

# Expresiones

Ricardo Pérez López

IES Doñana, curso 2020/2021



1. El lenguaje de programación Python
2. Elementos de un programa
3. Valores
4. Operaciones
5. Otros conceptos sobre operaciones
6. Operaciones predefinidas

# 1. El lenguaje de programación Python

## 1.1 Historia

## 1.2 Características principales

## 1.1. Historia

# Historia

- ▶ Python fue creado a finales de los ochenta por **Guido van Rossum** en el Centro para las Matemáticas y la Informática (CWI, Centrum Wiskunde & Informatica), en los Países Bajos, como un sucesor del lenguaje de programación ABC.
- ▶ El nombre del lenguaje proviene de la afición de su creador por los humoristas británicos **Monty Python**.
  - ▶ Python alcanzó la versión 1.0 en enero de 1994.
  - ▶ Python 2.0 se publicó en octubre de 2000 con muchas grandes mejoras. Actualmente, Python 2 está obsoleto.
  - ▶ Python 3.0 se publicó en septiembre de 2008 y es una gran revisión del lenguaje que no es totalmente retrocompatible con Python 2.



Logo de Python

## 1.2. Características principales

## Características principales

- ▶ Python es un lenguaje **interpretado, dinámico y multiplataforma**, cuya filosofía hace hincapié en una sintaxis que favorezca un **código legible**.
- ▶ Es un lenguaje de programación **multiparadigma**. Esto significa que más que forzar a los programadores a adoptar un estilo particular de programación, permite varios estilos: **programación orientada a objetos, programación imperativa y programación funcional**.
- ▶ Tiene una **gran biblioteca estándar**, usada para una diversidad de tareas. Esto viene de la filosofía «pilas incluidas» (*batteries included*) en referencia a los módulos de Python.
- ▶ Es administrado por la **Python Software Foundation** y posee una licencia de **código abierto**.
- ▶ La estructura de un programa se define por su anidamiento.

- ▶ Para entrar en el intérprete, se usa el comando `python` desde la línea de comandos del sistema operativo:

```
$ python
Python 3.8.2 (default, Apr 27 2020, 15:53:34)
[GCC 9.3.0] on linux
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>>
```

El mensaje que obtengamos puede que no sea exactamente igual, pero es importante comprobar que estamos usando Python 3 y no 2.

- ▶ Para salir, se pulsa `Ctrl+D`.
- ▶ El `>>>` es el *prompt* del intérprete de Python, desde el que se ejecutan las expresiones y sentencias que tecleemos:

```
>>> 4 + 3
7
>>>
```



## 2. Elementos de un programa

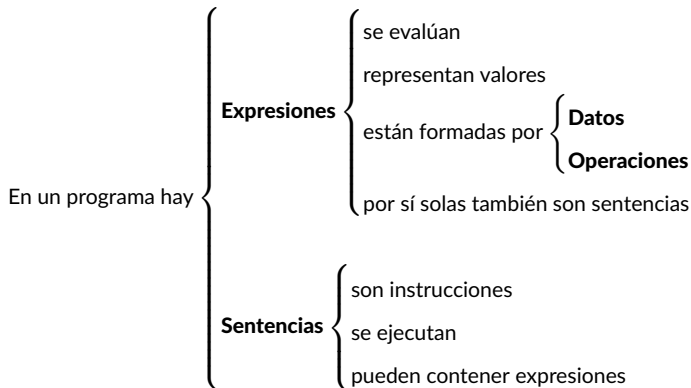
2.1 Expresiones y sentencias

2.2 Conceptos básicos

## 2.1. Expresiones y sentencias

## Expresiones y sentencias

- ▶ El código fuente de un programa está formado por elementos que pertenecen a dos grandes grupos principales:
  - **Expresiones:** son secuencias de símbolos que *representan valores* y que están formados por *datos* y (posiblemente) *operaciones* a realizar sobre esos datos. El valor al que representa la expresión se obtiene *evaluando* dicha expresión.
  - **Sentencias:** son *instrucciones* que sirven para pedirle al intérprete que *ejecute* una determinada *acción*.
- ▶ Las sentencias pueden contener expresiones.
- ▶ En la mayoría de los lenguajes de programación, una expresión por sí sola también es una sentencia válida.



Las **expresiones** se *evalúan*.

Las **sentencias** se *ejecutan*.

## 2.2. Conceptos básicos

# Conceptos básicos

## Definición:

Una **expresión** es una frase (secuencia de símbolos) sintáctica y semánticamente correcta según las reglas del lenguaje que estamos utilizando, cuya finalidad es la de *representar* o **denotar** un determinado objeto, al que denominamos el **valor** de la expresión.

- ▶ El ejemplo clásico es el de las *expresiones aritméticas*:
  - Están formadas por secuencias de números junto con símbolos que representan operaciones aritméticas a realizar con esos números.
  - Denotan un valor numérico, que es el resultado de calcular el valor de la expresión tras hacer las operaciones que aparecen en ella.

Por ejemplo, la expresión  $(2 * (3 + 5))$  denota un valor, que es el número abstracto **16**.

- ▶ Las expresiones correctamente formadas deben satisfacer la gramática del lenguaje en el que están escritas.
- ▶ En un lenguaje de programación existen muchos tipos de expresiones dependiendo del tipo de los datos y de las operaciones involucradas en dicha expresión.
- ▶ Empezaremos trabajando con las expresiones aritméticas más sencillas para ir incorporando cada vez más elementos nuevos que nos permitan crear expresiones más complejas.

- Para ello, nos basaremos en la siguiente gramática, la cual es una simplificación modificada de la gramática real que deben satisfacer las expresiones en Python:

```
<expresión> ::= <operación> | <literal> | <nombre>  
<operación> ::= ( <expresión> <operador_binario> <expresión> )  
                | <operador_unario> <expresión>  
                | <llamada_función>  
                | <llamada_método>  
<nombre> ::= identificador  
<literal> ::= entero | real | cadena | ...  
<operador_binario> ::= + | - | * | / | // | ** | % | ...  
<operador_unario> ::= + | - | ...  
<llamada_función> ::= <nombre_función> ( [ <lista_argumentos> ] )  
<nombre_función> ::= identificador  
<llamada_método> ::= <expresión> . identificador ( [ <lista_argumentos> ] )  
<lista_argumentos> ::= <expresión> { , <expresión> } *
```

- Esta gramática genera expresiones *totalmente parentizadas*, en las que cada operación a realizar con operadores va agrupada entre paréntesis, aunque no sea estrictamente necesario. Por ejemplo:

( 3 + ( 4 - 7 ) )



- ▶ Algunos ejemplos de expresiones que genera dicha gramática:
  - $24$
  - $(4 + 5)$
  - $-(8 * 3.5)$
  - $(9 * (x - 2))$
  - $z$
  - $(\text{abs}(-3) + (\text{max}(8, 5) / 2))$
- ▶ Sabemos que todas esas expresiones son sintácticamente correctas según nuestra gramática porque podemos construir derivaciones desde el símbolo inicial *⟨expresión⟩* hasta cada expresión.

## Ejercicio

1. Obtener las derivaciones correspondientes de cada una de las expresiones.

## 3. Valores

3.1 Introducción

3.2 Evaluación de expresiones

3.3 Expresión canónica y forma normal

3.4 Formas normales y evaluación

3.5 Literales

3.6 Identificadores

## 3.1. Introducción

# Introducción

- ▶ Los **valores** son los datos que manipulan y procesan los programas.
- ▶ Pueden ser:
  - Datos que representan información de interés para el usuario del programa.
  - Datos internos que usa el programa para su correcto funcionamiento.
- ▶ Los datos tienen un **tipo**, que determina el conjunto de *valores* que puede tomar un dato de ese tipo, así como el conjunto de *operaciones* que se pueden realizar con él.
- ▶ **Un valor, por tanto, pertenece a un determinado tipo.**
- ▶ Los tipos más básicos en Programación son los **números** (*enteros y reales*), las **cadenas** y los **lógicos**.

## 3.2. Evaluación de expresiones

## Evaluación de expresiones

- ▶ **Evaluar una expresión** consiste en determinar el **valor** de la expresión. Es decir, una expresión *representa* o **denota** el valor que se obtiene al evaluarla.
- ▶ Una **subexpresión** es una expresión contenida dentro de otra.
- ▶ La **evaluación de una expresión**, en esencia, es el proceso de **sustituir**, dentro de ella, unas *subexpresiones* por otras que, de alguna manera bien definida, estén *más cerca* del valor a calcular, y así hasta calcular el valor de la expresión al completo.
- ▶ Además de las expresiones existen las *sentencias*, que no poseen ningún valor y que, por tanto, no se evalúan sino que se *ejecutan*. Las sentencias son básicas en ciertos paradigmas como el *imperativo*.

- Podemos decir que las expresiones:

3

$(1 + 2)$

$(5 - 2)$

denotan todas el mismo valor (el número abstracto **tres**).

- Es decir: todas esas expresiones son representaciones diferentes del mismo ente abstracto.
- Cuando introducimos una expresión en el intérprete, lo que hace éste es buscar **la representación más simplificada o reducida** posible.

En el ejemplo anterior, sería la expresión 3.

- Por eso a menudo usamos, indistintamente, los términos *reducir*, *simplificar* y *evaluar*.



### 3.3. Expresión canónica y forma normal

## Expresión canónica y forma normal

- ▶ Los ordenadores no manipulan valores, sino que sólo pueden manejar representaciones concretas de los mismos.
- ▶ Por ejemplo: utilizan la codificación binaria en complemento a dos para representar los números enteros.
- ▶ Pedimos que la **representación del valor** resultado de una evaluación sea **única**.
- ▶ De esta forma, seleccionaremos de cada conjunto de expresiones que denoten el mismo valor, a lo sumo una que llamaremos **expresión canónica de ese valor**.
- ▶ Además, llamaremos a la expresión canónica que representa el valor de una expresión la **forma normal de esa expresión**.
- ▶ Con esta restricción pueden quedar expresiones sin forma normal.

## Recuerda

Se dice:

- ▶ **Expresión canónica *de un valor*.**
- ▶ **Forma normal *de una expresión*.**

## Ejemplo

- De las expresiones anteriores:

3

$(1 + 2)$

$(5 - 2)$

que denotan todas el mismo valor abstracto **tres**, seleccionamos una (la expresión 3) como la **expresión canónica** de ese valor.

- Igualmente, la expresión 3 es la **forma normal** de todas las expresiones anteriores (y de cualquier otra expresión con valor **tres**).
- Es importante no confundir el valor abstracto **tres** con la expresión 3 que representa dicho valor.

- ▶ Hay valores que no tienen expresión canónica:
  - Las funciones (los valores de tipo *función*).
  - El número  $\pi$  no tiene representación decimal finita, por lo que tampoco tiene expresión canónica.
- ▶ Y hay expresiones que no tienen forma normal:
  - Si definimos  $inf = inf + 1$ , la expresión  $inf$  (que es un número) no tiene forma normal.
  - Lo mismo ocurre con  $\frac{1}{0}$ .

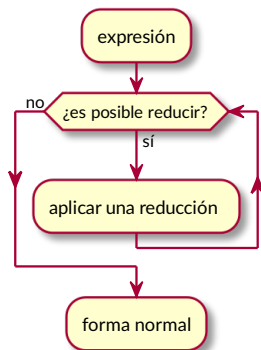
## 3.4. Formas normales y evaluación

## Formas normales y evaluación

- ▶ Según lo visto hasta ahora, la evaluación de una expresión es el proceso de encontrar su forma normal.
- ▶ Para ello, el intérprete evalúa la expresión reduciendo sus subexpresiones según las reglas del lenguaje y las operaciones que aparecen en ellas, buscando su forma normal.
- ▶ El sistema de evaluación dentro del intérprete está hecho de tal forma que cuando ya no es posible reducir más la expresión es porque se ha llegado a la forma normal.
- ▶ Recordemos que no todos los valores tienen forma normal.

### **Importante (orden de evaluación de las expresiones):**

Al analizar una expresión buscando subexpresiones que reducir, las subexpresiones siempre se evaluarán **de izquierda a derecha**.





## Ejemplos

- Evaluar la expresión  $(2 + 3)$ :
  - La expresión está formada por un operador  $+$  que actúa sobre las dos subexpresiones  $2$  y  $3$ . Por tanto, habrá que evaluar primero esas dos subexpresiones, siempre de izquierda a derecha:

```
(2 + 3)      # se evalúa primero 2 (que devuelve 2)
= (2 + 3)    # luego se evalúa 3 (que devuelve 3)
= (2 + 3)    # ahora se evalúa (2 + 3) (que devuelve 5)
= 5
```

► Evaluar la expresión  $(2 * (3 + 5))$ :

- La expresión está formada por un operador  $*$  que actúa sobre las dos subexpresiones  $2$  y  $(3 + 5)$ .
- La segunda subexpresión, a su vez, está formada por un operador  $+$  que actúa sobre las dos subexpresiones  $3$  y  $5$ .
- Todas las subexpresiones se evalúan siempre de izquierda a derecha, a medida que se van reduciendo:

```
(2 + (3 * 5))      # se evalúa primero 2 (que devuelve 2)
= (2 + (3 * 5))    # se evalúa 3 (que devuelve 3)
= (2 + (3 * 5))    # se evalúa 5 (que devuelve 5)
= (2 + (3 * 5))    # se evalúa (3 * 5) (que devuelve 15)
= (2 + 15)         # se evalúa (2 + 15) (que devuelve 17)
= 17
```

## 3.5. Literales

# Literales

- ▶ Los literales constituyen **las expresiones más sencillas** del lenguaje.
- ▶ Un literal es una expresión simple que denota **un valor concreto, constante y fijo**, codificado directamente en la expresión y ya totalmente reducido (o casi).
- ▶ Los literales tienen que satisfacer las **reglas léxicas** del lenguaje, que son las que determinan qué forma pueden tener los componentes léxicos del programa (como números, cadenas, identificadores, etc.).
- ▶ Gracias a esas reglas, el intérprete puede identificar qué literales son, qué valor representan y de qué tipo son.

- Ejemplos de distintos tipos de literales:

Números enteros	Números reales	Cadenas
-2	3.5	"hola"
-1	-2.7	"pepe"
0		"25"
1		" "
2		

- Algunas reglas léxicas son:
  - Si el número tiene un . decimal, es que es un número real.
  - Las cadenas van siempre entre comillas (simples ' o dobles ").
- En apartados posteriores estudiaremos los tipos de datos con más profundidad.

- ▶ Con frecuencia, un literal resulta ser la *expresión canónica* del valor al que denotan y la forma normal de todas las posibles expresiones que denotan ese valor.
- ▶ Por consiguiente, suelen estar ya totalmente simplificados.
- ▶ Por ejemplo, el  $3.5$  es un literal que denota el valor numérico **tres y medio**, es su expresión canónica y es la forma normal de cualquier expresión que denote dicho valor.
- ▶ Por tanto, el literal  $3.5$  es la forma más reducida de representar el valor **tres y medio**.
- ▶ Es decir: si le pedimos al intérprete que calcule el resultado de  $7 / 2$ , nos devolverá la expresión  $3.5$ .
- ▶ Sin embargo, el  $3.5$  no es el único literal que denota el valor numérico **tres y medio**. Por ejemplo, los literales  $3.50$ ,  $3.500$  o  $03.50$  también denotan ese mismo valor, pero la forma normal de todos ellos es  $3.5$ .
- ▶ O sea: hay varias maneras de escribir un literal que denote el valor **tres y medio**, pero sólo el literal  $3.5$  es la forma normal de todas ellas.

- ▶ Igualmente, la forma normal de todas las posibles expresiones que denotan el valor numérico **dos** es el literal `2`.
- ▶ El literal `2` es la forma más reducida de representar el valor **dos**.
- ▶ Pero no es el único literal que denota dicho valor.
- ▶ El literal `02` no es correcto según las reglas léxicas del lenguaje, pero sí que podemos usar la expresión `0b10`, que es un literal que representa el valor **dos** escrito en binario.
- ▶ Igualmente, las reglas léxicas del lenguaje permiten usar el carácter `_` dentro de un número, por lo que el valor numérico **cuatro millones** se puede representar con el literal `4_000_000`, si bien su forma normal sigue siendo simplemente `4000000`.
- ▶ Finalmente, las cadenas se pueden escribir con comillas simples (`'`) o dobles (`"`), pero la forma normal de una cadena siempre usa las simples.

## 3.6. Identificadores



# Identificadores

- ▶ Los **identificadores** son nombres que representan valores u operaciones.
- ▶ Por ejemplo, el nombre de una función es un identificador porque representa a la función.
- ▶ Los identificadores deben cumplir unas reglas sintácticas que dependen del lenguaje de programación, pero que generalmente se resumen en que:
  - Pueden estar formados por combinaciones de letras, dígitos y algunos caracteres especiales como `_` (por ejemplo, `salida_principal23`).
  - No pueden empezar con un dígito, ya que eso los confundiría con un número (por ejemplo, `9abc`).
  - La mayoría de los lenguajes distinguen las mayúsculas de las minúsculas, por lo que `cantidad`, `Cantidad` y `CANTIDAD` son normalmente identificadores distintos (así ocurre en Python y Java).

## 4. Operaciones

4.1 Clasificación

4.2 Operadores

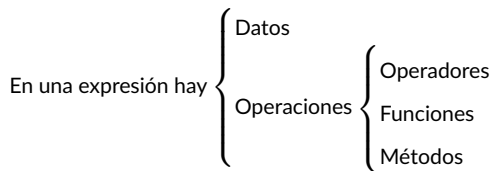
4.3 Funciones

4.4 Métodos

## 4.1. Clasificación

# Clasificación

- ▶ En una expresión puede haber:
  - **Datos**
  - **Operaciones** a realizar sobre esos datos
- ▶ A su vez, las operaciones pueden aparecer en forma de:
  - Operadores
  - Funciones
  - Métodos



## 4.2. Operadores

4.2.1 Aridad de operadores

4.2.2 Paréntesis

4.2.3 Prioridad de operadores

4.2.4 Asociatividad de operadores

4.2.5 Tipos de operandos

# Operadores

- ▶ Un **operador** es un símbolo o palabra clave que representa la realización de una *operación* sobre unos datos llamados **operandos**.
- ▶ Ejemplos:
  - Los operadores aritméticos: +, -, \*, / (entre otros):

( 3 + 4 )

(aquí los operandos son los números 3 y 4)

( 9 \* 8 )

(aquí los operandos son los números 9 y 8)

- El operador `in` para comprobar si un carácter pertenece a una cadena:

( "c" in "barco" )

(aquí los operandos son las cadenas "c" y "barco")

## Aridad de operadores

- ▶ La **aridad** de un operador es el número de operandos sobre los que opera.
- ▶ Los operadores se clasifican según su aridad en:

- **Unarios:** operan sobre un único operando.

Ejemplo: el operador  $-$  que cambia el signo de su operando:

$$(-(5 + 3))$$

- **Binarios:** operan sobre dos operandos.

Ejemplo: la mayoría de operadores aritméticos.

- **Ternarios:** operan sobre tres operandos.

Veremos un ejemplo más adelante.

# Paréntesis

- ▶ Los **paréntesis** sirven para agrupar elementos dentro de una expresión y romper la posible ambigüedad que pueda haber respecto a qué operador actúa sobre qué operandos.
- ▶ Se usan, sobre todo, para hacer que varios elementos de una expresión actúen como uno solo (una subexpresión) al realizar una operación.

■ Por ejemplo:

$((3 + 4) * 5)$  vale 35

$(3 + (4 * 5))$  vale 23

- ▶ Una expresión está **correctamente parentizada** si tiene los paréntesis bien colocados según dicta la gramática del lenguaje.
- ▶ Una expresión está **totalmente parentizada** si agrupa con paréntesis a todas las operaciones con sus operandos.



- ▶ Hasta ahora, según nuestra gramática, las expresiones correctamente parentizadas son precisamente las que están totalmente parentizadas.
- ▶ Por ejemplo:
  - $2 + ) 3 * ( 5 ($  no está correctamente parentizada.
  - $(4 + (2 * 5))$  está correcta y totalmente parentizada.
  - $2 + 5$  no está totalmente parentizada y, por tanto, no está correctamente parentizada según nuestra gramática.
- ▶ Para reducir la cantidad de paréntesis en una expresión, podemos cambiar nuestra gramática acudiendo a un esquema de **prioridades** y **asociatividades** de operadores.
- ▶ Así ya no exigiremos que las expresiones estén totalmente parentizadas.

## Prioridad de operadores

- ▶ En ausencia de paréntesis, cuando un operando está afectado a izquierda y derecha por **operadores de distinta prioridad**, se aplican las reglas de la **prioridad**:

$$8 + 4 * 2$$

El 4 está afectado a izquierda y derecha por los operadores + y \*, que tienen distinta prioridad, por lo que se aplican las reglas de la prioridad. El \* tiene *más prioridad* que el +, así que agrupa primero el \*. Equivale a hacer:

$$8 + (4 * 2)$$

Si hiciéramos

$$(8 + 4) * 2$$

el resultado sería distinto.

- ▶ Ver prioridad de los operadores en Python en <https://docs.python.org/3/reference/expressions.html#operator-precedence>.

## Asociatividad de operadores

- ▶ En ausencia de paréntesis, cuando un operando está afectado a izquierda y derecha por **operadores de la misma prioridad** (o por el **mismo operador**), se aplican las reglas de la **asociatividad**:

$$8 / 4 / 2$$

El 4 está afectado a derecha e izquierda por el mismo operador  $/$ , por lo que se aplican las reglas de la asociatividad. El  $/$  es *asociativo por la izquierda*, así que agrupa primero el operador que está a la izquierda. Equivale a hacer:

$$(8 / 4) / 2$$

Si hiciéramos

$$8 / (4 / 2)$$

el resultado sería distinto.

- ▶ En Python, todos los operadores son **asociativos por la izquierda** excepto el **`**`**, que es asociativo por la derecha.

- ▶ Es importante entender que los paréntesis sirven para agrupar elementos, pero por sí mismos no son suficientes para imponer un determinado **orden de evaluación**.
- ▶ Por ejemplo, en la expresión  $4 * (3 + 5)$ , el intérprete intenta hacer el producto de 4 por  $(3 + 5)$ , pero no puede hacerlo hasta haber calculado primero la suma de 3 y 5.
- ▶ Por eso el intérprete calcula primero la suma y finalmente hace el producto, porque para hacer el producto primero necesita haber reducido sus operandos a dos números que se puedan multiplicar.
- ▶ El efecto final es que parece que los paréntesis han obligado a hacer primero la suma, como si los paréntesis fuesen una especie de operador cuya finalidad es la de aumentar la prioridad de lo que hay dentro.

- En concreto, la evaluación de esa expresión sería:

```
(4 * (3 + 5))      # se evalúa 4 (que devuelve 4)
= (4 * (3 + 5))    # se evalúa 3 (que devuelve 3)
= (4 * (3 + 5))    # se evalúa 5 (que devuelve 5)
= (4 * (3 + 5))    # se evalúa (3 + 5) (que devuelve 8)
= (4 * 8)          # se evalúa (4 * 8) (que devuelve 32)
= 32
```

- ▶ Pero, ¿qué ocurre con expresión  $(2 + 3) * (4 + 5)$ ?
- ▶ En un principio, ocurre algo parecido a lo de antes: para poder hacer el producto, primero hay que calcular las dos sumas, ya que los operandos del  $*$  son los valores que resultan de hacer esas sumas.
- ▶ La cuestión es: ¿qué suma se hace primero? O dicho de otra forma: ¿en qué orden se evalúan los operandos del operador  $*$ ?
- ▶ Matemáticamente no hay ninguna diferencia entre calcular primero  $2 + 3$  y luego  $4 + 5$  o hacerlo al revés.
- ▶ Pero ya sabemos que Python impone un orden de evaluación de izquierda a derecha al reducir las subexpresiones.
- ▶ Por tanto, primero se evaluaría  $(2 + 3)$ , y después  $(4 + 5)$ .
- ▶ El orden de evaluación no viene determinado por los paréntesis, sino por las reglas del lenguaje y el funcionamiento interno del intérprete.

- En concreto, la evaluación de esa expresión sería:

```
(2 + 3) * (4 + 5)  # se evalúa 2 (que devuelve 2)
= (2 + 3) * (4 + 5) # se evalúa 3 (que devuelve 3)
= (2 + 3) * (4 + 5) # se evalúa (2 + 3) (que devuelve 5)
= 5 * (4 + 5)       # se evalúa 4 (que devuelve 4)
= 5 * (4 + 5)       # se evalúa 5 (que devuelve 5)
= 5 * (4 + 5)       # se evalúa (4 + 5) (que devuelve 9)
= 5 * 9             # se evalúa 5 * 9 (que devuelve 45)
45
```

## Tipos de operandos

- ▶ Es importante respetar el tipo de los operandos que espera recibir un operador. Si los intentamos aplicar sobre operandos de tipos incorrectos, obtendremos resultados inesperados (o, directamente, un error).
- ▶ Por ejemplo, los operadores aritméticos esperan operandos de tipo *numérico*. Así, si intentamos dividir dos cadenas usando el operador `/`:

```
>>> "hola" / "pepe"
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: unsupported operand type(s) for /: 'str' and 'str'
>>>
```

- ▶ El concepto de **tipo de dato** es uno de los más importantes en Programación y lo estudiaremos en profundidad más adelante.



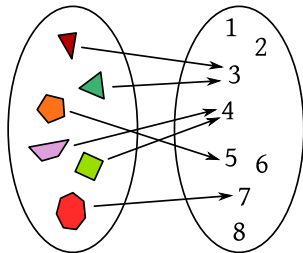
## 4.3. Funciones

4.3.1 Evaluación de expresiones con funciones

4.3.2 Composición de operaciones y funciones

# Funciones

- ▶ Las funciones son una forma de representar operaciones.
- ▶ Matemáticamente, una **función** es una regla que **asocia** a cada elemento de un conjunto (el conjunto *origen* o *dominio*) **un único elemento** de un segundo conjunto (el conjunto *imagen*, *rango* o *codominio*).



Función que asocia a cada polígono con su número de lados

- ▶ En Programación, el concepto de *función* es similar al de una función matemática, aunque con su propia terminología y funcionamiento.
- ▶ En Programación, las funciones son operaciones que actúan sobre unos datos de entrada llamados **argumentos** y que **devuelven un resultado** que depende de la operación a realizar y de los datos recibidos como argumentos.
- ▶ Por tanto, los argumentos para las funciones son como los operandos de los operadores.
- ▶ Las funciones reciben los argumentos a través de sus **parámetros**.
- ▶ Las funciones se definen mediante su **signatura**, la cual informa de:
  - El nombre de la función.
  - El número, tipo y posición de sus parámetros.
  - El tipo del resultado que devuelve.

- ▶ Por ejemplo, la función `abs` está predefinida en Python y tiene la siguiente signatura:

```
abs(x: Number) -> Number
```

- ▶ Esa signatura nos dice que:
  - La función se llama `abs`.
  - Tiene un único parámetro llamado `x` que puede tomar cualquier valor numérico.
  - Devuelve un resultado numérico.

- ▶ La **aplicación de una función a unos argumentos** es una expresión mediante la cual solicitamos la realización de la operación correspondiente pasándole en forma de argumentos los datos sobre los que deseamos que actúe la operación.
- ▶ A la aplicación de una función también se la llama **llamada** o **invocación** de la función.
- ▶ En la llamada a la función, los argumentos **sustituyen** a los parámetros según el orden en el que aparecen en la llamada, haciendo corresponder el primer argumento con el primer parámetro, el segundo con el segundo y así sucesivamente.
- ▶ Dicho de otra forma: los parámetros toman los valores de los argumentos correspondientes.
- ▶ Debe haber tantos argumentos como parámetros, ni más ni menos.

- ▶ Sintácticamente, la llamada a una función tiene esta forma:

```
⟨llamada_función⟩ ::= ⟨nombre_función⟩([⟨lista_argumentos⟩])  
⟨nombre_función⟩ ::= identificador  
⟨lista_argumentos⟩ ::= ⟨expresión⟩(, ⟨expresión⟩)*
```

- ▶ Por ejemplo, si queremos calcular el valor absoluto del número  $-35$ , podemos llamar a la función `abs` pasándole el `-35` como su argumento:

```
abs(-35)
```

- ▶ El argumento `-35` se pasará a la función a través de su parámetro `x`. Por tanto, se puede decir que, en esta llamada, el parámetro `x` toma el valor `-35`.
- ▶ El resultado de la llamada a la función será el valor que devuelve. En este caso, el valor `35`.

- Como la función `abs` está **predefinida** en Python, se puede usar directamente. Por ejemplo:

```
>>> abs(-35)
35
```

- Al igual que pasa con los operadores, es importante respetar la signatura de una función. Si la aplicamos a un argumento de un tipo incorrecto (por ejemplo, una cadena en lugar de un número), obtendremos un error:

```
>>> abs("hola")
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: bad operand type for abs(): 'str'
>>>
```

- ▶ Otro ejemplo es la función `len`, que devuelve la longitud de una cadena, es decir, el número de caracteres que contiene. Su signatura podría ser:

```
len(obj: str)->int
```

- ▶ Un ejemplo de llamada a la función `len`:

```
>>> len("hola")  
4
```

- ▶ Siempre hay que cumplir la signatura de la función. Por tanto, debemos pasarle un único argumento de tipo cadena. Si le pasamos más argumentos o bien le pasamos un argumento de otro tipo, dará error:

```
>>> len(23)  
Traceback (most recent call last):  
  File "<stdin>", line 1, in <module>  
TypeError: object of type 'int' has no len()  
>>> len("hola", "pepe")  
Traceback (most recent call last):  
  File "<stdin>", line 1, in <module>  
TypeError: len() takes exactly one argument (2 given)
```

- ▶ Esto es común a cualquier tipo de operación, tenga la forma que tenga. Por ejemplo, con los operadores también hay que cumplirlo.



- ▶ Otro ejemplo es la función `pow`, que realiza la operación de elevar un número a la potencia de otro. Su signatura es:

```
pow(base: Number, exp: Number)->Number
```

Curiosamente, la misma operación existe en Python de dos formas diferentes:

- Como operador (`**`):

```
>>> 2 ** 3
8
```

- Como función (`pow`):

```
>>> pow(2, 3)
8
```

- En ambos casos, la operación es exactamente la misma.

- ▶ Al llamar a la función `pow` hay que tener en cuenta que tiene dos parámetros.
- ▶ Por tanto, hay que recordar que importa el orden al pasar los argumentos en la llamada a la función.
- ▶ El primer argumento se pasaría al primer parámetro (*base*) y el segundo se pasaría al segundo (*exponente*).
- ▶ Por tanto, el primer argumento debe ser la base y el segundo debe ser el exponente, y no al revés.
- ▶ No es lo mismo hacer `pow(2, 3)` que hacer `pow(3, 2)`:

```
>>> pow(2, 3)
8
>>> pow(3, 2)
9
```

- ▶ Como último ejemplo, la función `max` devuelve el máximo de dos valores recibidos como argumentos:

```
max(arg1, arg2)
```

- ▶ Aquí es más complicado definir su signature, ya que `max` admite argumentos de varios tipos (se puede calcular el máximo de dos números, de dos cadenas... de casi cualquier par de cosas que sean *comparables* entre sí).
- ▶ Por ejemplo:

```
>>> max(13, 28)
28
>>> max("hola", "pepe")
'pepe'
>>> max(2, "hola")
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: '>' not supported between instances of 'str' and 'int'
```

## Evaluación de expresiones con funciones

- ▶ Una llamada a función es una expresión válida, por lo que podemos colocar una llamada a función en cualquier lugar donde sea sintácticamente correcto situar un valor.
- ▶ La evaluación de una expresión que contiene llamadas a funciones se realiza sustituyendo (*reduciendo*) cada llamada a función por su valor correspondiente, es decir, por el valor que dicha función devuelve dependiendo de sus argumentos.
- ▶ Por ejemplo, en la siguiente expresión se combinan varias funciones y operadores:

`abs(-12) + max(13, 28)`

Aquí se llama a la función *abs* con el argumento  $-12$  y a la función *max* con los argumentos 13 y 28, y finalmente se suman los dos valores obtenidos.

- ▶ ¿Cómo se calcula el valor de toda la expresión anterior?
- ▶ En la expresión `abs(-12) + max(13, 28)` tenemos que calcular la suma de dos valores, pero esos valores aún no los conocemos porque son el resultado de llamar a dos funciones.
- ▶ Por tanto, lo primero que tenemos que hacer es evaluar las dos subexpresiones principales que contiene dicha expresión:
  - `abs(-12)`
  - `max(13, 28)`
- ▶ ¿Cuál se evalúa primero?

- ▶ En Matemáticas no importa el orden de evaluación de las subexpresiones, ya que el resultado debe ser siempre el mismo, así que da igual evaluar primero uno u otro.
- ▶ Por tanto, la evaluación paso a paso de la expresión matemática anterior, podría ser de cualquiera de estas dos formas:

$$1. \left\{ \begin{array}{l} \underline{abs(-12)} + max(13, 28) \\ = 12 + \underline{max(13, 28)} \\ = \underline{12 + 28} \\ = 40 \end{array} \right.$$

$$2. \left\{ \begin{array}{l} abs(-12) + \underline{max(13, 28)} \\ = \underline{abs(-12)} + 28 \\ = \underline{12 + 28} \\ = 40 \end{array} \right.$$

En cada paso, la subexpresión subrayada es la que se va a evaluar (reducir) en el paso siguiente.

- ▶ En programación funcional ocurre lo mismo que en Matemáticas, gracias a que se cumple la *transparencia referencial*.
- ▶ Sin embargo, Python no es un lenguaje funcional puro, y llegado el momento será importante tener en cuenta el orden de evaluación que sigue al evaluar las subexpresiones que forman una expresión.
- ▶ Por eso, no debemos olvidar que **Python siempre evalúa las expresiones de izquierda a derecha**.

- ▶ En Python, la expresión anterior se escribe exactamente igual, ya que Python conoce las funciones *abs* y *max* (son **funciones predefinidas** en el lenguaje):

```
>>> abs(-12) + max(13, 28)
40
```

- ▶ Sabiendo que Python evalúa de izquierda a derecha, la evaluación de la expresión anterior en Python sería:

```
abs(-12) + max(13, 28)    # se evalúa -12 (devuelve -12)
abs(-12) + max(13, 28)    # se evalúa abs(-12) (devuelve 12)
= 12 + max(13, 28)        # se evalúa 13 (devuelve 13)
= 12 + max(13, 28)        # se evalúa 28 (devuelve 28)
= 12 + max(13, 28)        # se evalúa max(13, 28) (devuelve 28)
= 12 + 28                 # se evalúa 12 + 28 (devuelve 40)
= 40
```



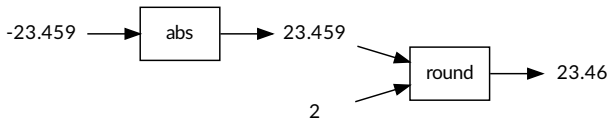
## Composición de operaciones y funciones

- ▶ Como acabamos de ver, el resultado de una operación puede ser un dato sobre el que aplicar otra operación dentro de la misma expresión:
  - En  $4 * (3 + 5)$ , el resultado de  $(3 + 5)$  se usa como operando para el operador  $*$ .
  - En  $\text{abs}(-12) + \text{max}(13, 28)$ , los resultados de llamar a las funciones `abs` y `max` son los operandos del operador  $+$ .
- ▶ A esto se le denomina **composición de operaciones**.
- ▶ El orden en el que se evalúan este tipo de expresiones (aquellas que contienen composición de operaciones) es algo que se estudiará más en profundidad en el siguiente tema.

- ▶ La manera más sencilla de realizar varias operaciones sobre los mismos datos es componer las operaciones, es decir, hacer que el resultado de una operación sea la entrada de otra operación.
- ▶ Se va creando así una **secuencia de operaciones** donde la salida de una es la entrada de la siguiente.
- ▶ Cuando el resultado de una función se usa como argumento de otra función le llamamos **composición de funciones**:

```
round(abs(-23.459), 2) # devuelve 23.46
```

- ▶ En programación funcional, la composición de funciones es una técnica que ayuda a **descomponer un problema en partes** que se van resolviendo por pasos como en una **cadena de montaje**.



## 4.4. Métodos

# Métodos

- ▶ Los **métodos** son, para la **programación orientada a objetos**, el equivalente a las **funciones** para la **programación funcional**.
- ▶ Los métodos son como funciones, pero en este caso se dice que actúan *sobre* un valor, que es el **objeto** sobre el que recae la acción del método.
- ▶ La *aplicación* de un método se denomina **invocación** o **llamada** al método, y se escribe:

$$v.m()$$

que representa la **llamada** al método *m* **sobre el objeto** *v*.

- La gramática de las llamadas a métodos es la siguiente:

```
 $\langle \text{llamada\_método} \rangle ::= \langle \text{expresión} \rangle . \text{identificador}([\langle \text{lista\_argumentos} \rangle])$   
 $\langle \text{lista\_argumentos} \rangle ::= \langle \text{expresión} \rangle (, \langle \text{expresión} \rangle)^*$ 
```

- Esta llamada se puede leer de cualquiera de estas formas:
  - Se **llama** (o **invoca**) al método  $m$  sobre el objeto  $v$ .
  - Se **ejecuta** el método  $m$  sobre el objeto  $v$ .
  - Se **envía el mensaje**  $m$  al objeto  $v$ .
- Los métodos también pueden tener argumentos, como cualquier función:

$$v.m(a_1, a_2, \dots, a_n)$$

y en tal caso, los argumentos se pasarían al método correspondiente.

- ▶ En la práctica, no hay mucha diferencia entre tener un método y hacer:

$$v.m(a_1, a_2, \dots, a_n)$$

y tener una función y hacer:

$$m(v, a_1, a_2, \dots, a_n)$$

- ▶ Pero conceptualmente, hay una gran diferencia entre un estilo y otro:
  - El primero es más **orientado a objetos**: decimos que el *objeto*  $v$  «recibe» un mensaje solicitando la ejecución del método  $m$ .
  - En cambio, el segundo es más **funcional**: decimos que la *función*  $m$  se aplica a sus argumentos, de los cuales  $v$  es uno más.
- ▶ Python es un lenguaje *multiparadigma* que soporta ambos estilos y, por tanto, dispone de funciones y de métodos. Hasta que no veamos la orientación a objetos, supondremos que un método es como otra forma de escribir una función.

► Por ejemplo:

Las cadenas tienen definidas el método `count`, que devuelve el número de veces que aparece una subcadena dentro de la cadena:

```
'hola caracola'.count('ol')
```

devuelve 2.

```
'hola caracola'.count('a')
```

devuelve 4.

► Si `count` fuese una función en lugar de un método, recibiría dos parámetros: la cadena y la subcadena. En tal caso, se usaría así:

```
count('hola caracola', 'ol')
```

## 5. Otros conceptos sobre operaciones

5.1 Sobrecarga de operaciones

5.2 Equivalencia entre formas de operaciones

5.3 Igualdad de operaciones



## 5.1. Sobrecarga de operaciones

## Sobrecarga de operaciones

- ▶ Un **mismo operador** (o nombre de función o método) puede representar **varias operaciones diferentes**, dependiendo del tipo de los operandos o argumentos sobre los que actúa.
- ▶ Un ejemplo sencillo en Python es el operador `+`:
  - Cuando actúa sobre números, representa la operación de suma:

```
>>> 2 + 3  
5
```

- Cuando actúa sobre cadenas, representa la *concatenación* de cadenas:

```
>>> "hola" + "pepe"  
'holapepe'
```

- ▶ Cuando esto ocurre, decimos que el operador (o la función, o el método) está **sobrecargado**.

## 5.2. Equivalencia entre formas de operaciones

## Equivalencia entre formas de operaciones

- ▶ Una operación puede tener *forma* de **operador**, de **función** o de **método**.
- ▶ También podemos encontrarnos operaciones con más de una forma.
- ▶ Por ejemplo, ya vimos anteriormente la operación *longitud*, que consiste en determinar el número de caracteres que tiene una cadena. Esta operación se puede hacer:

- Con la función `len`:

```
>>> len("hola")
```

```
4
```

- Con el método `__len__`:

```
>>> "hola".__len__()
```

```
4
```

- ▶ De hecho, en Python hay operaciones que tienen **las tres formas**. Por ejemplo, ya vimos anteriormente la operación *potencia*, que consiste en elevar un número a la potencia de otro ( $x^y$ ). Esta operación se puede hacer:

- Con el operador `**`:

```
>>> 2 ** 4  
16
```

- Con la función `pow`:

```
>>> pow(2, 4)  
16
```

- Con el método `__pow__`:

```
>>> (2).__pow__(4)  
16
```

- ▶ Otro ejemplo es la operación *contiene*, que consiste en comprobar si una cadena contiene a otra (una *subcadena*). Esa operación también tiene tres formas:

- El operador `in`:

```
>>> "o" in "hola"  
True
```

- La función `str.__contains__`:

```
>>> str.__contains__("hola", "o")  
True
```

- El método `__contains__` ejecutado sobre la cadena (y pasando la subcadena como argumento):

```
>>> "hola".__contains__("o")  
True
```

Observar que, en este caso, el objeto que recibe el mensaje (es decir, el objeto al que se le pide que ejecute el método) es la cadena `"hola"`. Es como si le preguntáramos a la cadena `"hola"` si contiene la subcadena `"o"`.

- Y la suma de dos números enteros se puede expresar:

- Mediante el operador `+`:

```
4 + 3
```

- Mediante la función `int.__add__`:

```
int.__add__(4, 3)
```

- Mediante el método `__add__` ejecutado sobre uno de los enteros (y pasando el otro número como *argumento* del método):

```
(4).__add__(3)
```

- ▶ La forma **más general** de representar una operación es la **función**, ya que *cualquier operación se puede expresar en forma de función* (cosa que no ocurre con los operadores y los métodos).
- ▶ Los operadores y los métodos son **formas sintácticas especiales** para representar operaciones que se podrían representar igualmente mediante funciones.
- ▶ Por eso, al hablar de operaciones, y mientras no se diga lo contrario, podremos suponer que están representadas como funciones.
- ▶ Eso implica que los conceptos de *dominio*, *rango*, *aridad*, *argumento*, *resultado*, *composición* y *asociación* (o *correspondencia*), que estudiamos cuando hablamos de las funciones, también existen en los operadores y los métodos.
- ▶ Es decir: todos esos son conceptos propios de cualquier operación, da igual la forma que tenga esta.



- ▶ Muchos lenguajes de programación no permiten definir nuevos operadores, pero sí permiten definir nuevas funciones (o métodos, dependiendo del paradigma utilizado).
- ▶ En algunos lenguajes, los operadores son casos particulares de funciones (o métodos) y se pueden definir como tales. Por tanto, en estos lenguajes se pueden crear nuevos operadores definiendo nuevas funciones (o métodos).

## 5.3. Igualdad de operaciones

## Igualdad de operaciones

- ▶ Dos operaciones son **iguales** si devuelven resultados iguales para argumentos iguales.
- ▶ Este principio recibe el nombre de **principio de extensionalidad**.

### Principio de extensionalidad:

$f = g$  si y sólo si  $f(x) = g(x)$  para todo  $x$ .

- ▶ Por ejemplo: una función que calcule el doble de su argumento multiplicándolo por 2, sería exactamente igual a otra función que calcule el doble de su argumento sumándolo consigo mismo.

En ambos casos, las dos funciones devolverán siempre los mismos resultados ante los mismos argumentos.

- ▶ Cuando dos operaciones son iguales, podemos usar una u otra indistintamente.

## 6. Operaciones predefinidas

6.1 Operadores predefinidos

6.2 Funciones predefinidas

6.3 Métodos predefinidos

## 6.1. Operadores predefinidos

6.1.1 Operadores aritméticos

6.1.2 Operadores de cadenas

## Operadores aritméticos

Operador	Descripción	Ejemplo	Resultado	Comentarios
+	Suma	3 + 4	7	
-	Resta	3 - 4	-1	
*	Producto	3 * 4	12	
/	División	3 / 4	0.75	Devuelve un <code>float</code>
%	Módulo	4 % 3	1	Resto de la división
		8 % 3	2	
**	Exponente	3 ** 4	81	Devuelve 3 <sup>4</sup>
//	División entera	4 // 3	1	??
	hacia abajo	-4 // 3	-2	

## Operadores de cadenas

Operador	Descripción	Ejemplo	Resultado
<code>+</code>	Concatenación	<code>'ab' + 'cd' 'ab'</code> <code>'cd'</code>	<code>'abcd'</code>
<code>*</code>	Repetición	<code>'ab' * 3 3 * 'ab'</code>	<code>'ababab'</code> <code>'ababab'</code>
<code>[0]</code>	Primer carácter	<code>'hola'[0]</code>	<code>'h'</code>
<code>[1:]</code>	Resto de cadena	<code>'hola'[1:]</code>	<code>'ola'</code>

## 6.2. Funciones predefinidas

### 6.2.1 Funciones matemáticas



## Funciones predefinidas

Función	Descripción	Ejemplo	Resultado
<code>abs(<i>n</i>)</code>	Valor absoluto	<code>abs(-23)</code>	23
<code>len(<i>cad</i>)</code>	Longitud de la cadena	<code>len('hola')</code>	4
<code>max(<i>n</i><sub>1</sub>(, <i>n</i><sub>2</sub>)*)</code>	Valor máximo	<code>max(2, 5, 3)</code>	5
<code>min(<i>n</i><sub>1</sub>(, <i>n</i><sub>2</sub>)*)</code>	Valor mínimo	<code>min(2, 5, 3)</code>	2
<code>round(<i>n</i>[, <i>p</i>])</code>	Redondeo	<code>round(23.493)</code> <code>round(23.493, 1)</code>	23 23.5
<code>type(<i>v</i>)</code>	Tipo del valor	<code>type(23.5)</code>	<class 'float'>

## Funciones matemáticas

- ▶ Python incluye una gran cantidad de funciones matemáticas agrupadas dentro del módulo `math`.
- ▶ Los **módulos** en Python son conjuntos de funciones (y más cosas) que se pueden **importar** dentro de nuestra sesión o programa.
- ▶ Son la base de la **programación modular**, que ya estudiaremos.
- ▶ Para *importar* una función de un módulo se puede usar la orden `from`. Por ejemplo, para importar la función `gcd` (que calcula el máximo común divisor de dos números) del módulo `math` se haría:

```
>>> from math import gcd # importamos la función gcd que está en el módulo math
>>> gcd(16, 6)           # la función se usa como cualquier otra
2
```

- ▶ Una vez importada, la función ya se puede usar como cualquier otra.

- ▶ También se puede importar directamente el módulo en sí:

```
>>> import math          # importamos el módulo math
>>> math.gcd(16, 6)      # la función gcd sigue estando dentro del módulo
2
```

- ▶ Al importar el módulo, lo que se importan no son sus funciones, sino el nombre y la definición del propio módulo, el cual contiene dentro la definición de sus funciones.
- ▶ Por eso, para poder llamar a una función del módulo usando esta técnica, debemos indicar el nombre del módulo, seguido de un punto (.) y el nombre de la función:

```
math.gcd(16, 6)
```

```
├── función
└── módulo
```

- ▶ El punto . es un operador que nos permite acceder al interior de estructuras que tienen definiciones propias, como los módulos.

- Eso significa que debemos ampliar nuestra gramática para permitir que el nombre de una función en una llamada pueda contener la parte del módulo:

```
<nombre_función> ::= [identificador.]identificador
```

- La lista completa de funciones que incluye el módulo `math` se puede consultar en su documentación:

<https://docs.python.org/3/library/math.html>

## 6.3. Métodos predefinidos

## Métodos predefinidos

- ▶ Igualmente, en la documentación podemos encontrar una lista de métodos interesantes que operan con datos de tipo cadena:

<https://docs.python.org/3/library/stdtypes.html#string-methods>

## 7. Ejercicios

## 7.1. Ejercicios



# Ejercicios

2. Representar la evaluación las siguientes expresiones, aplicando paso a paso la reducción que corresponda. Indicar también el tipo del valor resultante:

a.  $3 + 6 * 14$

b.  $8 + 7 * 3.0 + 4 * 6$

c.  $-4 * 7 + 2 ** 3 / 4 - 5$

d.  $4 / 2 * 3 / 6 + 6 / 2 / 1 / 5 ** 2 / 4 * 2$

3. Convertir en expresiones aritméticas algorítmicas las siguientes expresiones algebraicas:

a.  $5 \cdot (x + y)$

b.  $a^2 + b^2$

c.  $\frac{x+y}{u+\frac{w}{a}}$

d.  $\frac{x}{y} \cdot (z + w)$

4. Determinar, según las reglas de prioridad y asociatividad del lenguaje Python, qué paréntesis sobran en las siguientes expresiones. Reescribirlas sin los paréntesis sobrantes. Calcular su valor y deducir su tipo:
- a. `(8 + (7 * 3) + 4 * 6)`
  - b. `-(2 ** 3)`
  - c. `(33 + (3 * 4)) / 5`
  - d. `2 ** (2 * 3)`
  - e. `(3.0) + (2 * (18 - 4 ** 2))`
  - f. `(16 * 6) - (3) * 2`
5. Usar la función `math.sqrt` para escribir dos expresiones en Python que calculen las dos soluciones a la ecuación de segundo grado  $ax^2 + bx + c = 0$ .

Recordar que las soluciones son:

$$x_1 = -b + \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad x_2 = -b - \frac{\sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

6. Evaluar las siguientes expresiones:

- a.  $9 - 5 - 3$
- b.  $2 // 3 + 3 / 5$
- c.  $9 // 2 / 5$
- d.  $7 \% 5 \% 3$
- e.  $7 \% (5 \% 3)$
- f.  $(7 \% 5) \% 3$
- g.  $(7 \% 5 \% 3)$
- h.  $((12 + 3) // 2) / (8 - (5 + 1))$
- i.  $12 / 2 * 3$
- j. `math.sqrt(math.cos(4))`
- k. `math.cos(math.sqrt(4))`
- l. `math.trunc(815.66) + round(815.66)`

7. Escribir las siguientes expresiones algorítmicas como expresiones algebraicas:

a.  $b ** 2 - 4 * a * c$

b.  $3 * x ** 4 - 5 * x ** 3 + x * 12 - 17$

c.  $(b + d) / (c + 4)$

d.  $(x ** 2 + y ** 2) ** (1 / 2)$

## 8. Bibliografía

## Bibliografía

- Abelson, Harold, Gerald Jay Sussman, and Julie Sussman. 1996. *Structure and Interpretation of Computer Programs*. 2nd ed. Cambridge, Mass. : New York: MIT Press ; McGraw-Hill.
- Blanco, Javier, Silvina Smith, and Damián Barsotti. 2009. *Cálculo de Programas*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Van-Roy, Peter, and Seif Haridi. 2004. *Concepts, Techniques, and Models of Computer Programming*. Cambridge, Mass: MIT Press.