

# Programación imperativa (I)

Ricardo Pérez López

IES Doñana, curso 2025/2026



Generado el 2026/01/26 a las 15:26:00

1. Modelo de ejecución
2. Asignación destructiva
3. Saltos

# 1. Modelo de ejecución

## 1.1. Máquina de estados

# Máquina de estados

- ▶ La **programación imperativa** es un paradigma de programación basado en los conceptos de «**estado**» y «**sentencia**».
- ▶ Un programa imperativo está formado por una **secuencia de sentencias**
- ▶ El programa imperativo va pasando por diferentes **estados** a medida que se van ejecutando las sentencias que lo forman.
- ▶ Por tanto, una **sentencia** es una instrucción que cambia el estado del programa.
- ▶ El **fundamento teórico** de la programación imperativa son las **máquinas de Turing** y la arquitectura de **Von Neumann**, que son modelos abstractos de cómo funciona un ordenador.
- ▶ El **modelo de ejecución** de un programa imperativo es el de una **máquina de estados**, es decir, un dispositivo abstracto que va pasando por diferentes estados a medida que el programa va ejecutándose.

- ▶ El concepto de «**tiempo**» también es muy importante en programación imperativa, ya que el estado del programa va cambiando a lo largo del tiempo conforme se van ejecutando las sentencias que lo forman.
- ▶ A su vez, el comportamiento del programa depende del estado en el que se encuentre.

Eso significa que, ante los mismos datos de entrada, una función en programación imperativa puede devolver **valores distintos en momentos distintos**.

- ▶ En programación funcional, en cambio, el comportamiento de una función no depende del momento en el que se ejecute, ya que siempre devolverá los mismos resultados ante los mismos datos de entrada (*transparencia referencial*).
- ▶ Eso significa que, para modelar el comportamiento de un programa imperativo, ya **no nos vale el modelo de sustitución** que hemos estado usando hasta ahora en programación funcional.

## 1.2. Sentencias

# Sentencias

- ▶ Las **sentencias** son las instrucciones principales que componen un programa imperativo.
- ▶ La ejecución de una sentencia **cambia el estado interno del programa** provocando uno de estos **efectos**:
  - **Cambiar las coordenadas** del proceso asociado al programa, normalmente mediante la llamada **sentencia de asignación**.
  - Cambiar el **flujo de control** del programa, haciendo que la ejecución se bifurque (*salte*) a otra parte del mismo.
- ▶ La principal diferencia entre una *sentencia* y una *expresión* es que las sentencias no denotan ningún valor, sino que son órdenes a ejecutar por el programa para producir un *efecto*.
  - Las *expresiones* se *evalúan* y devuelven un *valor*.
  - Las *sentencias* se *ejecutan* para producir un *efecto*.



► **En un lenguaje funcional puro:**

- Un programa es una expresión.
- Ejecutar un programa consiste en evaluar dicha expresión usando las definiciones predefinidas del lenguaje y las definidas por el programador.
- Todo son expresiones, excepto las sentencias que producen el efecto de crear *ligaduras* (como las sentencias de definición, o de importación de módulos).
- Evaluar una expresión no produce ningún otro efecto salvo el de calcular su valor.
- Las expresiones devuelven siempre el mismo valor (tienen *transparencia referencial*).
- El comportamiento de un programa se puede modelar usando el *modelo de sustitución*.

► **En cambio, en un lenguaje imperativo:**

- Los programas están formados por sentencias que, al ejecutarse, van cambiando el estado del programa.
- El valor de una expresión depende del estado en el que se encuentre el programa en el momento de evaluar dicha expresión (no hay *transparencia referencial*).
- Evaluar una expresión puede provocar otros efectos (los llamados *efectos laterales*) más allá de calcular su valor.
- En muchos lenguajes imperativos es posible colocar una expresión donde debería ir una sentencia (aunque no al revés).

Esto sólo resultaría útil en caso de que la evaluación de la expresión provocara *efectos laterales*. De lo contrario, el valor de la evaluación se perdería sin más y no habría servido de nada calcularlo.

## 1.3. Secuencia de sentencias

## Secuencia de sentencias

- ▶ Un programa imperativo está formado por una **secuencia de sentencias**.
- ▶ Ejecutar un programa imperativo es provocar los **cambios de estado** que dictan las sentencias en el **orden** definido por el programa.
- ▶ Las sentencias del programa van provocando **transiciones** entre estados, haciendo que la máquina pase de un estado al siguiente.
- ▶ Para modelar el comportamiento de un programa imperativo tendremos que saber en qué estado se encuentra el programa, para lo cual tendremos que seguirle la pista desde su estado inicial al estado actual.
- ▶ Eso básicamente se logra «ejecutando» mentalmente el programa sentencia por sentencia y llevando la cuenta de los cambios que van produciendo conforme se van ejecutando.

- ▶ Al decir que un programa imperativo está formado por una *secuencia* de sentencias, estamos diciendo que importa mucho el orden en el que están colocadas las sentencias dentro del programa.
- ▶ En general, un programa imperativo se comportará de forma diferente si se cambia el orden en el que se ejecutan sus sentencias.

Por eso, si se ejecuta *A* antes que *B*, el programa seguramente no producirá el mismo efecto que si se ejecuta *B* antes que *A*.

- ▶ Por ejemplo, muchas veces el funcionamiento de una sentencia *B* depende del efecto producido por una sentencia *A* anterior. Por tanto, en ese caso, *A* debería ejecutarse antes que *B*.

## 2. Asignación destructiva

## 2.1. Valores y referencias

## Valores y referencias

- ▶ Todos los **valores** se almacenan en una zona de la memoria conocida como el **montículo**.
- ▶ El valor se guardará en el montículo a partir de una determinada dirección de memoria y ocupando el espacio que se necesite en función del tamaño que tenga el valor.
- ▶ Dado un determinado valor, se denomina **referencia al valor** a un localizador que permite identificar, localizar y acceder a ese valor dentro del montículo.
- ▶ Cada vez que aparece un valor nuevo dentro del programa, el intérprete lo guarda dentro del montículo y crea una referencia al mismo.
- ▶ En tal caso, se dice también que «**la referencia apunta al valor**».



- ▶ A partir de ese momento, el valor se manipulará siempre a través de esa referencia, la cual sirve como localizador y como forma de acceder a ese valor en la memoria.
- ▶ Por tanto, para poder manipular un valor, necesitamos disponer de la referencia a dicho valor.
- ▶ Por ejemplo, la expresión `500` representa al valor `500` que está almacenado en el montículo pero, en realidad, al evaluar la expresión, el intérprete no devuelve ese valor, sino una referencia al valor, a través de la cual podremos acceder al valor.

- ▶ En la mayoría de los lenguajes de programación, esa referencia coincide con la **dirección de comienzo** de la zona que ocupa ese valor dentro del montículo, aunque ese es un detalle de funcionamiento interno del intérprete que no es necesario conocer.

Por ese misma razón, en la mayoría de los lenguajes, las referencias son únicas y constantes para cada valor:

- Que sean únicas quiere decir que dos valores distintos tendrán referencias distintas.
- Que sean constantes quiere decir que la referencia a un valor nunca cambia durante la vida del mismo.

- ▶ No está de más recordar que los programas no pueden manipular valores directamente (ya que los valores son entidades abstractas), sino que sólo pueden manipular *representaciones* de ese valor.
- ▶ Por ejemplo, un programa no puede manipular el número **cinco**, ya que los números sólo existen de forma ideal en el mundo abstracto.
- ▶ Sin embargo, el programa puede manipular expresiones como  $2 + 3$  o  $5$ , que representan (o *denotan*) a ese valor **cinco**.
- ▶ Por otra parte,  $5$  es la *expresión canónica* del valor **cinco**.
- ▶ Esa expresión canónica representa al valor dentro del programa, ya que es, además, la *forma normal* de todas las expresiones que denotan el mismo valor.

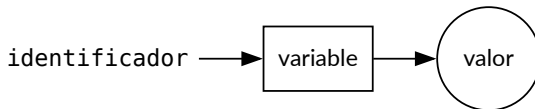
- ▶ Pero aunque ya sabemos que lo que se manipula y se almacena en la memoria no es el valor en sí, sino su expresión canónica, nosotros, para simplificar, siempre vamos a hablar de manipular y almacenar *valores*, aunque no sea del todo correcto.
- ▶ A su vez, los valores (o, mejor dicho, sus expresiones canónicas) se almacenan en la memoria del ordenador usando una *codificación* apropiada al tipo de cada valor.
- ▶ Por ejemplo, un número entero como el 5 se puede almacenar usando una codificación binaria en complemento a dos, mientras que una cadena como 'hola' se podría almacenar como una secuencia de caracteres Unicode.
- ▶ Por tanto, cuando se almacena un valor en la memoria (o, mejor dicho, cuando se almacena su expresión canónica), ocupará un espacio que dependerá del valor que sea y del tipo que tenga.

## 2.2. Variables

# Variables

- ▶ Una **variable** es un lugar en la **memoria** donde se puede **almacenar la referencia** a un valor.
- ▶ En tal caso, se puede decir que:
  - «La variable contiene (o almacena) una referencia al valor».
  - «La variable hace referencia al valor».
  - «La variable apunta al valor».
- ▶ Otras formas menos correctas (pero que se utilizan con frecuencia por abuso del lenguaje) serían:
  - «La variable contiene (o almacena) el valor».
  - «La variable vale el valor».
  - «La variable es una referencia al valor».
- ▶ Aunque la referencia sea única para cada valor, podemos tener varias referencias apuntando a la vez al mismo valor, una por cada variable que contenga la referencia al valor. Por esto se puede hablar de «*una* referencia al valor» y no sólo de «*la* referencia al valor».

- ▶ El contenido de una variable (es decir, la *referencia* que contiene) **puede cambiar** durante la ejecución del programa, haciendo que la variable pueda «*apuntar*» (o «*hacer referencia*») a distintos valores durante la ejecución del programa.
- ▶ A partir de ahora, un identificador no se va a ligar directamente con un valor, sino que tendremos:
  - Una **ligadura** entre un identificador y una **variable**.
  - La variable **contiene una referencia** al valor.



- ▶ Este comportamiento es el propio de los **lenguajes de programación orientados a objetos** (como Python o Java), que son los lenguajes imperativos más usados a día de hoy.
- ▶ Otros lenguajes imperativos más «clásicos» (como C o Pascal) se comportan, en general, de forma diferente.
- ▶ En esos lenguajes, los valores se almacenan directamente dentro de las variables, es decir, que las variables son contenedores que almacenan valores, no referencias a los valores.
- ▶ Por tanto, el compilador tiene que reservar espacio suficiente en la memoria para cada variable del programa, de manera que dicha variable pueda contener un valor de un determinado tamaño y que ese valor «quepa» dentro de la variable.



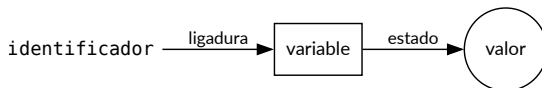
- ▶ De todos modos, algunos lenguajes de programación tienen un comportamiento híbrido, que combina ambas técnicas:
  - En Java, existen *tipos primitivos* (cuyos valores se almacenan directamente en las variables) y *tipos referencia* (cuyos valores se almacenan en el montículo y las variables contienen referencias a esos valores).
  - En C, los valores se almacenan dentro de las variables, pero es posible reservar memoria dinámicamente dentro del montículo y almacenar en una variable un *puntero* al comienzo de dicha zona de memoria, lo que permite crear y destruir datos en tiempo de ejecución.

## 2.3. Estado

# Estado

- ▶ La **ligadura** es la asociación que se establece entre un identificador y una variable.
- ▶ El **estado de una variable** es el valor al que hace referencia una variable en un momento dado.

Por tanto, el estado es la asociación que se establece entre una variable y un valor (es decir, la referencia que contiene la variable y que apunta al valor).

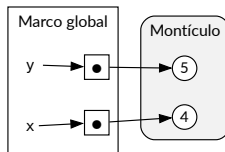


- ▶ Tanto las ligaduras como los estados pueden cambiar durante la ejecución de un programa imperativo.
- ▶ El **estado de un programa** es el conjunto de los estados de todas sus variables (más cierta información auxiliar gestionada por el intérprete).

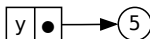
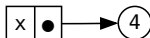
## 2.4. Marcos en programación imperativa

## Marcos en programación imperativa

- ▶ Hasta ahora, los marcos contenían ligaduras entre identificadores y valores.
- ▶ A partir de ahora, un marco contendrá:
  - Las **ligaduras entre identificadores y variables**.
  - El **estado de cada variable**, es decir, la referencia que contiene cada variable en un momento dado.



- ▶ Para simplificar la representación gráfica, generalmente dibujaremos cada identificador al lado de su correspondiente variable (representando la *ligadura*), y la variable apuntando a su valor en el montículo (representando el *estado*).



- ▶ El montículo como tal normalmente no lo dibujaremos, ya que sabemos que los valores se almacenan en él.
- ▶ Igualmente, a veces tampoco dibujaremos el marco si se sobreentiende cuál es (o si no tiene importancia en ese momento).
- ▶ Incluso, a veces, llegado el caso, también dibujaremos el valor directamente almacenado en la variable que le apunta, para simplificar (aunque sabemos que eso no es lo que ocurre en Python).

## 2.5. Sentencia de asignación

## Sentencia de asignación

- ▶ La forma más básica de cambiar el estado de una variable es usando la **sentencia de asignación**.
- ▶ Es la misma instrucción que hemos estado usando hasta ahora para ligar valores a identificadores, pero ahora, en el paradigma imperativo, tiene otro significado:

```
x = 4
```

Esa instrucción ahora se lee así:

*«Asigna el valor 4 a la variable x»*

y el efecto que produce es el de almacenar, en la variable ligada al identificador *x*, la *referencia* del valor 4 almacenado en el montículo.

- ▶ A partir de este momento, se dice (aunque no esté muy bien dicho) que «*la variable x vale 4*».



- Como se ve, por economía del lenguaje se dice:

*«Asigna el valor 4 a la variable x»*

o también (menos frecuente pero algo más correcto):

*«Almacena el valor 4 en la variable ligada al identificador x»*

en lugar de la forma más correcta, pero menos frecuente:

*«Almacena una referencia al valor 4 en la variable ligada al identificador x».*

- Aunque esto simplifica las cosas a la hora de hablar, hay que tener cuidado, porque llegado el momento es posible tener:
  - Varios identificadores distintos ligados a la misma variable (ocurre en algunos lenguajes como PHP, aunque no en Python ni Java).
  - Un mismo identificador ligado a distintas variables en diferentes puntos del programa.
  - Varias variables apuntando al mismo valor.

- Podemos ejecutar varias sentencias de asignación sobre una misma variable en diferentes puntos del programa, lo que permite que una variable pueda cambiar su valor durante la ejecución del programa.
- Se dice que la asignación es **destructiva** porque, al cambiarle el valor a una variable, **el nuevo valor sustituye a su valor anterior** en esa variable.
- Por ejemplo, si tras haber ejecutado la anterior asignación `x = 4`, ahora hacemos:

```
x = 9
```

el valor de la variable `x` pasa ahora a ser `9`, sustituyendo el valor `4` anterior.

- ▶ Por tanto, eso significa que la variable `x` puede hacer referencia a distintos valores dependiendo del momento en el que se compruebe su valor.
- ▶ De hecho, la asignación anterior crea un instante que divide el flujo temporal de ejecución en dos momentos:
  - **Antes** de ejecutar la asignación, `x` vale 4.
  - **Después** de ejecutar la asignación, `x` vale 9.

- ▶ Cada nueva asignación provoca un cambio de estado en el programa.
- ▶ En el ejemplo anterior, el programa pasa de estar en un estado en el que la variable `x` vale 4 a otro en el que la variable vale 9.
- ▶ Al final, un programa imperativo se puede reducir a una **secuencia de asignaciones** realizadas en el orden dictado por el programa.
- ▶ Este modelo de funcionamiento está estrechamente ligado a la arquitectura de un ordenador: hay una memoria formada por celdas que contienen datos que pueden cambiar a lo largo del tiempo según dicten las instrucciones del programa que controla al ordenador.

## Un ejemplo completo

- ▶ Cuando se ejecuta la siguiente instrucción:

```
x = 2500
```

ocurre lo siguiente:

1. Se crea el valor 2500 en el montículo.

En determinadas situaciones, no crea un nuevo valor si ya había otro exactamente igual en el montículo, pero éste no es el caso.

2. El intérprete resuelve el identificador `x` (que aquí consiste en determinar a qué variable está ligado el identificador `x`) consultando el entorno.

Si no existía dicha variable, la crea en ese momento y la liga a `x` en el marco actual.

3. Almacena en la variable una referencia al valor.

## 2.6. La sentencia de l

## La sentencia **del**

- ▶ En Python existe la sentencia contraria a la asignación, es decir, **una sentencia que elimina variables**.
- ▶ Para ello, se usa la palabra clave **del** seguido de una expresión que identifique a la variable (que normalmente será un simple identificador):

```
>>> x = 25
>>> x
25
>>> del x
>>> x
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
NameError: name 'x' is not defined
```

- ▶ Al hacer **del x**, se elimina la variable ligada al identificador **x** en el marco donde está almacenada la variable.
- ▶ Tras eliminar la variable, se elimina también, en ese mismo marco, el identificador **x** y la ligadura que existía entre este y la variable, puesto que ya no tiene sentido que sigan existiendo al no existir la variable.

## 2.7. Alias de variables y valores idénticos

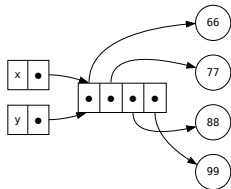


## Alias de variables y valores idénticos

- ▶ Cuando una variable que tiene un valor se asigna a otra, ambas variables pasan a **compartir el mismo valor**, produciéndose un fenómeno conocido como **alias de variables**.

```
x = (66, 77, 88, 99)
y = x # x se asigna a y; ahora y tiene el mismo valor que x
```

- ▶ Esto se debe a que las variables almacenan **referencias** a los valores, no los valores en sí mismos (éstos se almacenan en el montículo).



- ▶ Las dos variables almacenan la misma referencia (o, dicho de otra forma, son dos referencias al mismo valor).
- ▶ En tal caso, decimos que `x` e `y` son datos **idénticos** (no sólo *iguales*), ya que apuntan al mismo valor en el montículo.

## 2.8. Recolección de basura

## Recolección de basura

- ▶ Un valor se vuelve **inaccesible** cuando no hay ninguna referencia que apunte a él.
- ▶ Eso ocurre cuando no queda ninguna variable que contenga una referencia a ese valor.
- ▶ En tal caso, el intérprete lo marca como *candidato para ser eliminado*.
- ▶ Cada cierto tiempo, el intérprete activa el **recolector de basura**, que es un componente que se encarga de liberar de la memoria a los valores que están marcados como candidatos para ser eliminados.
- ▶ Por tanto, el programador Python no tiene que preocuparse de gestionar manualmente la memoria ocupada por los valores que componen su programa.

► Por ejemplo:

```
tupla1 = (1, 2, 3) # crea la tupla y guarda una referencia a ella en tupla1  
tupla2 = tupla1   # almacena en tupla2 la referencia que hay en tupla1
```

A partir de ahora, ambas variables apuntan al mismo valor y, por tanto, decimos que el valor tiene dos referencias, o que hay dos referencias apuntándole.

```
del tupla1      # elimina una referencia pero el valor aún tiene otra  
del tupla2      # elimina la otra referencia y ahora el valor es inaccesible
```

Como ya no hay ninguna referencia apuntándole, se marca como *candidato a ser eliminado* y, por tanto, la próxima vez que se active el recolector de basura, se eliminará la tupla del montículo.

## 2.9. Evaluación de expresiones con variables

## Evaluación de expresiones con variables

- ▶ Al evaluar expresiones, las variables actúan de modo similar a las ligaduras de la programación funcional pero, ahora, los valores de las variables pueden cambiar a lo largo del tiempo, por lo que deberemos *seguirle la pista* a los cambios que sufran dichas variables.
- ▶ Todo lo visto hasta ahora sobre marcos, ámbitos, sombreado, entornos, etc. se aplica igualmente a las variables.
- ▶ Por ejemplo:

```
>>> x = 4
>>> y = 3
>>> x * y + 5      # esta expresión vale 17 porque 'x' vale 4 y 'y' vale 3
17
>>> x = 9
>>> x * y + 5      # la misma expresión ahora vale 32 porque 'x' vale 9
32
```

- ▶ Los parámetros de las funciones (es decir, de las expresiones lambda) también son ahora variables en el paradigma imperativo.
- ▶ Por tanto, si tenemos el siguiente código:

```
cuadrado = lambda x: x **2  
total = cuadrado(4)
```

el parámetro `x` es ahora un identificador que se ligará a una variable, la cual almacenará una referencia a su argumento correspondiente durante las llamadas a la función.

Por tanto, en la llamada `cuadrado(4)`, se guardará en el marco de la expresión lambda una ligadura entre el identificador `x` y una variable que se creará y se almacenará en el mismo marco, y esa variable contendrá una referencia al argumento `4`.

## 2.10. Tipado estático vs. dinámico



## Tipado estático vs. dinámico

- ▶ Cuando una variable tiene asignado un valor, al ser usada en una expresión actúa como si fuera ese valor.
- ▶ Como cada valor tiene un tipo asociado, también podemos hablar del **tipo de una variable**.

El **tipo de una variable** es el tipo del valor al que hace referencia la variable.

- ▶ Si a una variable se le asigna otro valor de un tipo distinto al del valor anterior, el tipo de la variable cambia y pasa a ser el del nuevo valor que se le ha asignado.

- ▶ Eso quiere decir que **el tipo de una variable podría cambiar durante la ejecución del programa.**
- ▶ A este enfoque se le denomina **tipado dinámico.**
- ▶ En esos lenguajes, no existen mecanismos que permitan asignar de manera fija y única el tipo de una variable de forma que siempre sea el mismo durante toda la ejecución del programa.
- ▶ Así, los traductores de un lenguaje dinámico no tratan de asignar un tipo a las variables durante la fase de compilación o al empezar a leer el código fuente del programa, sino que el tipo es una propiedad de la variable que va cambiando a medida que se van ejecutando las instrucciones del programa, de forma dinámica.
- ▶ Por esta razón, en general, en un lenguaje dinámico no se puede determinar el tipo de una variable simplemente leyendo el código fuente del programa, sin ejecutarlo.

- ▶ Asimismo, en esos lenguajes tampoco es posible, en general, determinar de antemano (sin ejecutar el programa) la signatura de las funciones, es decir, el tipo de sus parámetros y el de su valor de retorno, ya que todos ellos también son variables.

Por tanto, es la propia función la que, durante una llamada a la misma, se encarga de comprobar en tiempo de ejecución si los argumentos de entrada que le han pasado en la llamada son del tipo correcto.

- ▶ Por ejemplo, en la siguiente función:

```
f = lambda x, y: x + y
```

no están determinados de antemano los tipos de los parámetros ni el tipo de retorno, por lo que dicha función podría admitir argumentos de cualquier tipo siempre que soporten el operador `+`.

► Definición:

**Lenguajes de tipado dinámico:**

Son aquellos que **permiten** que el tipo de una variable **cambie** durante la ejecución del programa y en los que, por tanto, en general, no es posible determinar de antemano el tipo de la variable sin ejecutar el programa. Eso incluye también la signatura de las funciones, es decir, el tipo de sus parámetros y su tipo de retorno.

- ▶ En contraste con los lenguajes de tipado dinámico, existen los llamados **lenguajes de tipado estático**.
- ▶ En un lenguaje de tipado estático, el tipo de una variable se define una sola vez (en la fase de compilación o justo al empezar a ejecutarse el programa), y **no puede cambiar** durante la ejecución del mismo.
- ▶ Definición:

#### **Lenguajes de tipado estático:**

Son aquellos que asocian forzosamente y de forma única un tipo a cada variable del programa antes de comenzar a ejecutarse y **prohíben** que dicho tipo **cambie** durante la ejecución del mismo.

- ▶ Por tanto, en un programa escrito en un lenguaje de tipado estático es posible determinar el tipo de una variable simplemente leyendo el código fuente del mismo, sin necesidad de ejecutarlo.

- ▶ Estos lenguajes disponen de instrucciones que permiten *declarar* de qué tipo serán los datos que se pueden asignar a una variable.

Por ejemplo, en Java podemos hacer:

```
String x;
```

con lo que declaramos que a `x` sólo se le podrán asignar valores de tipo `String` desde el primer momento y a lo largo de toda la ejecución del programa.

- ▶ A veces, se pueden realizar al mismo tiempo la declaración del tipo y la asignación del valor:

```
String x = "Hola";
```

- ▶ Otros lenguajes de tipado estático disponen de un mecanismo conocido como **inferencia de tipos**, que permite *deducir* automáticamente el tipo de una variable.
- ▶ Por ejemplo, en Java podemos hacer:

```
var x = "Hola";
```

El compilador de Java deduce que la variable `x` debe ser de tipo `String` porque se le está asignando una cadena (el valor `"Hola"`).

- ▶ La inferencia de tipos permite el tipado estático sin necesidad de usar declaraciones explícitas de tipos.
- ▶ Aún así, la inmensa mayoría de los lenguajes estáticos con inferencia de tipos disponen de mecanismos de declaración explícita de tipos, ya que a veces es necesario «ayudar» al traductor a deducir el tipo de una variable.
- ▶ Así ocurre, por ejemplo, con algunos lenguajes funcionales como Haskell o ML.

- ▶ En los lenguajes de tipado estático, el traductor es capaz de comprobar si existen errores de tipos **antes de empezar la ejecución del programa**, es decir, durante la fase de compilación (si es un compilador) o justo al empezar a leer el código fuente (si es un intérprete).
- ▶ Por ejemplo, el compilador de Java podría detectar, en tiempo de compilación y sin tener que ejecutarlo, que el siguiente trozo de código es erróneo, ya que se intenta asignar un valor de tipo cadena a una variable declarada de tipo entero:

```
1  int x;  
2  
3  x = "Hola";
```

- ▶ Al ser un lenguaje de tipado estático, el compilador conoce (o deduce) **en tiempo de compilación** el tipo de la variable `x` y el del valor `"Hola"`, sabe que son tipos diferentes (`int` y `String`, respectivamente) y concluye que no es correcto asignar ese valor a esa variable puesto que sus tipos son incompatibles, generando un **error de tipos** en la línea 3 y deteniendo la generación del código objeto.



- ▶ De igual forma, el compilador detecta en tiempo de compilación que la siguiente expresión no es correcta, ya que se intenta multiplicar un número con una cadena, algo que no está permitido en Java:

```
x * "Hola"
```

- ▶ Por contra, el lenguaje Python es un lenguaje dinámico, por lo que el intérprete desconoce de antemano el tipo de las variables, ya que éste va cambiando sobre la marcha a medida que se va ejecutando el programa:

```
x = 4          # Ahora x es de tipo int  
x = 'Hola'     # Ahora x es de tipo str
```

- ▶ Por tanto, el intérprete no puede saber de antemano (antes de ejecutar el programa) si la siguiente expresión es correcta o incorrecta:

```
x / 2          # Se puede dividir un entero, pero no una cadena
```

Sólo podrá saberlo cuando esté ejecutando el programa y esté a punto de evaluar la expresión, porque hasta entonces no sabrá cuál es el tipo de la variable `x` en ese momento.

- ▶ Normalmente, los lenguajes de tipado estático son también lenguajes compilados y también fuertemente tipados.
- ▶ Asimismo, los lenguajes de tipado dinámico suelen ser lenguajes interpretados y a veces también son lenguajes débilmente tipados.
- ▶ Pero nada impide que un lenguaje de tipado dinámico pueda ser compilado, por ejemplo.
- ▶ Los tres conceptos de:
  - Compilado vs. interpretado
  - Tipado fuerte vs. débil
  - Tipado estático vs. dinámico

son diferentes aunque están estrechamente relacionados.

## 2.11. Asignación compuesta

## Asignación compuesta

- ▶ Los operadores de **asignación compuesta** nos permiten realizar operaciones sobre una variable y luego asignar el resultado a la misma variable.
- ▶ Tienen la forma:

```
⟨asig_compuesta⟩ ::= identificador ⟨op⟩= ⟨expresión⟩  
⟨op⟩ ::= + | - | * | / | % | // | ** | & | | | ^ | >> | <<
```

de manera que la sentencia:

```
identificador ⟨op⟩= ⟨expresión⟩
```

equivale a:

```
identificador = identificador ⟨op⟩ (⟨expresión⟩)
```

Operador	Ejemplo	Equivalente a
=	<code>x = 5 + 2</code>	<code>x = 5 + 2</code>
+=	<code>x += 5 + 2</code>	<code>x = x + (5 + 2)</code>
-=	<code>x -= 5 + 2</code>	<code>x = x - (5 + 2)</code>
*=	<code>x *= 5 + 2</code>	<code>x = x * (5 + 2)</code>
/=	<code>x /= 5 + 2</code>	<code>x = x / (5 + 2)</code>
%=	<code>x %= 5 + 2</code>	<code>x = x % (5 + 2)</code>
//=	<code>x //= 5 + 2</code>	<code>x = x // (5 + 2)</code>
**=	<code>x **= 5 + 2</code>	<code>x = x ** (5 + 2)</code>
&=	<code>x &amp;= 5 + 2</code>	<code>x = x &amp; (5 + 2)</code>
=	<code>x  = 5 + 2</code>	<code>x = x   (5 + 2)</code>
^=	<code>x ^= 5 + 2</code>	<code>x = x ^ (5 + 2)</code>

- ▶ Hay que tener en cuenta que la *«expresión»* es como si estuviera encerrada entre paréntesis en la sentencia equivalente.
- ▶ Por ejemplo, la siguiente sentencia:

```
acc *= temp + x
```

no es equivalente a:

```
acc = acc * temp + x
```

sino que la expresión `temp + x` va encerrada entre paréntesis, de manera que la sentencia equivalente correcta es:

```
acc = acc * (temp + x)
```

## 2.12. Asignación múltiple

## Asignación múltiple

- ▶ Con la **asignación múltiple** podemos asignar valores a varias variables **al mismo tiempo** en una sola sentencia.
- ▶ La sintaxis es:

```
 $\langle \text{asig\_múltiple} \rangle ::= \langle \text{lista\_identificadores} \rangle = \langle \text{lista\_expresiones} \rangle$   
 $\langle \text{lista\_identificadores} \rangle ::= \text{identificador} (, \text{identificador})^*$   
 $\langle \text{lista\_expresiones} \rangle ::= \langle \text{expresión} \rangle (, \langle \text{expresión} \rangle)^*$ 
```

con la condición de que tiene que haber tantos identificadores como expresiones.

- ▶ Por ejemplo:

```
x, y = 10, 20
```

asigna el valor 10 a x y el valor 20 a y.



- ▶ Lo interesante de la asignación múltiple es que **todas las asignaciones se llevan a cabo a la vez, en paralelo**, no una tras otra.
- ▶ Por ejemplo, si quisiéramos intercambiar los valores de `x` e `y` sin asignación múltiple, tendríamos que usar una variable auxiliar que almacenara el valor de una de las variables para no perderlo:

```
aux = x
x = y
y = aux
```

- ▶ En cambio, si usamos la asignación múltiple, se puede hacer simplemente:

```
x, y = y, x
```

- ▶ Lo que ocurre es que la `x` toma el valor que tenía `y` **justo antes de ejecutar la sentencia**, y la `y` toma el valor que tenía `x` **justo antes de ejecutar la sentencia**.
- ▶ Por tanto, las asignaciones que se realizan en una asignación múltiple **no se afectan entre ellas**.

- ▶ A la asignación múltiple también se la denomina **desempaquetado de tuplas**, ya que, técnicamente, es una asignación entre dos tuplas, como si se hubiera escrito así:

$$(x, y) = (10, 20)$$

- ▶ Esto es así porque, en realidad, los paréntesis que rodean a una tupla casi nunca son estrictamente necesarios (salvo para la tupla vacía y para evitar ambigüedades) y, por tanto:

$$2, 3$$

es lo mismo que

$$(2, 3)$$

- ▶ En consecuencia, lo que ocurre es que *se desempaquetan* las dos tuplas y se asigna cada elemento de la tupla derecha a la variable correspondiente de la tupla izquierda.

## 2.13. Constantes

## Constantes

- ▶ En programación funcional no existen las variables y un identificador sólo puede ligarse a un valor (un identificador ligado no puede re-ligarse a otro valor distinto).
  - En la práctica, eso significa que un identificador ligado actúa como un valor constante que no puede cambiar durante la ejecución del programa.
  - El valor de esa constante es el valor al que está ligado el identificador.
- ▶ Pero en programación imperativa, los identificadores se ligan a variables, que son las que realmente apuntan a los valores.
- ▶ Una **constante** en programación imperativa sería el equivalente a una variable cuyo valor no puede cambiar durante la ejecución del programa.

- ▶ Muchos lenguajes de programación permiten definir constantes, pero **Python no es uno de ellos**.
- ▶ En Python, una constante **es una variable más, pero es responsabilidad del programador** no cambiar su valor durante todo el programa.
- ▶ Python no hace ninguna comprobación ni muestra mensajes de error si se cambia el valor de una constante.
- ▶ En Python, por **convenio**, los identificadores ligados a una variable con valor constante se escriben con todas las letras en **mayúscula**:

```
PI = 3.1415926
```

El nombre en mayúsculas nos recuerda que **PI** es una constante, aunque nada nos impide cambiar su valor (cosa que debemos evitar):

```
PI = 99
```

- ▶ Sólo es un convenio entre programadores, que no tiene por qué cumplirse siempre.

## 3. Saltos

## 3.1. Incondicionales

## Incondicionales

- ▶ Un **salto incondicional** es una sentencia que provoca una ruptura abrupta del flujo de control del programa hacia otro punto del mismo.
- ▶ Se le llama *salto* porque el programa «salta» a otra línea del código, normalmente marcada mediante un *número de línea* o una *etiqueta*.
- ▶ Se llama *incondicional* porque no depende de ninguna condición, es decir, se lleva a cabo **siempre** que se alcanza la sentencia de salto.
- ▶ Históricamente, a esta instrucción se la ha llamado **instrucción GOTO**.
- ▶ El uso de instrucciones *GOTO* es considerado, en general, una mala práctica de programación ya que favorece la creación del llamado **código espagueti**: programas con una lógica tan complicada de seguir que resultan casi imposibles de leer y de mantener.
- ▶ En cambio, usadas controladamente y de manera local, puede ayudar a escribir soluciones sencillas y claras.



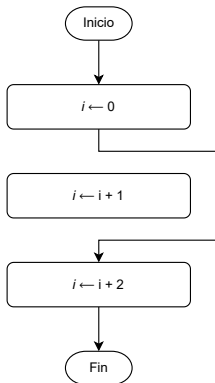
- ▶ Algoritmo imperativo que usa saltos incondicionales con etiquetas:

```
inicio  
 $i \leftarrow 0$   
saltar a la etiqueta fin  
 $i \leftarrow i + 1$   
etiqueta fin  
 $i \leftarrow i + 2$   
fin
```

- ▶ El mismo algoritmo con números de línea:

```
1. inicio  
2.  $i \leftarrow 0$   
3. saltar a la línea 5  
4.  $i \leftarrow i + 1$   
5.  $i \leftarrow i + 2$   
6. fin
```

- ▶ Representado como diagrama de flujo:



¿Cuánto vale  $i$  al final del programa?

- ▶ Python no incluye la instrucción **GOTO** pero se puede simular usando el módulo experimental `with_goto` del paquete llamado `python-goto`:

```
$ sudo apt install python3-pip  
$ pip install git+https://github.com/tushar-deepsources/python-goto.git
```

- ▶ Un ejemplo de uso:

- ▶ Sintaxis:

```
<goto> ::= goto <etiqueta>  
<label> ::= label <etiqueta>  
<etiqueta> ::= .<identificador>
```

```
from goto import with_goto  
  
CODIGO = """  
i = 0  
goto .fin  
i = 1  
label .fin  
i = 2  
"""  
  
exec(with_goto(compile(CODIGO, '', 'exec')))
```

- ▶ Si *Pylint* o *Pylance* se quejan de la última línea, escribirla así:

```
exec(with_goto(compile(CODIGO, '', 'exec'))) # type: ignore pylint: disable=exec-used
```

## 3.2. Condicionales

## Condicionales

- ▶ Un **salto condicional** es un salto que se lleva a cabo sólo si se cumple una determinada condición.
- ▶ En el caso de que la condición no se cumpla, no se produce el salto y, por tanto, el flujo de control del programa continúa en la siguiente sentencia que aparece en el código fuente.
- ▶ En pseudocódigo se puede escribir de la siguiente forma:

```
si <condición> saltar a (<etiqueta>|<número_linea>)
```

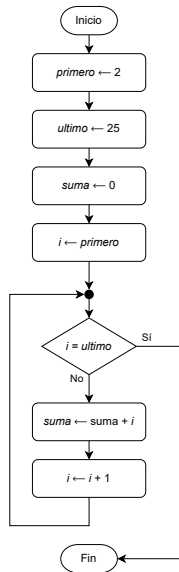
- ▶ En Python, usando el módulo `with_goto`, podríamos implementarlo de la siguiente forma:

```
<salto_condicional> ::= if <condición>: goto <etiqueta>
```

- Ejemplo que combina saltos condicionales e incondicionales:

```
inicio  
primero  $\leftarrow$  2  
ultimo  $\leftarrow$  25  
suma  $\leftarrow$  0  
 $i \leftarrow$  primero  
etiqueta bucle  
si  $i = \text{ultimo}$  saltar a la etiqueta salir  
suma  $\leftarrow$  suma +  $i$   
 $i \leftarrow i + 1$   
saltar a la etiqueta bucle  
etiqueta salir  
fin
```

¿Cuánto vale *suma* al final?



- Traducción a Python usando el módulo `with_goto`:

```
from goto import with_goto

CODIGO = """
primero = 2
ultimo = 25

suma = 0
i = primero

label .inicio
if i == ultimo: goto .fin

suma += i
i += 1
goto .inicio

label .fin
"""

exec(with_goto(compile(CODIGO, '', 'exec')))
```

- ▶ También existe el paquete experimental [goto-plus](#), que funciona de forma similar pero usando números de línea en lugar de etiquetas.
- ▶ Para su instalación, puede usarse cualquiera de estas dos vías:
  1. Ejecutar el siguiente comando:

```
$ pip install goto-plus
```

o bien...

2. Descargar el archivo [goto.py](#) desde GitHub usando cualquiera de las siguientes URL y guardarlo en el directorio de trabajo con el nombre [goto\\_plus.py](#):
  - [abhinav-gg/SyllyPipPackages](#)
  - [ricpelo/SillyPipPackages](#)

► Ejemplo:

```
1  from goto_plus import goto, gotoconfig
2  gotoconfig(__file__)
3
4  suma = 0
5  j = 0
6  j += 1
7  suma += j
8  if j < 10: goto(6)
```

¿Cuánto vale `suma` al final?



## 4. Bibliografía

# Bibliografía

Aguilar, Luis Joyanes. 2008. *Fundamentos de Programación*. McGraw-Hill Interamericana de España.

Pareja Flores, Cristóbal, Manuel Ojeda Aciego, Ángel Andeyro Quesada, and Carlos Rossi Jiménez. 1997. *Desarrollo de Algoritmos y Técnicas de Programación En Pascal*. Ra-Ma.