, todas las clases heredan, directa o indirectamente, de una clase predefinida especial llamada `object`.

Eso es así incluso aunque no aparezca explícitamente la clase `object` como superclase en la definición de la clase.

Por tanto, la siguiente clase es subclase de `object` aunque no sea evidente según el código:

```

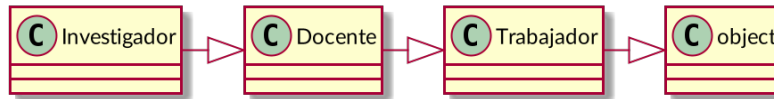
class Prueba:
    # ... definición de la clase Prueba
  
```

Así que lo anterior es equivalente a:

```
class Prueba(object):  
    # ... definición de la clase Prueba
```

Eso significa que `object` es la raíz de la jerarquía de clases en todo programa Python.

En el ejemplo anterior de los trabajadores, docentes e investigadores, en realidad tendríamos la siguiente jerarquía de clases:



Como todas las clases, predefinidas o definidas por el programador, son subclases de `object` ya sea directa o indirectamente, todas las clases heredarán los atributos (métodos y variables de clase) de la clase `object`.

La mayoría son métodos mágicos o variables mágicas (sus nombres empiezan y acaban por `__`) que traen implementaciones predeterminadas para varias operaciones básicas como `==`, `!=`, `<=`, `<`, etc.

También hay operaciones utilizadas internamente por el intérprete durante la ejecución del programa para ayudar a su funcionamiento.

2.3.3. Herencia múltiple

En la **herencia múltiple**, una subclase puede tener **varias superclases**.

La herencia múltiple amplía enormemente las posibilidades del lenguaje de programación, ya que permite el modelado de situaciones que se pueden dar con frecuencia y que se pueden expresar de forma natural generalizando una clase a partir de varias superclases simultáneamente.

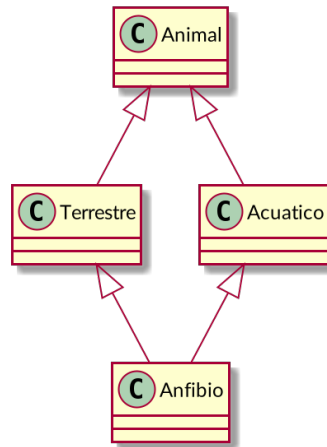
A cambio, introduce una mayor complejidad que la herencia simple a la hora de determinar qué se hereda de dónde.

Esa mayor complejidad hace que no muchos lenguajes orientados a objetos soporten la herencia múltiple, siendo los más conocidos: Python, C++, Perl y Eiffel.

Los lenguajes orientados a objetos que no soportan herencia múltiple (que son la mayoría) incorporan mecanismos que ayudan a mitigar esa carencia.

Por ejemplo, si queremos modelar el mundo animal, tenemos que hay animales terrestres, acuáticos y anfibios, de manera que estos últimos tienen características de los dos primeros.

Por tanto, podríamos modelarlo usando herencia múltiple de la siguiente manera:



Los anfibios son terrestres y acuáticos al mismo tiempo (herencia múltiple)

Y en Python se escribiría así:

```
class Animal:
    # ... definición de la clase Animal

class Terrestre(Animal):
    # ... definición de la clase Terrestre

class Acuatico(Animal):
    # ... definición de la clase Acuatico

class Anfibio(Terrestre, Acuatico):
    # ... definición de la clase Anfibio
```

Es decir: en la definición de la subclase indicamos todas las superclases que tenga, entre paréntesis y separadas por comas.

El orden en el que se escriban las superclases tiene importancia, como veremos luego.

Como `Anfibio` es subclase de `Terrestre` y de `Acuatico` al mismo tiempo, heredará los métodos de ambas clases simultáneamente.

También heredará los métodos definidos en la clase `Animal`, por la sencilla razón de que `Terrestre` y `Acuatico` también los hereda, por lo que `Anfibio` los hereda a través de estas dos.

Pero a la hora de buscar un método en la cadena de herencia, ya no es tan fácil como crear una simple lista de diccionarios como teníamos antes, ya que ahora no hay un único camino entre dos clases según las relaciones de generalización.

Por ejemplo: para ir de `Anfibio` a `Animal`, podemos pasar por `Terrestre` o por `Acuatico`.

Entonces: ¿cómo se decide ahora en qué orden se busca un método entre todas las clases de la jerarquía de herencia?

Este es el llamado problema del **orden de resolución de métodos** (*Method Resolution Order* o **MRO**).

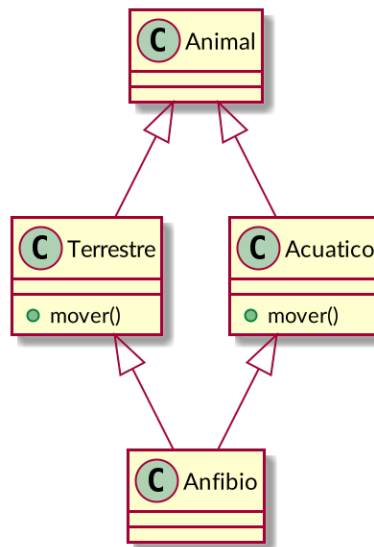
Por si fuera poco, aún tenemos otro problema que con la herencia simple no teníamos, y que es aún más complicado.

Supongamos que tanto la clase `Terrestre` como `Acuatico` disponen de un método `mover`, de forma que todos los animales terrestres se mueven caminando, mientras que los acuáticos lo hacen nadando.

Por tanto, ambas clases disponen de una implementación distinta del mismo método `mover`.

Son métodos que tienen la misma signatura pero que se comportan de distinta forma.

Tenemos, por tanto, la siguiente situación:



El método `mover` está en `Terrestre` y `Acuatico`

La pregunta es: ¿cuál de los métodos `mover` heredará `Anfibio`?

- ¿El de `Terrestre`?
- ¿El de `Acuatico`?
- ¿Los dos a la vez?

Aquí tenemos una ambigüedad que hay que resolver de alguna manera.

A este problema se le denomina **problema del diamante**.

El mecanismo para resolver esa ambigüedad depende del lenguaje.

Python implementa un mecanismo basado en un algoritmo llamado **linealización C3**, que establece un orden de prioridad entre todas las clases a la hora de seleccionar un método de la cadena de herencia.

Es decir: el algoritmo ordena las clases en una lista, de forma que las clases que aparezcan antes en la lista tendrán más prioridad a la hora de seleccionar un método.

De esta forma, si hay métodos repetidos en la cadena de herencia en clases distintas, el algoritmo seleccionará siempre uno de ellos según el orden que haya determinado para las clases.

Así, Python resuelve los dos problemas (el del MRO y el del diamante) al mismo tiempo con un solo algoritmo.

Para ver en detalle cómo funciona la linealización C3, se recomienda consultar su página en Wikipedia:

https://en.wikipedia.org/wiki/C3_linearization

A nosotros, lo que nos interesa principalmente es que el programador puede influir en el orden de resolución de métodos según el orden en el que escriba las superclases a la hora de definir la subclase.

Por tanto, no es lo mismo hacer:

```
class Anfibio(Terrestre, Acuatico):  
    # ...
```

Que hacer:

```
class Anfibio(Acuatico, Terrestre):  
    # ...
```

Si aplicamos el algoritmo en ambos casos, obtenemos resultados distintos.

En concreto, si aplicamos el algoritmo al siguiente código:

```
class Animal:  
    # ... definición de la clase Animal  
  
class Terrestre(Animal):  
    # ... definición de la clase Terrestre  
  
class Acuatico(Animal):  
    # ... definición de la clase Acuatico  
  
class Anfibio(Terrestre, Acuatico):  
    # ... definición de la clase Anfibio
```

obtenemos que el orden de resolución de métodos para la clase `Anfibio` sería la lista:

`[Anfibio, Terrestre, Acuatico, Animal, object]`

En cambio, si lo aplicamos al siguiente código:

```
class Animal:  
    # ... definición de la clase Animal  
  
class Terrestre(Animal):  
    # ... definición de la clase Terrestre  
  
class Acuatico(Animal):  
    # ... definición de la clase Acuatico
```

```
class Anfibio(Acuatico, Terrestre):  
    # ... definición de la clase Anfibio
```

el orden de resolución de métodos para la clase `Anfibio` sería:

`[Anfibio, Acuatico, Terrestre, Animal, object]`

La lista de clases que devuelve el algoritmo es la que el intérprete iría siguiendo desde el principio hasta encontrar el método solicitado.

Es decir: el algoritmo transforma una jerarquía que no es lineal en una lista lineal, por lo que volvemos a tener lo mismo que teníamos en la herencia simple: una lista enlazada de diccionarios que representan clases.

Por eso el algoritmo se llama *linealización C3*.

3. Polimorfismo

3.1. Concepto

El **polimorfismo** es una de las características básicas de la Programación Orientada a Objetos.

Decimos que **los objetos son polimórficos**.

La palabra «polimorfismo» significa «muchas formas», y se refiere al hecho de que una referencia puede apuntar a un objeto:

- cuya clase no está plenamente determinada de antemano (puede ser una cualquiera de varias clases posibles), y
- que puede pertenecer a varias clases al mismo tiempo.

Esto debido a que la generalización establece una relación «es un» entre la subclase y la superclase.

Por ejemplo, `Docente` es subclase de `Trabajador`, por lo que una instancia de la clase `Docente` también se considera una instancia (indirecta) de la clase `Trabajador` (los docentes «son» trabajadores).

Eso significa que **un objeto puede pertenecer a varias clases al mismo tiempo**, de forma que puede ser instancia directa de una clase y, al mismo tiempo, ser instancia indirecta de otras clases.

En Python existen las funciones `isinstance` y `issubclass` que nos ayudan a entender las relaciones de generalización entre clases y cuándo un objeto es instancia (directa o indirecta) de una clase.

En todo caso, se suelen usar muy poco, ya que el gran poder del polimorfismo es precisamente **escribir código que no dependa de la clase concreta a la que pertenezca un objeto**.

Por ejemplo:

```
>>> class A:  
...     pass  
...  
>>> issubclass(A, object)    # 'A' es subclase de 'object'
```

```
True
>>> issubclass(object, A)      # 'object' NO es subclase de 'A'
False
>>> issubclass(A, A)           # 'A' es subclase de sí misma
True
>>> a = A()                    # Creamos 'a' instanciando 'A'
>>> isinstance(a, A)           # 'a' es instancia (directa) de 'A'
True
>>> isinstance(a, object)      # 'a' es instancia (indirecta) de 'object'
True
>>> isinstance(a, int)         # 'a' NO es instancia de 'int'
False
```

3.2. Principio de sustitución de Liskov

Sabiendo eso, podemos enunciar el llamado **principio de sustitución de Liskov** (introducido por Barbara Liskov en 1987) y que dice así:

Principio de sustitución de Liskov

Si *S* es una subclase de *T*, entonces las instancias de *T* pueden ser sustituidas por instancias de *S* sin alterar el correcto funcionamiento del programa.

O dicho de otra forma: allí donde se espere una instancia de una determinada clase, es posible colocar una instancia de cualquier subclase suya.

Este principio es consecuencia del concepto de *generalización* entre clases, que ya conocemos.

Por ejemplo, supongamos que tenemos una función (o un método) que recibe dos objetos de la clase `Trabajador` y calcula la diferencia entre sus salarios.

En Python, podría tener este aspecto:

```
class Trabajador:
    def __init__(self, nombre, salario):
        self.set_nombre(nombre)
        self.set_salario(salario)

    def set_nombre(self, nombre):
        self.__nombre = nombre

    def get_nombre(self):
        return self.__nombre

    def set_salario(self, salario):
        self.__salario = salario

    def get_salario(self):
        return self.__salario

def diferencia_salarios(t1, t2):
    """t1 y t2 son instancias de Trabajador"""
    return t1.get_salario() - t2.get_salario()
```

La función `diferencia_salarios` supone que sus dos argumentos son instancias de la clase `Trabajador`, por lo que asume que puede invocar el método `get_salario` sobre cada uno de

ellos. De esta forma, obtiene su salario y puede calcular su diferencia:

```
>>> pepe = Trabajador("Pepe", 12500)
>>> juan = Trabajador("Juan", 8300)
>>> diferencia_salarios(pepe, juan)
4200
```

Recordemos que un docente también es un trabajador (es una subclase suya):

```
class Docente(Trabajador):
    def get_especialidad(self):
        return self.__especialidad

    def set_especialidad(self, especialidad):
        self.__especialidad = especialidad
```

Por tanto, `Docente` hereda los métodos de `Trabajador`, incluyendo `get_salario`.

Así, por el principio de sustitución, podemos enviarle como argumentos a `diferencia_salarios` instancias de la clase `Docente` en lugar de instancias de la clase `Trabajador`:

```
>>> maria = Docente("María", 18000) # Se llama al __init__ heredado de Trabajador
>>> antonio = Docente("Antonio", 15000) # Igual
>>> diferencia_salarios(maria, antonio)
3000
```

Funciona porque `diferencia_salarios` llama al método `get_salario` de los objetos que recibe, los cuales ahora son instancias de `Docente`, pero `Docente` hereda los métodos de `Trabajador` incluyendo `get_salario`.

Comprobamos que se cumple perfectamente el principio de sustitución.

La gran ventaja es que la función `diferencia_salarios` es capaz de calcular la diferencia de salarios de cualquier tipo de trabajador, ya sea un trabajador genérico o un docente, o un investigador... o incluso otro tipo que aún no existe siquiera.

Eso es así porque sabemos que todos los trabajadores (sean del tipo que sean) responden al mensaje `get_salario`.

En el código de la función `diferencia_salarios`:

```
def diferencia_salarios(t1, t2):
    """t1 y t2 son instancias de Trabajador"""
    return t1.get_salario() - t2.get_salario()
```

los argumentos `t1` y `t2` son referencias a objetos que pueden adoptar varias formas:

- Pueden ser trabajadores o pueden ser cualquier tipo específico de trabajador (docente, investigador o cualquier otro que ni siquiera exista aún).
- De hecho, pueden ser varias cosas al mismo tiempo:
 - * Pueden ser docentes y trabajadores al mismo tiempo.

- * O pueden ser investigadores, docentes y trabajadores al mismo tiempo.
- * Etcétera.

Por eso se dice que `t1` y `t2` son objetos polimórficos.

3.3. Duck typing

En un lenguaje de tipado dinámico como Python, el principio de sustitución y el polimorfismo adoptan un enfoque aún más extremo.

Si volvemos al código de la función `diferencia_salarios`:

```
def diferencia_salarios(t1, t2):  
    """t1 y t2 son instancias de Trabajador"""  
    return t1.get_salario() - t2.get_salario()
```

observamos que en ningún momento se exige que `t1` y `t2` sean instancias (directas o indirectas) de la clase `Trabajador`.

En realidad, lo único que necesita la función es que tanto `t1` como `t2` respondan al mensaje `get_salario` sin recibir ningún argumento y devolviendo un número (para que luego se puedan restar).

Por tanto, cualquier objeto de cualquier clase nos valdría siempre que cumpliera la condición anterior; no hace falta que sean trabajadores.

En los lenguajes dinámicos hay un dicho que afirma:

«Si camina como un pato y habla como un pato, entonces es un pato.»

A esto se le conoce como **duck typing**, y significa que **lo importante no es la clase** a la que pertenece un objeto, sino «qué aspecto tiene», es decir, **a qué mensajes es capaz de responder y cómo**.

Es exactamente lo que ocurre con la función `diferencia_salarios`. Nos vale cualquier objeto que responda adecuadamente al mensaje `get_salario`.

El **duck typing** hace que la programación orientada a objetos resulte mucho más flexible, puesto que lo importante no es la jerarquía de clases que se define, sino cómo se comportan los objetos.

Son más importantes los objetos que las clases.

Por ejemplo, supongamos que queremos calcular el área de una superficie rectangular dados su ancho y su alto, y suponemos que todos los rectángulos disponen de los métodos `get_ancho` y `get_alto`:

```
def area(rect):  
    return rect.get_ancho() * rect.get_alto()
```

Cualquier objeto que responda correctamente a esos dos métodos nos valdría como argumento `rect` de la función `area`.

Por ejemplo, una ventana o una figura rectangular tienen ancho y alto, y las clases `Ventana` y `Rectangulo` pueden ser clases totalmente independientes, sin relación entre sí:

```
class Ventana:
    def get_ancho(self):
        # ...

    def get_alto(self):
        # ...

# ... resto de la clase
```

```
class Rectangulo:
    def get_ancho(self):
        # ...

    def get_alto(self):
        # ...

# ... resto de la clase
```

Y la misma función nos valdría para calcular el área de ventanas, rectángulos y cualquier otra cosa que tenga ancho y alto:

```
>>> v = Ventana(4, 3)
>>> area(v)
12
>>> r = Rectangulo(8, 5)
>>> area(r)
40
```

La función `area` se aprovecha del hecho de que los objetos a los que se les puede calcular el área responden todos a los mismos mensajes.

Dicho de otra forma: todos esos objetos **comparten la misma interfaz**.

Por tanto, cualquier objeto que tenga la interfaz necesaria, nos servirá como argumento del método `area`.

Esos objetos (y sus clases) se dice que **implementan la interfaz**.

Como ya dijimos, trabajar con interfaces en lugar de hacerlo con clases resulta más flexible y soporta mejor los cambios futuros.

3.4. Sobreescritura de métodos

Una subclase puede definir un método que tenga el mismo nombre que otro heredado desde una de sus superclases.

En tal caso, decimos que la subclase está **sobreescribiendo** o **redefiniendo** el método.

Como el nuevo método tiene el mismo nombre que el método heredado, **le hará sombra** a éste cuando se intente invocar desde una instancia de la subclase.

Se puede decir que el mismo método tiene **varias implementaciones distintas** en clases diferentes.

Por ejemplo, supongamos que la clase `Trabajador` define el método `despedir`.

Todas las subclases de `Trabajador` heredarán el método:


```
class Trabajador:
    def despedir(self):
        print("Adiós")

    # ... resto de código

class Docente(Trabajador):
    # ... resto de código
```

Al despedir a un docente, éste dice adiós:

```
>>> pepe = Docente("Pepe", 18500)
>>> pepe.despedir()
Adiós
```

Ahora supongamos que creamos la clase `Directivo`, cuyas instancias son trabajadores que no se pueden despedir.

Esos trabajadores responderán de una forma distinta cuando se invoque sobre ellos al método `despedir`.

Para ello, redifinimos el método `despedir` en la clase `Directivo`:

```
class Directivo:
    def despedir(self):
        print("De aquí no me voy")

    # ... resto de código
```

Y entonces, cuando llamamos a `despedir` sobre un objeto `Directivo`, el método que se ejecuta es el que está definido en la clase `Directivo`, no el que se ha heredado de `Trabajador`:

```
>>> juan = Directivo("Juan", 250000)
>>> juan.despedir()
De aquí no me voy
```

Esto ocurre así porque, según el orden de resolución de métodos, para encontrar un método desde una instancia de una clase, se busca primero en la misma clase y, si no se encuentra allí, se sigue buscando hacia arriba, como ya sabemos:

```
>>> Trabajador.mro()
[<class '__main__.Trabajador'>, <class 'object'>]
>>> Directivo.mro()
[<class '__main__.Directivo'>, <class '__main__.Trabajador'>, <class 'object'>]
```

Así, se encuentra primero el método `despedir` de la clase `Directivo` antes del método del mismo nombre que se hereda de la clase `Trabajador`. Por tanto, se usa el primero que encuentra y no sigue buscando.

Si ahora creamos una subclase de `Directivo` (por ejemplo, `Jefe`), y llamamos al método `despedir` sobre una instancia de esa subclase, ¿a qué método concreto llamará? ¿Al definido en `Directivo` o al de `Trabajador`?

```
class Jefe(Directivo):  
    # ... resto de código
```

```
>>> jefe = Jefe("Bill Gates", 2384921)  
>>> jefe.despedir()  
De aquí no me voy
```

Por la misma regla anterior, al buscar la implementación del método `despedir` se encuentra antes la definida en la clase `Directivo`:

```
>>> Jefe.mro()  
[<class '__main__.Jefe'>, <class '__main__.Directivo'>,  
 <class '__main__.Trabajador'>, <class 'object'>]
```

En cambio, si el jefe define su propia implementación del método `despedir`, entonces ejecutaría esa:

```
class Jefe(Directivo):  
    def despedir(self):  
        print("Despedido tú")  
  
    # ... resto de código
```

```
>>> jefe = Jefe("Bill Gates", 2384921)  
>>> jefe.despedir()  
Despedido tú
```

3.5. [super](#)

La función `super` nos permite acceder a los métodos heredados que se han visto **sombreados** por métodos redefinidos con su mismo nombre.

Al llamar a la función, ésta devuelve un *objeto intermediario* («proxy») que **delega** las llamadas a métodos a una superclase de la clase actual.

En caso de estar usando herencia simple, la expresión `super()` devuelve directamente un objeto intermediario de la superclase directa de la clase actual.

En el caso de estar usando herencia múltiple, `super()` devolverá un objeto intermediario que será instancia de la clase que sigue a la clase actual en el MRO.

Por ejemplo:

```
class Trabajador:  
    def descripcion(self):  
        return f"Soy {self.nombre}"  
  
    # ... resto de código  
  
class Docente(Trabajador):  
    def descripcion(self):
```

```
    return super().descripcion() + f" y mi especialidad es {self.especialidad}"  
  
# ... resto de código
```

```
>>> manolo = Trabajador("Manolo", 3500)  
>>> manolo.descripcion()  
'Soy Manolo'  
>>> pepe = Docente("Pepe", 18500)  
>>> pepe.set_especialidad("Informática")  
>>> pepe.descripcion()  
'Soy Pepe y mi especialidad es Informática'
```

3.6. Sobreescritura de constructores

Los constructores (métodos `__init__`) se pueden sobrecribir como cualquier otro método.

En tal caso, lo normal y lógico es que el constructor de la subclase llame al constructor de la superclase para que ésta pueda inicializar los atributos que le corresponden (es decir, los que la subclase hereda de la superclase).

Se trata de que cada clase se responsabilice de inicializar sus propios atributos, para garantizar que se cumplen sus invariantes.

Por ejemplo:

```
class Trabajador:  
    def __init__(self, nombre, salario):  
        self.set_nombre(nombre)  
        self.set_salario(salario)  
  
    def set_nombre(self, nombre):  
        self.nombre = nombre  
  
    def set_salario(self, salario):  
        assert salario >= 0  
        self.salario = salario  
  
    # ... resto de código  
  
class Docente(Trabajador):  
    def __init__(self, nombre, salario, especialidad):  
        # Llama al constructor de la superclase  
        # para que inicialice el nombre y el salario:  
        super().__init__(nombre, salario)  
        self.set_especialidad(especialidad)  
  
    def set_especialidad(self, especialidad):  
        self.especialidad = especialidad  
  
    # resto de código
```

3.7. Clases abstractas y métodos abstractos

Una **clase abstracta** es aquella que no se puede instanciar porque contiene, al menos, un *método abstracto*.

Los **métodos abstractos** son aquellos métodos definidos únicamente por su signatura: su nombre y sus parámetros. Por tanto, **no tienen implementación**, o sea, **les falta el cuerpo**.

Cuando una clase abstracta define un método abstracto, está obligando a cualquier subclase suya que quiera poder ser instanciada a proporcionarle un cuerpo a ese método abstracto que ha heredado de la clase abstracta.

Es decir: para poder instanciar una clase, ésta debe proporcionar un cuerpo a todos los métodos abstractos que haya heredado de todas sus superclases. De lo contrario, ella misma será considerada una clase abstracta y no se podrá instanciar.

Que un método sea abstracto y, por tanto, no tenga cuerpo, puede tener sentido en muchas situaciones.

Por ejemplo, supongamos que tenemos figuras geométricas, las cuales tienen todas un ancho y un alto:

```
class Triangulo:
    def set_ancho(self, ancho):
        self.ancho = ancho

    def set_alto(self, alto):
        self.alto = alto

    def get_ancho(self):
        return self.ancho

    def get_alto(self):
        return self.alto

    def dibujar(self):
        print("  *  ")
        print(" *** ")
        print("*****")

# resto de código
```

```
class Rectangulo:
    def set_ancho(self, ancho):
        self.ancho = ancho

    def set_alto(self, alto):
        self.alto = alto

    def get_ancho(self):
        return self.ancho

    def get_alto(self):
        return self.alto

    def dibujar(self):
        print("*****")
        print("*****")
        print("*****")

# resto de código
```

Los métodos `set_ancho`, `set_alto`, `get_ancho` y `get_alto` son comunes a ambas clases, así que podríamos una superclase `Figura` que almacenara esos elementos comunes que luego las subclases recibirían mediante herencia:

```
class Figura:
    def __init__(self, ancho, alto):
        self.set_ancho(ancho)
        self.set_alto(alto)

    def set_ancho(self, ancho):
        self.ancho = ancho

    def set_alto(self, alto):
        self.alto = alto

    def get_ancho(self):
        return self.ancho

    def get_alto(self):
        return self.alto
```

```
class Triangulo(Figura):
    def dibujar(self):
        print("  *  ")
        print(" *** ")
        print("*****")

    # resto de código

class Rectangulo(Figura):
    def dibujar(self):
        print("*****")
        print("*****")
        print("*****")

    # resto de código
```

Ahora supongamos que queremos expresar el hecho de que todas las figuras tienen un área y exigir que así sea.

Para ello, podemos definir un método `area` en la clase `Figura`, lo que garantizará que todas las figuras tendrán un área, independientemente de si son triángulos, rectángulos o de cualquier otro tipo.

Pero, ¿cómo se calcula el área de una figura genérica? No es posible.

Es decir: tenemos claro que las figuras deben responder al mensaje `area` pero no podemos implementar un cuerpo para ese método en la clase `Figura` porque el cálculo del área dependerá de la figura concreta que sea en cada caso:

```
class Figura:
    def area(self):
        # ¿Qué ponemos aquí?
```

En realidad, el cálculo del área lo deberíamos dejar en manos de cada figura concreta (triángulo,

rectángulo, etc.).

Definiremos el método `area` en la clase `Figura` como un método abstracto, y las subclases `Triangulo` y `Rectangulo` están obligadas a darle un cuerpo si quieren que se puedan crear instancias suyas.

Para definir un método como abstracto en Python, se usa el decorador `@abstractmethod` del módulo `abc` y se marca el cuerpo con tres puntos suspensivos (`...`).

Además de lo anterior, tendremos que declarar la clase `Figura` como abstracta, cosa que en Python se consigue haciendo que sea subclase (directa o indirecta) de una clase especial llamada `ABC` (de *Abstract Base Class*) del módulo `abc`.

En Python se haría así:

```
from abc import ABC, abstractmethod  # importamos del módulo abc

class Figura(ABC):                  # Figura es subclase de ABC
    def __init__(self, ancho, alto):
        self.set_ancho(ancho)
        self.set_alto(alto)

    def set_ancho(self, ancho):
        self.ancho = ancho

    def set_alto(self, alto):
        self.alto = alto

    def get_ancho(self):
        return self.ancho

    def get_alto(self):
        return self.alto

    @abstractmethod                 # declaramos el método como abstracto
    def area(self):                 # representa que no tiene cuerpo
        ...

# resto de código
```

Si intentamos instanciar la clase `Figura`, obtenemos un mensaje de error:

```
>>> fig = Figura()
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: Can't instantiate abstract class Figura with abstract methods area
```

El mensaje de error dice que no se puede instanciar la clase abstracta `Figura` al contener el método abstracto `area`.

Si ahora definimos las clases `Triangulo` y `Rectangulo` como subclases de `Figura`, esas clases heredarán el método abstracto `area` y, por tanto, no se podrán instanciar a menos que le proporcionen un cuerpo.

Eso significa que también serán clases abstractas:

```
>>> tri = Triangulo()
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: Can't instantiate abstract class Triangulo with abstract methods area
```

Para que las clases `Triangulo` y `Rectangulo` se puedan instanciar, basta con que sobrescriban el método abstracto `area` con un cuerpo adecuado para cada una:

```
class Triangulo(Figura):
    def area(self):
        return self.get_ancho() * self.get_alto() / 2

    def dibujar(self):
        print("  *  ")
        print(" *** ")
        print("*****")

    # resto de código

class Rectangulo(Figura):
    def area(self):
        return self.get_ancho() * self.get_alto()

    def dibujar(self):
        print("*****")
        print("*****")
        print("*****")

    # resto de código
```

4. Herencia vs. composición

4.1. Herencia vs. composición

Ventajas de la herencia:

- Es atractiva porque permite reutilizar código de una manera rápida, sencilla y evidente.
- Es poderosa porque me permite jugar con el polimorfismo con facilidad.
- Me permite sobrescribir métodos, así que si algo no es exactamente como espero siempre puedo cambiarlo si fuera necesario, por lo que es versátil.

Inconvenientes de la herencia:

- La herencia tiene cabida donde existe una relación «es un(a)», pero esa relación es más fuerte de lo que creemos, porque ha de ser de por vida.
- En un sistema, prácticamente nada dura eternamente.

Ventajas de la composición:

- La composición consiste en delegar tareas a otros objetos a través de relaciones «tiene».
- Eso implica que la composición también es reutilización de código, pero mucho más flexible, ya que los componentes de un objeto pueden cambiar siempre que sea necesario.

- Permite cambiar el comportamiento en tiempo de ejecución, simplemente cambiando algún componente.

Inconvenientes de la composición:

- La composición no es polimórfica, pero se puede arreglar mediante *interfaces* y *duck typing*.

Bibliografía

DeNero, John. n.d. "Composing Programs." <http://www.composingprograms.com>.

Python Software Foundation. n.d. "Sitio Web de Documentación de Python." <https://docs.python.org/3>.