

# Pensar en Python

Aprende a pensar como un informático

2da Edición, Versión 2.4.0



# Pensar en Python

Aprende a pensar como un informático

2da Edición, Versión 2.4.0

Allen Downey

Green Tea Press

Needham, Massachusetts

Copyright © 2015 Allen Downey.

Green Tea Press  
9 Washburn Ave  
Needham MA 02492

Se concede permiso para copiar, distribuir y/o modificar este documento bajo los términos de la Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License, la cual está disponible en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>.

La forma original de este libro está en código fuente de  $\text{\LaTeX}$ . La compilación de esta fuente de  $\text{\LaTeX}$  tiene el efecto de generar una representación de un libro de texto que es independiente del dispositivo, la cual se puede convertir a otros formatos e imprimir.

La fuente de  $\text{\LaTeX}$  para este libro está disponible en <http://www.thinkpython2.com>

Título original: *Think Python: How to Think Like a Computer Scientist*

Traducción de Jorge Espinoza.

# Prefacio

## La extraña historia de este libro

En enero de 1999, me estaba preparando para enseñar un curso introductorio de programación en Java. Lo había enseñado tres veces y me estaba frustrando. La tasa de fracaso en el curso era muy alta y, aún para estudiantes que tenían éxito, el nivel general de logros era muy bajo.

Uno de los problemas que vi tenía relación con los libros. Eran muy grandes, con demasiados detalles innecesarios sobre Java, y no tenían suficiente orientación de alto nivel acerca de cómo programar. Y todos sufrían el efecto trampa: comenzaban con facilidad, avanzaban de manera gradual y luego, en algún lugar alrededor del Capítulo 5, fallaban. Los estudiantes conseguían demasiado material nuevo, muy rápido, y yo ocupaba el resto del semestre recogiendo los pedazos.

Dos semanas antes del primer día de clases, decidí escribir mi propio libro. Mis objetivos eran:

- Que sea corto: es mejor para los estudiantes leer 10 páginas que no leer 50 páginas.
- Tener cuidado con el vocabulario: intenté minimizar la jerga y definir cada término en su primer uso.
- Construir de manera gradual: para evitar trampillas, tomé los temas más difíciles y los dividí en series de pasos pequeños.
- Concentrarse en la programación, no en el lenguaje de programación: incluí el mínimo subconjunto útil de Java y excluí el resto.

Necesitaba un título, así que por capricho escogí *Aprende a pensar como un informático (How to Think Like a Computer Scientist)*.

Mi primera versión fue áspera, pero funcionó. Los estudiantes hicieron la lectura y entendieron lo suficiente como para que yo pudiera ocupar el tiempo de la clase en los temas difíciles, los temas interesantes y (más importante) dejar a los estudiantes practicar.

Publiqué el libro bajo la Licencia de documentación libre de GNU, permitiendo a los usuarios copiar, modificar y distribuir el libro.

Lo que ocurrió después es la parte genial. Jeff Elkner, un profesor de escuela secundaria en Virginia, adoptó mi libro y lo tradujo a Python. Me envió una copia de su traducción y tuve la extraña experiencia de aprender Python leyendo mi propio libro. Como Green Tea Press, publiqué la primera versión en Python en 2001.

En 2003 comencé a enseñar en el Olin College y tuve que enseñar Python por primera vez. El contraste con Java fue notable. Los estudiantes se esforzaban menos, aprendían más, trabajaban en más proyectos interesantes y generalmente se divertían mucho.

Desde entonces he continuado desarrollando el libro, corrigiendo errores, mejorando algunos de los ejemplos y agregando material, especialmente ejercicios.

El resultado es este libro, ahora con el título menos grandioso *Pensar en Python* (*Think Python*). Algunos de los cambios son:

- Agregué una sección sobre depuración al final de cada capítulo. Estas secciones presentan técnicas generales para encontrar y evitar errores de programación y advertencias sobre trampas de Python.
- Agregué más ejercicios, que van desde pruebas cortas de comprensión hasta algunos proyectos sustanciales. La mayoría de los ejercicios incluyen un enlace a mi solución.
- Agregué una serie de estudios de caso: ejemplos más largos con ejercicios, soluciones y discusión.
- Expandí la discusión de planes de desarrollo de programa y pautas de diseño básicas.
- Agregué apéndices sobre depuración y análisis de algoritmos.

La segunda edición de *Pensar en Python* tiene nuevas características:

- El libro y todo el código de apoyo han sido actualizados a Python 3.
- Agregué unas pocas secciones, y más detalles en la web, para ayudar a los principiantes a empezar a ejecutar Python en un navegador, así que no tienes que lidiar con la instalación de Python hasta que quieras hacerlo.
- Para el Capítulo 4.1 cambié mi propio paquete de gráfica tortuga, llamado Swampy, por un módulo de Python más estándar, `turtle`, que es más fácil de instalar y más poderoso.
- Agregué un nuevo capítulo llamado “Trucos extra”, que introduce algunas características adicionales de Python que no son estrictamente necesarias, pero a veces son prácticas.

Espero que disfrutes trabajando con este libro y que te ayude a aprender a programar y a pensar como un informático, al menos un poco.

Allen B. Downey

Olin College

## Agradecimientos

Muchas gracias a Jeff Elkner, quien tradujo mi libro de Java a Python, lo cual comenzó este proyecto y me presentó lo que ha resultado ser mi lenguaje favorito.

Gracias también a Chris Meyers, quien contribuyó a varias secciones de *How to Think Like a Computer Scientist*.

Gracias a la Free Software Foundation por desarrollar la Licencia de documentación libre de GNU, la cual me ayudó a hacer posible mi colaboración con Jeff y Chris, y a Creative Commons por la licencia que uso ahora.

Gracias a los editores de Lulu que trabajaron en *How to Think Like a Computer Scientist*.

Gracias a los editores de O'Reilly Media que trabajaron en *Think Python*.

Gracias a todos los estudiantes que trabajaron con las primeras versiones de este libro y a todos los colaboradores (nombrados a continuación) que enviaron correcciones y sugerencias.

## Lista de colaboradores

Más de 100 lectores perspicaces y atentos han enviado sugerencias y correcciones en los últimos años. Sus contribuciones, y su entusiasmo por este proyecto, han sido una ayuda enorme.

Si tienes una sugerencia o corrección, por favor envía un email a [feedback@thinkpython.com](mailto:feedback@thinkpython.com). Si hago un cambio basado en tu retroalimentación, te agregaré a la lista de colaboradores (a menos que pidas que te omita).

Si incluyes al menos una parte de la oración en donde aparece el error, eso me facilita la búsqueda. Los números de página y de sección también me ayudan, pero no es tan fácil trabajar con estos. ¡Gracias!

- Lloyd Hugh Allen envió una corrección a la Sección 8.4.
- Yvon Boulianne envió una corrección a un error semántico en el Capítulo 5.
- Fred Bremmer envió una corrección en la Sección 2.1.
- Jonah Cohen escribió los scripts de Perl que convierten la fuente de LaTeX de este libro en un hermoso HTML.
- Michael Conlon envió una corrección gramatical en el Capítulo 2 y una mejora de estilo en el Capítulo 1, e inició la discusión sobre los aspectos técnicos de los intérpretes.
- Benoît Girard envió una corrección a un error chistoso en la Sección 5.6.
- Courtney Gleason y Katherine Smith escribieron `horsebet.py`, que fue usado como un estudio de caso en una versión anterior del libro. Su programa puede encontrarse ahora en el sitio web.
- Lee Harr envió más correcciones de las que cabrían acá en una lista y, de hecho, debería aparecer como uno de los principales editores del texto.
- James Kaylin es un estudiante que usa el texto. Ha enviado numerosas correcciones.
- David Kershaw arregló la función incorrecta `catTwice` en la Sección 3.10.
- Eddie Lam ha enviado numerosas correcciones a los Capítulos 1, 2 y 3. También arregló el Makefile para que cree un índice la primera vez que se ejecute y nos ayudó a configurar un esquema de versionamiento.

- Man-Yong Lee envió una corrección al código de ejemplo en la Sección 2.4.
- David Mayo advirtió que la palabra “inconsciente” en el Capítulo 1 necesitaba ser cambiada a “subconsciente”.
- Chris McAloon envió muchas correcciones a las Secciones 3.9 y 3.10.
- Matthew J. Moelter ha sido un colaborador por mucho tiempo que envió numerosas correcciones y sugerencias al libro.
- Simon Dicon Montford informó sobre una definición de función faltante y muchos errores tipográficos en el Capítulo 3. Además, encontró errores en la función `increment` en el Capítulo 13.
- John Ouzts corrigió la definición de “valor de retorno” en el Capítulo 3.
- Kevin Parks envió valiosos comentarios y sugerencias en cuanto a cómo mejorar la distribución del libro.
- David Pool envió un error tipográfico en el glosario del Capítulo 1, así como amables palabras de aliento.
- Michael Schmitt envió una corrección al capítulo de archivos y excepciones.
- Robin Shaw señaló un error en la Sección 13.1, donde la función `printTime` se usó en un ejemplo sin estar definida.
- Paul Sleight encontró un error en el Capítulo 7 y un error en el script de Perl de Jonah Cohen que genera HTML a partir de LaTeX.
- Craig T. Snyder está probando el texto en un curso en la Drew University. Ha aportado muchas sugerencias y correcciones valiosas.
- Ian Thomas y sus alumnos están usando el texto en un curso de programación. Ellos son los primeros en probar los capítulos de la segunda mitad del libro, y han hecho numerosas correcciones y sugerencias.
- Keith Verheyden envió una corrección en el Capítulo 3.
- Peter Winstanley nos hizo saber sobre un error en nuestro *Latin* que estuvo por mucho tiempo en el Capítulo 3.
- Chris Wrobel hizo correcciones al código en el capítulo de entrada/salida de archivo y excepciones.
- Moshe Zadka ha hecho contribuciones invaluable a este proyecto. Además de escribir el primer borrador del capítulo de Diccionarios, proporcionó constante orientación en las primeras etapas del libro.
- Christoph Zwerschke envió muchas correcciones y sugerencias pedagógicas, y explicó la diferencia entre *gleich* y *selbe*.
- James Mayer nos envió una gran cantidad de errores ortográficos y tipográficos, incluyendo dos en la lista de colaboradores.
- Hayden McAfee encontró una inconsistencia potencialmente confusa entre dos ejemplos.
- Angel Arnal es parte de un equipo internacional de traductores trabajando en la versión en español del texto. Además, encontró muchos errores en la versión en inglés.



- Tauhidul Hoque y Lex Berezchny crearon las ilustraciones en el Capítulo 1 y mejoraron muchas de las otras ilustraciones.
- Dr. Michele Alzetta encontró un error en el Capítulo 8 y envió algunos comentarios pedagógicos interesantes y sugerencias sobre Fibonacci y Old Maid.
- Andy Mitchell encontró un error tipográfico en el Capítulo 1 y un ejemplo incorrecto en el Capítulo 2.
- Kalin Harvey sugirió una aclaración en el Capítulo 7 y captó algunos errores tipográficos.
- Christopher P. Smith encontró muchos errores tipográficos y nos ayudó a actualizar el libro a Python 2.2.
- David Hutchins encontró un error tipográfico en el Prólogo.
- Gregor Lingl está enseñando Python en una escuela secundaria en Vienna, Austria. Está trabajando en una traducción del libro al alemán y encontró un par de errores malos en el Capítulo 5.
- Julie Peters encontró un error tipográfico en el Prefacio.
- Florin Oprina envió una mejora a `makeTime`, una corrección a `printTime` y un buen error tipográfico.
- D. J. Webre sugirió una aclaración en el Capítulo 3.
- Ken encontró un puñado de errores en los Capítulos 8, 9 y 11.
- Ivo Wever encontró un error tipográfico en el Capítulo 5 y sugirió una aclaración en el Capítulo 3.
- Curtis Yanko sugirió una aclaración en el Capítulo 2.
- Ben Logan envió una serie de errores tipográficos y problemas con la traducción del libro a HTML.
- Jason Armstrong vio la palabra que faltaba en el Capítulo 2.
- Louis Cordier notó un lugar en el Capítulo 16 donde el código no coincidía con el texto.
- Brian Cain sugirió varias aclaraciones en los Capítulos 2 y 3.
- Rob Black envió un montón de correcciones, incluyendo algunos cambios para Python 2.2.
- Jean-Philippe Rey de la École Centrale Paris envió una serie de parches, incluyendo algunas actualizaciones para Python 2.2 y otras mejoras para pensar.
- Jason Mader en la George Washington University hizo una serie de sugerencias y correcciones útiles.
- Jan Gundtofte-Bruun nos recordó que “a error” es un error.
- Abel David y Alexis Dinno nos recordaron que el plural de “matrix” es “matrices”, no “matrices”. Este error estuvo en el libro por años, pero dos lectores con las mismas iniciales lo informaron en el mismo día. Extraño.
- Charles Thayer nos animó a deshacernos de los punto y coma que habíamos puesto al final de algunas sentencias y a limpiar nuestro uso de “argumento” y “parámetro”.
- Roger Sperberg advirtió sobre una lógica retorcida en el Capítulo 3.

- Sam Bull advirtió sobre un párrafo confuso en el Capítulo 2.
- Andrew Cheung señaló dos instancias de “use before def”.
- C. Corey Capel vio la palabra que faltaba en el Tercer Teorema de la Depuración y un error tipográfico en el Capítulo 4.
- Alessandra ayudó a aclarar alguna confusión con Turtle.
- Wim Champagne encontró un error en un ejemplo de diccionario.
- Douglas Wright señaló un problema con la división entera en `ar co`.
- Jared Spindor encontró algo de basura al final de una oración.
- Lin Peiheng envió una serie de sugerencias muy útiles.
- Ray Hagtvedt envió dos errores y un no tan error.
- Torsten Hübsch señaló una inconsistencia en Swampy.
- Inga Petuhhov corrigió un ejemplo en el Capítulo 14.
- Arne Babenhauserheide envió muchas correcciones útiles.
- Mark E. Casida es es bueno mirando palabras repetidas.
- Scott Tyler rellenó una que faltaba. Y envió un montón de correcciones.
- Gordon Shephard envió varias correcciones, todas en correos separados.
- Andrew Turner encontró un error en el Capítulo 8.
- Adam Hobart arregló un problema con la división entera en `ar co`.
- Daryl Hammond y Sarah Zimmerman advirtieron que mostré a `math.pi` demasiado pronto. Y Zim vio un error tipográfico.
- George Sass encontró un error en una sección de Depuración.
- Brian Bingham sugirió el Ejercicio 11.5.
- Leah Engelbert-Fenton advirtió que usé `tuple` como un nombre de variable, contrario a mi propio consejo. Y luego encontró un montón de errores tipográficos y un “use before def”.
- Joe Funke vio un error tipográfico.
- Chao-chao Chen encontró una inconsistencia en el ejemplo de Fibonacci.
- Jeff Paine sabe la diferencia entre `space` y `spam`.
- Lubos Pintes envió un error tipográfico.
- Gregg Lind y Abigail Heithoff sugirieron el Ejercicio 14.3.
- Max Hailperin ha enviado una serie de correcciones y sugerencias. Max es uno de los autores del extraordinario *Concrete Abstractions*, que tal vez quieras leer cuando termines con este libro.
- Chotipat Pornavalai encontró un error en un mensaje de error.
- Stanislaw Antol envió una lista de sugerencias muy útiles.
- Eric Pashman envió una serie de correcciones para los Capítulos 4–11.

- Miguel Azevedo encontró algunos errores tipográficos.
- Jianhua Liu envió una larga lista de correcciones.
- Nick King encontró una palabra que faltaba.
- Martin Zuther envió una larga lista de sugerencias.
- Adam Zimmerman encontró una inconsistencia en mi ejemplo de una “instancia” y muchos otros errores.
- Ratnakar Tiwari sugirió una nota al pie explicando los triángulos degenerados.
- Anurag Goel sugirió otra solución para `es_abecedario` y envió algunas correcciones adicionales. Y sabe cómo deletrear Jane Austen.
- Kelli Kratzer vio uno de los errores tipográficos.
- Mark Griffiths señaló un ejemplo confuso en el Capítulo 3.
- Roydan Ongie encontró un error en mi método de Newton.
- Patryk Wolowiec me ayudó con un problema en la versión HTML.
- Mark Chonofsky me habló de una nueva palabra clave en Python 3.
- Russell Coleman me ayudó con mi geometría.
- Nam Nguyen encontró un error tipográfico y advirtió que usé el patrón Decorator pero sin mencionar el nombre.
- Stéphane Morin envió varias correcciones y sugerencias.
- Paul Stoop corrigió un error tipográfico en `usa_solo`.
- Eric Bronner advirtió sobre una confusión en la discusión del orden de operaciones.
- Alexandros Gezerlis estableció un nuevo estándar para el número y la calidad de sugerencias que envió. ¡Estamos profundamente agradecidos!
- Gray Thomas distingue su derecha de su izquierda.
- Giovanni Escobar Sosa envió una larga lista de correcciones y sugerencias.
- Daniel Neilson corrigió un error sobre el orden de operaciones.
- Will McGinnis advirtió que `polilinea` fue definida de manera diferente en dos lugares.
- Frank Hecker advirtió sobre un ejercicio que estaba subespecificado y algunos enlaces rotos.
- Animesh B me ayudó a limpiar un ejemplo confuso.
- Martin Caspersen encontró dos errores de redondeo.
- Gregor Ulm envió varias correcciones y sugerencias.
- Dimitrios Tsirigkas me sugirió que aclarara un ejercicio.
- Carlos Tafur envió una página de correcciones y sugerencias.
- Martin Nordsletten encontró un error en una solución de un ejercicio.
- Sven Hoexter advirtió que una variable con nombre `input` le hace sombra a una función incorporada.

- Stephen Gregory advirtió el problema con `cmp` en Python 3.
- Ishwar Bhat corrigió mi enunciado del último teorema de Fermat.
- Andrea Zanella tradujo el libro al italiano y envió una serie de correcciones en el camino.
- Muchas, muchas gracias a Melissa Lewis y Luciano Ramalho por los excelentes comentarios y sugerencias sobre la segunda edición.
- Gracias a Harry Percival de PythonAnywhere por su ayuda al hacer que la gente comience ejecutando Python en un navegador.
- Xavier Van Aubel hizo muchas correcciones útiles en la segunda edición.
- William Murray corrigió mi definición de división entera.
- Per Starbäck me puso al día sobre nuevas líneas universales en Python 3.
- Laurent Rosenfeld y Mihaela Rotaru tradujeron este libro al francés. En el camino, me enviaron muchas correcciones y sugerencias.

Adicionalmente, las personas que vieron errores tipográficos o hicieron correcciones incluyen a Czeslaw Czapla, Dale Wilson, Francesco Carlo Cimini, Richard Fursa, Brian McGhie, Lokesh Kumar Makani, Matthew Shultz, Viet Le, Victor Simeone, Lars O.D. Christensen, Swarup Sahoo, Alix Etienne, Kuang He, Wei Huang, Karen Barber y Eric Ransom.

# Índice general

<b>Prefacio</b>	<b>v</b>
<b>1. El camino del programa</b>	<b>1</b>
1.1. ¿Qué es un programa? . . . . .	1
1.2. Ejecutar Python . . . . .	2
1.3. El primer programa . . . . .	3
1.4. Operadores aritméticos . . . . .	3
1.5. Valores y tipos . . . . .	4
1.6. Lenguajes formales y lenguajes naturales . . . . .	4
1.7. Depuración . . . . .	6
1.8. Glosario . . . . .	6
1.9. Ejercicios . . . . .	8
<b>2. Variables, expresiones y sentencias</b>	<b>9</b>
2.1. Sentencias de asignación . . . . .	9
2.2. Nombres de variable . . . . .	9
2.3. Expresiones y sentencias . . . . .	10
2.4. Modo Script . . . . .	11
2.5. Orden de operaciones . . . . .	12
2.6. Operaciones con cadenas . . . . .	12
2.7. Comentarios . . . . .	13
2.8. Depuración . . . . .	13
2.9. Glosario . . . . .	14
2.10. Ejercicios . . . . .	15

<b>3. Funciones</b>	<b>17</b>
3.1. Llamadas a funciones . . . . .	17
3.2. Funciones matemáticas . . . . .	18
3.3. Composición . . . . .	19
3.4. Agregar nuevas funciones . . . . .	19
3.5. Definiciones y usos . . . . .	20
3.6. Flujo de ejecución . . . . .	21
3.7. Parámetros y argumentos . . . . .	21
3.8. Las variables y los parámetros son locales . . . . .	22
3.9. Diagramas de pila . . . . .	23
3.10. Funciones productivas y funciones nulas . . . . .	24
3.11. ¿Por qué funciones? . . . . .	25
3.12. Depuración . . . . .	25
3.13. Glosario . . . . .	25
3.14. Ejercicios . . . . .	27
<b>4. Estudio de caso: diseño de interfaz</b>	<b>29</b>
4.1. El módulo turtle . . . . .	29
4.2. Repetición simple . . . . .	30
4.3. Ejercicios . . . . .	31
4.4. Encapsulamiento . . . . .	32
4.5. Generalización . . . . .	32
4.6. Diseño de interfaz . . . . .	33
4.7. Refactorización . . . . .	34
4.8. Un plan de desarrollo . . . . .	35
4.9. docstring . . . . .	36
4.10. Depuración . . . . .	36
4.11. Glosario . . . . .	36
4.12. Ejercicios . . . . .	37

<b>Índice general</b>	<b>xv</b>
<b>5. Condicionales y recursividad</b>	<b>39</b>
5.1. División entera y módulo . . . . .	39
5.2. Expresión booleana . . . . .	40
5.3. Operadores lógicos . . . . .	40
5.4. Ejecución condicional . . . . .	41
5.5. Ejecución alternativa . . . . .	41
5.6. Condicionales encadenados . . . . .	42
5.7. Condicionales anidados . . . . .	42
5.8. Recursividad . . . . .	43
5.9. Diagramas de pila para funciones recursivas . . . . .	44
5.10. Recursividad infinita . . . . .	45
5.11. Entrada de teclado . . . . .	45
5.12. Depuración . . . . .	46
5.13. Glosario . . . . .	47
5.14. Ejercicios . . . . .	48
<b>6. Funciones productivas</b>	<b>51</b>
6.1. Valores de retorno . . . . .	51
6.2. Desarrollo incremental . . . . .	52
6.3. Composición . . . . .	54
6.4. Funciones booleanas . . . . .	54
6.5. Más recursividad . . . . .	55
6.6. Salto de fe . . . . .	57
6.7. Un ejemplo más . . . . .	58
6.8. Verificar tipos . . . . .	58
6.9. Depuración . . . . .	59
6.10. Glosario . . . . .	60
6.11. Ejercicios . . . . .	60

<b>7. Iteración</b>	<b>63</b>
7.1. Reasignación . . . . .	63
7.2. Actualizar variables . . . . .	64
7.3. La sentencia while . . . . .	64
7.4. break . . . . .	66
7.5. Raíces cuadradas . . . . .	66
7.6. Algoritmos . . . . .	68
7.7. Depuración . . . . .	68
7.8. Glosario . . . . .	69
7.9. Ejercicios . . . . .	69
<b>8. Cadenas</b>	<b>71</b>
8.1. Una cadena es una secuencia . . . . .	71
8.2. len . . . . .	72
8.3. Recorrido con un bucle for . . . . .	72
8.4. Trozos de cadena . . . . .	73
8.5. Las cadenas son inmutables . . . . .	74
8.6. Buscar . . . . .	74
8.7. Bucles y conteo . . . . .	75
8.8. Métodos de cadena . . . . .	75
8.9. El operador in . . . . .	76
8.10. Comparación de cadenas . . . . .	77
8.11. Depuración . . . . .	77
8.12. Glosario . . . . .	79
8.13. Ejercicios . . . . .	79
<b>9. Estudio de caso: juego de palabras</b>	<b>83</b>
9.1. Leer listas de palabras . . . . .	83
9.2. Ejercicios . . . . .	84
9.3. Búsqueda . . . . .	85
9.4. Bucles con índices . . . . .	86
9.5. Depuración . . . . .	87
9.6. Glosario . . . . .	88
9.7. Ejercicios . . . . .	88



<b>10. Listas</b>	<b>91</b>
10.1. Una lista es una secuencia . . . . .	91
10.2. Las listas son mutables . . . . .	92
10.3. Recorrer una lista . . . . .	93
10.4. Operaciones de lista . . . . .	93
10.5. Trozos de lista . . . . .	94
10.6. Métodos de lista . . . . .	94
10.7. Mapa, filtro y reducción . . . . .	95
10.8. Eliminar elementos . . . . .	96
10.9. Listas y cadenas . . . . .	96
10.10. Objetos y valores . . . . .	97
10.11. Alias . . . . .	98
10.12. Argumentos de lista . . . . .	99
10.13. Depuración . . . . .	100
10.14. Glosario . . . . .	102
10.15. Ejercicios . . . . .	102
<b>11. Diccionarios</b>	<b>105</b>
11.1. Un diccionario es un mapeo . . . . .	105
11.2. El diccionario como colección de contadores . . . . .	106
11.3. Bucles y diccionarios . . . . .	108
11.4. Consulta inversa . . . . .	108
11.5. Diccionarios y listas . . . . .	109
11.6. Memos . . . . .	111
11.7. Variables globales . . . . .	112
11.8. Depuración . . . . .	113
11.9. Glosario . . . . .	114
11.10. Ejercicios . . . . .	115

<b>12. Tuplas</b>	<b>117</b>
12.1. Las tuplas son inmutables . . . . .	117
12.2. Asignación de tupla . . . . .	118
12.3. Tuplas como valores de retorno . . . . .	119
12.4. Tuplas de argumentos de longitud variable . . . . .	119
12.5. Listas y tuplas . . . . .	120
12.6. Diccionarios y tuplas . . . . .	121
12.7. Secuencias de secuencias . . . . .	123
12.8. Depuración . . . . .	123
12.9. Glosario . . . . .	124
12.10. Ejercicios . . . . .	125
<b>13. Estudio de caso: selección de estructura de datos</b>	<b>127</b>
13.1. Análisis de frecuencia de palabras . . . . .	127
13.2. Números aleatorios . . . . .	128
13.3. Histograma de palabras . . . . .	129
13.4. Palabras más comunes . . . . .	130
13.5. Parámetros opcionales . . . . .	131
13.6. Diferencia de diccionarios . . . . .	131
13.7. Palabras aleatorias . . . . .	132
13.8. Análisis de Markov . . . . .	133
13.9. Estructuras de datos . . . . .	134
13.10. Depuración . . . . .	135
13.11. Glosario . . . . .	136
13.12. Ejercicios . . . . .	137
<b>14. Archivos</b>	<b>139</b>
14.1. Persistencia . . . . .	139
14.2. Leer y escribir . . . . .	139
14.3. Operador de formato . . . . .	140
14.4. Nombres de archivo y rutas . . . . .	141
14.5. Capturar excepciones . . . . .	142

<b>Índice general</b>	<b>XIX</b>
14.6. Bases de datos . . . . .	143
14.7. Uso de pickle . . . . .	144
14.8. Tuberías . . . . .	145
14.9. Escribir módulos . . . . .	146
14.10. Depuración . . . . .	147
14.11. Glosario . . . . .	147
14.12. Ejercicios . . . . .	148
<b>15. Clases y objetos</b>	<b>149</b>
15.1. Tipos definidos por el programador . . . . .	149
15.2. Atributos . . . . .	150
15.3. Rectángulos . . . . .	151
15.4. Instancias como valores de retorno . . . . .	152
15.5. Los objetos son mutables . . . . .	153
15.6. Copiar . . . . .	153
15.7. Depuración . . . . .	154
15.8. Glosario . . . . .	155
15.9. Ejercicios . . . . .	156
<b>16. Clases y funciones</b>	<b>157</b>
16.1. Tiempo . . . . .	157
16.2. Funciones puras . . . . .	158
16.3. Modificadores . . . . .	159
16.4. Prototipos versus planificación . . . . .	160
16.5. Depuración . . . . .	161
16.6. Glosario . . . . .	162
16.7. Ejercicios . . . . .	162
<b>17. Clases y métodos</b>	<b>165</b>
17.1. Características orientadas a objetos . . . . .	165
17.2. Imprimir objetos . . . . .	166
17.3. Otro ejemplo . . . . .	167

17.4.	Un ejemplo más complicado . . . . .	168
17.5.	El método <code>init</code> . . . . .	168
17.6.	El método <code>__str__</code> . . . . .	169
17.7.	Sobrecarga de operador . . . . .	170
17.8.	Despacho basado en tipo . . . . .	170
17.9.	Polimorfismo . . . . .	171
17.10.	Depuración . . . . .	172
17.11.	Interfaz e implementación . . . . .	173
17.12.	Glosario . . . . .	173
17.13.	Ejercicios . . . . .	174
<b>18.</b>	<b>Herencia</b>	<b>175</b>
18.1.	Objetos Carta . . . . .	175
18.2.	Atributos de clase . . . . .	176
18.3.	Comparar cartas . . . . .	177
18.4.	Barajas . . . . .	178
18.5.	Imprimir la baraja . . . . .	178
18.6.	Agregar, quitar, barajar y ordenar . . . . .	179
18.7.	Herencia . . . . .	180
18.8.	Diagramas de clase . . . . .	181
18.9.	Depuración . . . . .	182
18.10.	Encapsulamiento de datos . . . . .	183
18.11.	Glosario . . . . .	184
18.12.	Ejercicios . . . . .	185
<b>19.</b>	<b>Trucos extra</b>	<b>187</b>
19.1.	Expresiones condicionales . . . . .	187
19.2.	Comprensiones de lista . . . . .	188
19.3.	Expresiones generadoras . . . . .	189
19.4.	<code>any</code> y <code>all</code> . . . . .	190
19.5.	Conjuntos ( <code>set</code> ) . . . . .	190
19.6.	Contadores ( <code>Counter</code> ) . . . . .	191

<b>Índice general</b>	<b>XXI</b>
19.7. defaultdict . . . . .	192
19.8. Tuplas con nombre (namedtuple) . . . . .	194
19.9. Reunir argumentos de palabra clave . . . . .	195
19.10. Glosario . . . . .	195
19.11. Ejercicios . . . . .	196
<b>A. Depuración</b>	<b>197</b>
A.1. Errores de sintaxis . . . . .	197
A.2. Errores de tiempo de ejecución . . . . .	199
A.3. Errores semánticos . . . . .	202
<b>B. Análisis de algoritmos</b>	<b>207</b>
B.1. Orden de crecimiento . . . . .	208
B.2. Análisis de operaciones básicas de Python . . . . .	210
B.3. Análisis de algoritmos de búsqueda . . . . .	212
B.4. Tablas hash . . . . .	212
B.5. Glosario . . . . .	216



# Capítulo 1

## El camino del programa

El objetivo de este libro es enseñarte a pensar como un informático. Esta forma de pensar combina algunas de las mejores características de las matemáticas, la ingeniería y las ciencias naturales. Al igual que los matemáticos, los informáticos utilizan lenguajes formales para denotar ideas (específicamente, computaciones). Al igual que los ingenieros, diseñan cosas, ensamblando componentes en sistemas y evaluando compensaciones entre alternativas. Al igual que los científicos, observan el comportamiento de sistemas complejos, a partir de hipótesis, y prueban predicciones.

La habilidad más importante de un informático es la **resolución de problemas**. La resolución de problemas supone la capacidad de formular problemas, pensar creativamente en soluciones y emitir una solución de manera clara y precisa. Como resultado, el proceso de aprender a programar es una excelente oportunidad para practicar habilidades de resolución de problemas. Es por eso que este capítulo se llama “El camino del programa”.

En un nivel, aprenderás a programar, una habilidad útil por sí misma. En otro nivel, usarás la programación como un medio para un fin. Mientras avancemos, ese fin se volverá más claro.

### 1.1. ¿Qué es un programa?

Un **programa** es una secuencia de instrucciones que especifica cómo realizar una computación. La computación puede ser algo matemático, tal como resolver un sistema de ecuaciones o encontrar las raíces de un polinomio, pero también puede ser una computación simbólica, tal como buscar y reemplazar texto en un documento, o algo gráfico, como procesar una imagen o reproducir un video.

Los detalles se ven diferentes en lenguajes diferentes, pero unas pocas instrucciones básicas aparecen en casi todos los lenguajes:

**entrada (input):** Obtener datos desde el teclado, un archivo, la red u otro dispositivo.

**salida (output):** Mostrar datos en la pantalla, guardarlos en un archivo, enviarlos a través de la red, etc.

**matemáticas:** Realizar operaciones matemáticas básicas como la suma y la multiplicación.

**ejecución condicional:** Verificar ciertas condiciones y ejecutar el código apropiado.

**repetición:** Realizar alguna acción repetidas veces, generalmente con alguna variación.

Lo creas o no, eso es prácticamente todo lo que hay. Cada programa que has utilizado, no importa cuán complicado, está compuesto de instrucciones que se parecen mucho a estas. Así que puedes pensar en la programación como el proceso de separar una tarea grande y compleja en subtareas cada vez más pequeñas, hasta que cada subtask sea lo suficientemente simple para hacerla con una de estas instrucciones básicas.

## 1.2. Ejecutar Python

Uno de los desafíos de comenzar con Python es que quizás debas instalar Python y software relacionado en tu computador. Si conoces bien tu sistema operativo, y especialmente si manejas bien la interfaz de línea de comandos, no tendrás problemas instalando Python. Sin embargo, puede ser doloroso para los principiantes aprender sobre administración del sistema y programación al mismo tiempo.

Para evitar ese problema, recomiendo que comiences ejecutando Python en un navegador. Después, cuando te acostumbres a Python, haré sugerencias para instalar Python en tu computador.

Hay una serie de páginas web que puedes utilizar para ejecutar Python. Si ya tienes una favorita, ve y úsala. De otra manera, recomiendo PythonAnywhere. En <http://tinyurl.com/thinkpython2e> proporciono instrucciones detalladas para comenzar.

Hay dos versiones de Python, llamadas Python 2 y Python 3. Son muy similares, así que si aprendes una, es fácil cambiar a la otra. De hecho, hay solo unas pocas diferencias que encontrarás como principiante. Este libro está escrito para Python 3, pero incluyo algunas notas sobre Python 2.

El **intérprete** de Python es un programa que lee y ejecuta código de Python. Dependiendo de tu entorno, puedes iniciar el intérprete haciendo clic en un ícono o escribiendo `python` en una línea de comandos. Cuando se inicia, deberías ver una salida como esta:

```
Python 3.4.0 (default, Jun 19 2015, 14:20:21)
[GCC 4.8.2] on linux
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>>
```

Las primeras tres líneas contienen información acerca del intérprete y el sistema operativo en el cual se está ejecutando, así que puede ser diferente para ti. Sin embargo, deberías verificar que el número de versión, que en este ejemplo es 3.4.0, comience con 3, lo cual indica que estás ejecutando Python 3. Si comienza con 2, estás ejecutando (lo adivinaste) Python 2.

La última línea es un **prompt** que indica que el intérprete está listo para que introduzcas código. Si escribes una línea de código y presionas la tecla Enter, el intérprete muestra el resultado:

```
>>> 1 + 1
2
```

Ahora estás listo para comenzar. A partir de aquí, doy por sentado que sabes cómo iniciar el intérprete de Python y ejecutar código.



## 1.3. El primer programa

Tradicionalmente, el primer programa que escribes en un nuevo lenguaje de programación se llama “Hola, mundo” porque todo lo que hace es mostrar las palabras “Hola, mundo”. En Python, se ve así:

```
>>> print('Hola, mundo')
```

Este es un ejemplo de una **sentencia print**, aunque en realidad no imprime nada en papel. Esta sentencia muestra un resultado en la pantalla. En este caso, el resultado es la frase

```
Hola, mundo
```

Las comillas en el programa marcan el principio y el final del texto a visualizar: estas no aparecen en el resultado.

Los paréntesis indican que `print` es una función. Llegaremos a las funciones en el Capítulo 3.

En Python 2, la sentencia `print` es un poco diferente; no es una función, así que no utiliza paréntesis.

```
>>> print 'Hola, mundo'
```

Esta distinción pronto tendrá más sentido, pero eso es suficiente para comenzar.

## 1.4. Operadores aritméticos

Después de “Hola, mundo”, el siguiente paso es la aritmética. Python proporciona **operadores**, los cuales son símbolos especiales que representan computaciones como la suma y la multiplicación.

Los operadores `+`, `-` y `*` realizan sumas, restas y multiplicaciones, como en los siguientes ejemplos:

```
>>> 40 + 2
42
>>> 43 - 1
42
>>> 6 * 7
42
```

El operador `/` realiza divisiones:

```
>>> 84 / 2
42.0
```

Puedes preguntarte por qué el resultado es `42.0` en lugar de `42`. Lo explicaré en la sección siguiente.

Finalmente, el operador `**` realiza potenciaciones; es decir, eleva un número a una potencia:

```
>>> 6**2 + 6
42
```

En algunos otros lenguajes, `^` se utiliza para potenciación, pero en Python es un operador bit a bit llamado XOR. Si no conoces los operadores bit a bit, el resultado te sorprenderá:

```
>>> 6 ^ 2
4
```

No cubriré operadores bit a bit en este libro, pero puedes leer sobre estos en <http://wiki.python.org/moin/BitwiseOperators>.

## 1.5. Valores y tipos

Un **valor** es una de las cosas básicas con las que funciona un programa, como una letra o un número. Algunos valores que hemos visto hasta ahora son 2, 42.0 y 'Hola, mundo'.

Estos valores pertenecen a diferentes **tipos**: 2 es un **entero** (en inglés, *integer*), 42.0 es un **número de coma flotante** (en inglés, *floating-point number*), y 'Hola, mundo' es una **cadena** (en inglés, *string*), llamada así porque las letras que contiene están unidas.

Si no sabes bien qué tipo tiene algún valor, el intérprete te lo puede decir:

```
>>> type(2)
<class 'int'>
>>> type(42.0)
<class 'float'>
>>> type('Hola, mundo')
<class 'str'>
```

En estos resultados, la palabra “class” se utiliza en el sentido de una categoría: un tipo es una categoría de valores.

Evidentemente, los enteros pertenecen al tipo `int`, las cadenas pertenecen al tipo `str` y los números de coma flotante pertenecen al tipo `float`.

¿Qué pasa con los valores como '2' y '42.0'? Se ven como números, pero están en comillas como cadenas.

```
>>> type('2')
<class 'str'>
>>> type('42.0')
<class 'str'>
```

Son cadenas.

Cuando escribas un entero grande, tal vez sientas la tentación de utilizar comas entre grupos de dígitos, como en 1,000,000. No es un *entero* legal en Python, pero es legal:

```
>>> 1,000,000
(1, 0, 0)
```

¡Eso no es lo que esperábamos en absoluto! Python interpreta 1,000,000 como una secuencia de enteros separados por comas. Aprenderemos más sobre este tipo de secuencia más adelante.

## 1.6. Lenguajes formales y lenguajes naturales

Los **lenguajes naturales** son los lenguajes que hablan las personas, tales como el inglés, el español y el francés. No fueron diseñados por las personas (aunque las personas traten de imponerles algo de orden): evolucionan de manera natural.

Los **lenguajes formales** son lenguajes que están diseñados por personas para aplicaciones específicas. Por ejemplo, la notación que utilizan los matemáticos es un lenguaje formal que es particularmente bueno al denotar relaciones entre números y símbolos. Los químicos utilizan un lenguaje formal para representar la estructura química de las moléculas. Y más importante:

**Los lenguajes de programación son lenguajes formales que han sido diseñados para expresar computaciones.**

Los lenguajes formales tienden a tener reglas de **sintaxis** que gobiernan la estructura de las sentencias. Por ejemplo, en matemáticas la sentencia  $3 + 3 = 6$  tiene sintaxis correcta, pero  $3+ = 3\$6$  no la tiene. En química,  $H_2O$  es una fórmula sintácticamente correcta, pero  $_2Zz$  no.

Hay dos tipos de reglas de sintaxis, relacionadas con los **tokens** y la estructura. Los tokens son los elementos básicos del lenguaje, tales como palabras, números y elementos químicos. Uno de los problemas con  $3+ = 3\$6$  es que \$ no es un token legal en matemáticas (al menos por lo que sé). Del mismo modo,  $_2Zz$  no es legal porque no hay ningún elemento con la abreviatura  $Zz$ .

El segundo tipo de regla de sintaxis tiene relación con la manera en que los tokens están combinados. La ecuación  $3 + /3$  es ilegal porque aunque + y / son tokens legales, no puedes tener uno justo después del otro. Del mismo modo, en una fórmula química el subíndice viene después del nombre del elemento, no antes.

Esta es un@ oración en e\$pañol/ bien estructurada con t\*kens inválidos. Esta oración todos los tokens válidos tiene, pero estructura inválida presenta.

Cuando lees una oración en español o una sentencia en un lenguaje formal, tienes que descifrar la estructura (aunque en un lenguaje natural lo haces de manera subconsciente). Este proceso se llama **análisis sintáctico** (en inglés, *parsing*).

Aunque los lenguajes formales y los lenguajes naturales tienen muchas características en común —tokens, estructura y sintaxis— existen algunas diferencias:

**ambigüedad:** Los lenguajes naturales están llenos de ambigüedad, con la cual las personas lidian mediante el uso de pistas contextuales y otra información. Los lenguajes formales están diseñados para ser casi o completamente inequívocos, lo cual significa que cualquier sentencia tiene exactamente un solo significado, sin importar el contexto.

**redundancia:** Para compensar la ambigüedad y reducir los malentendidos, los lenguajes naturales emplean mucha redundancia. Como consecuencia, a menudo son verbosos. Los lenguajes formales son menos redundantes y más concisos.

**literalidad:** Los lenguajes naturales están llenos de modismo y metáfora. Si yo digo “Cayó en la cuenta”, probablemente no hay ninguna cuenta ni nadie cayendo (este modismo significa que alguien entendió algo después de un periodo de confusión). Los lenguajes formales expresan exactamente lo que dicen.

Debido a que todos crecemos hablando lenguajes naturales, a veces es difícil adaptarse a los lenguajes formales. La diferencia entre lenguaje formal y lenguaje natural es como la diferencia entre poesía y prosa, pero más aún:

**Poesía:** Las palabras se utilizan por su sonido tanto como por su significado y todo el poema junto crea un efecto o respuesta emocional. La ambigüedad no solo es común sino a menudo deliberada.

**Prosa:** El significado literal de las palabras es más importante y la estructura aporta más significado. La prosa es más susceptible de análisis que la poesía pero todavía a menudo ambigua.

**Programas:** El significado de un programa de computador es inequívoco y literal, y puede entenderse enteramente analizando los tokens y su estructura.

Los lenguajes formales son más densos que los lenguajes naturales, así que leerlos requiere más tiempo. Además, la estructura es importante, por lo que no siempre es mejor leer de arriba a abajo y de izquierda a derecha. En su lugar, hay que aprender a analizar sintácticamente el programa en tu cabeza, identificar los tokens e interpretar la estructura. Finalmente, los detalles importan. Pequeños errores en la ortografía y puntuación, que puedes cometer con los lenguajes naturales, pueden hacer una gran diferencia en un lenguaje formal.

## 1.7. Depuración

Los programadores cometen errores. Por razones caprichosas, los **errores de programación** se llaman *bugs* y el proceso de localizarlos se llama **depuración** (en inglés, *debugging*).

La programación, y especialmente la depuración, a veces provoca emociones fuertes. Si estás luchando con un error de programación difícil, podrías sentir ira, desánimo o vergüenza.

Hay evidencia de que las personas responden naturalmente a los computadores como si estos fueran personas. Cuando funcionan bien, pensamos en ellos como compañeros de equipo, y cuando son obstinados o rudos, respondemos a ellos de la misma manera que respondemos a las personas rudas y obstinadas (Reeves and Nass, *The Media Equation: How People Treat Computers, Television, and New Media Like Real People and Places*).

Prepararse para estas reacciones podría ayudarte a lidiar con ellas. Un enfoque es pensar en el computador como un empleado con ciertas fortalezas, como la velocidad y la precisión, y debilidades particulares, como la falta de empatía y la incapacidad para comprender el panorama general.

Tu trabajo es ser un buen jefe: encontrar maneras de aprovechar las fortalezas y mitigar las debilidades. Y encontrar maneras de utilizar tus emociones para abordar el problema, sin dejar que tus reacciones interfieran en tu capacidad de trabajar eficazmente.

Aprender a depurar puede ser frustrante, pero es una habilidad valiosa que es útil para muchas actividades más allá de la programación. Al final de cada capítulo hay una sección, como esta, con mis sugerencias para la depuración. ¡Espero que ayuden!

## 1.8. Glosario

**resolución de problemas:** El proceso de formular un problema, encontrar una solución y expresarla.

**lenguaje de alto nivel:** Un lenguaje de programación como Python que está diseñado para que los humanos puedan leer y escribir fácilmente.

**lenguaje de bajo nivel:** Un lenguaje de programación que está diseñado para que sea fácil de ejecutar por un computador; también llamado “lenguaje de máquina” o “lenguaje ensamblador”.

**portabilidad:** Una propiedad de un programa que puede ejecutarse en más de un tipo de computador.

**intérprete:** Un programa que lee otro programa y lo ejecuta.

**prompt:** Caracteres mostrados por el intérprete que indican que está listo para recibir la entrada del usuario.

**programa:** Un conjunto de instrucciones que especifica una computación.

**sentencia print:** Una instrucción que hace que el intérprete de Python muestre un valor en la pantalla.

**operador:** Un símbolo especial que representa una computación simple como suma, multiplicación o concatenación de cadenas.

**valor:** Una de las unidades básicas de datos, como un número o una cadena, que manipula un programa.

**tipo:** Una categoría de valores. Los tipos que hemos visto hasta ahora son los enteros (tipo `int`), los números de coma flotante (tipo `float`) y cadenas (tipo `str`).

**entero:** Un tipo que representa números enteros.

**coma flotante:** Un tipo que representa números con partes fraccionarias.

**cadena:** Un tipo que representa secuencias de caracteres.

**lenguaje natural:** Cualquiera de los lenguajes que hablan las personas y que evolucionaron de manera natural.

**lenguaje formal:** Cualquiera de los lenguajes que las personas han diseñado para propósitos específicos, tales como representar ideas matemáticas o programas de computador; todos los lenguajes de programación son lenguajes formales.

**token:** Uno de los elementos básicos de la estructura sintáctica de un programa, análogo a una palabra en un lenguaje natural.

**sintaxis:** Las reglas que rigen la estructura de un programa.

**análisis sintáctico (*parse*):** Examinar un programa y analizar la estructura sintáctica.

**error de programación (*bug*):** Un error en un programa.

**depuración:** El proceso de encontrar y corregir errores de programación.

## 1.9. Ejercicios

**Ejercicio 1.1.** *Es una buena idea leer este libro en frente de un computador para que puedas probar los ejemplos mientras avanzas.*

*Cada vez que experimentes con una nueva característica, deberías intentar cometer errores. Por ejemplo, en el programa “Hola, mundo”, ¿qué ocurre si omites una de las comillas? ¿Y si omites ambas? ¿Qué ocurre si escribes `print` de manera incorrecta?*

*Este tipo de experimento te ayuda a recordar lo que leíste; también te ayuda cuando estás programando porque logras saber lo que significan los mensajes de error. Es mejor cometer errores ahora y a propósito que después y de manera accidental.*

1. *En una sentencia `print`, ¿qué ocurre si omites uno de los paréntesis, o ambos?*
2. *Si estás intentando imprimir una cadena con `print`, ¿qué ocurre si omites una de las comillas, o ambas?*
3. *Puedes utilizar un signo menos para hacer un número negativo como `-2`. ¿Qué ocurre si pones un signo más antes de un número? ¿Qué pasa con `2++2`?*
4. *En notación matemática, los ceros a la izquierda están bien, como en `09`. ¿Qué ocurre si intentas esto en Python? ¿Qué pasa con `011`?*
5. *¿Qué ocurre si tienes dos valores sin operador entre ellos?*

**Ejercicio 1.2.** *Inicia el intérprete de Python y úsalo como una calculadora.*

1. *¿Cuántos segundos hay en 42 minutos con 42 segundos?*
2. *¿Cuántas millas hay en 10 kilómetros? Pista: hay 1.61 kilómetros en una milla.*
3. *Si corres una carrera de 10 kilómetros en 42 minutos con 42 segundos, ¿Cuál es tu ritmo promedio (tiempo por cada milla en minutos y segundos)? ¿Cuál es tu rapidez promedio en millas por hora?*

## Capítulo 2

# Variables, expresiones y sentencias

Una de las características más poderosas de un lenguaje de programación es la posibilidad de manipular **variables**. Una variable es un nombre que se refiere a un valor.

### 2.1. Sentencias de asignación

Una **sentencia de asignación** crea una nueva variable y le da un valor:

```
>>> mensaje = 'Y ahora algo completamente diferente'
>>> n = 17
>>> pi = 3.1415926535897932
```

Este ejemplo hace tres asignaciones. La primera asigna una cadena a una nueva variable llamada `mensaje`; la segunda pone al entero 17 en `n`; la tercera asigna el valor (aproximado) de  $\pi$  a `pi`.

Una forma común de representar en papel las variables es escribir el nombre con una flecha apuntando a su valor. Este tipo de figura se llama **diagrama de estado** porque muestra en qué estado está cada una de las variables (piénsalo como el estado mental de la variable). La Figura 2.1 muestra el resultado del ejemplo anterior.

### 2.2. Nombres de variable

Los programadores generalmente escogen nombres para sus variables que sean significativos: documentan para qué se utiliza la variable.



```
mensaje —> 'Y ahora algo completamente diferente'
n —> 17
pi —> 3.1415926535897932
```

Figura 2.1: Diagrama de estado.

Los nombres de variable pueden ser tan largos como quieras. Pueden contener tanto letras como números, pero no pueden comenzar con un número. Es legal utilizar letras mayúsculas, pero es convencional utilizar solo minúsculas para los nombres de variables.

El guión bajo, `_`, puede aparecer en un nombre. A menudo se utiliza en nombres con varias palabras, tales como `tu_nombre` o `velocidad_de_golondrina_sin_carga`.

Si le das un nombre ilegal a una variable, obtendrás un error de sintaxis:

```
>>> 76trombones = 'gran desfile'
SyntaxError: invalid syntax
>>> mas@ = 1000000
SyntaxError: invalid syntax
>>> class = 'Cimología teórica avanzada'
SyntaxError: invalid syntax
```

76trombones es ilegal porque comienza con un número. mas@ es ilegal porque contiene un carácter ilegal, @. Sin embargo, ¿qué tiene de malo class?

Resulta que `class` es una de las **palabras clave** de Python. El intérprete utiliza las palabras clave para reconocer la estructura del programa y no se pueden utilizar como nombres de variable.

Python 3 tiene estas palabras clave:

False	class	finally	is	return
None	continue	for	lambda	try
True	def	from	nonlocal	while
and	del	global	not	with
as	elif	if	or	yield
assert	else	import	pass	
break	except	in	raise	

No tienes que memorizar esta lista. En la mayoría de los entornos de desarrollo, las palabras clave se muestran con un color diferente; si intentas utilizar una como nombre de variable, lo sabrás.

## 2.3. Expresiones y sentencias

Una **expresión** es una combinación de valores, variables y operadores. Un valor por sí mismo es considerado una expresión, y por consiguiente lo es una variable, así que las siguientes son todas expresiones legales:

```
>>> 42
42
>>> n
17
>>> n + 25
42
```

Cuando escribes una expresión en el prompt, el intérprete la **evalúa**, lo cual significa que encuentra el valor de la expresión. En este ejemplo, `n` tiene el valor 17 y `n + 25` tiene el valor 42.

Una **sentencia** es una unidad de código que tiene un efecto, como crear una variable o mostrar un valor.



```
>>> n = 17
>>> print(n)
```

La primera línea es una sentencia de asignación que le da un valor a `n`. La segunda línea es una sentencia `print` que muestra el valor de `n`.

Cuando escribes una sentencia, el intérprete la **ejecuta**, lo cual significa que hace lo que dice la sentencia. En general, las sentencias no tienen valores.

## 2.4. Modo Script

Hasta ahora hemos ejecutado Python en **modo interactivo**, lo cual significa que interactúas directamente con el intérprete. El modo interactivo es una buena manera de comenzar, pero si estás trabajando con más que unas pocas líneas de código, puede ser algo torpe.

La alternativa es guardar código en un archivo llamado **script** y entonces utilizar el intérprete en **modo script** para ejecutar el script. Por convención, los scripts de Python tienen nombres que terminan con `.py`.

Si sabes cómo crear y ejecutar un script en tu computador, estás listo para seguir. De lo contrario, recomiendo de nuevo utilizar PythonAnywhere. He publicado instrucciones para utilizarlo en modo script en <http://tinyurl.com/thinkpython2e>.

Debido a que Python proporciona ambos modos, puedes probar pedazos de código en modo interactivo antes de ponerlos en un script. Sin embargo, hay diferencias entre el modo interactivo y el modo script que pueden confundir.

Por ejemplo, si utilizas Python como una calculadora, puedes escribir

```
>>> millas = 26.2
>>> millas * 1.61
42.182
```

La primera línea asigna un valor a `millas`, pero no tiene un efecto visible. La segunda línea es una expresión, por lo cual el intérprete la evalúa y muestra el resultado. Resulta que una maratón es de unos 42 kilómetros.

Sin embargo, si escribes el mismo código dentro de un script y lo ejecutas, no obtienes ninguna salida. En modo script, una expresión por sí misma no tiene efecto visible. Python evalúa la expresión, pero no muestra el resultado. Para mostrar el resultado, necesitas una sentencia `print` como esta:

```
millas = 26.2
print(millas * 1.61)
```

Este comportamiento puede confundir al principio. Para comprobar tu comprensión, escribe las siguientes sentencias en el intérprete de Python y mira lo que hacen:

```
5
x = 5
x + 1
```

Ahora pon las mismas sentencias en un script y ejecútalo. ¿Cuál es la salida? Modifica el script transformando cada expresión en una sentencia `print` y luego ejecútalo de nuevo.

## 2.5. Orden de operaciones

Cuando una expresión contiene más de un operador, el orden de evaluación depende del **orden de operaciones**. Para operadores matemáticos, Python sigue la convención matemática. El acrónimo **PEMDAS** es una manera útil de recordar las reglas:

- Los **Paréntesis** tienen la mayor prioridad y se pueden utilizar para forzar una expresión a evaluar en el orden que tú quieras. Dado que las expresiones en paréntesis se evalúan primero,  $2 * (3-1)$  es 4, y  $(1+1) ** (5-2)$  es 8. También puedes utilizar paréntesis para hacer una expresión más fácil de leer, como en  $(\text{minuto} * 100) / 60$ , incluso si no cambia el resultado.
- Los **Exponentes** de potencias tienen la siguiente prioridad, así que  $1 + 2 ** 3$  es 9, no 27, y  $2 * 3 ** 2$  es 18, no 36.
- La **Multiplicación** y la **División** tienen mayor prioridad que la **Adición** (suma) y la **Sustracción** (resta). Así que  $2*3-1$  es 5, no 4, y  $6+4/2$  es 8, no 5.
- Los operadores con la misma prioridad se evalúan de izquierda a derecha (excepto la potenciación). Así que en la expresión  $\text{grados} / 2 * \text{pi}$ , la división ocurre primero y el resultado se multiplica por pi. Para dividir por  $2\pi$ , puedes utilizar paréntesis o escribir  $\text{grados} / 2 / \text{pi}$ .

Yo no me esfuerzo mucho en recordar la prioridad de los operadores. Si no puedo saber mirando la expresión, utilizo paréntesis para hacerlo obvio.

## 2.6. Operaciones con cadenas

En general, no puedes realizar operaciones matemáticas con cadenas, incluso si las cadenas parecen números, así que las siguientes expresiones son ilegales:

```
'comida'-'china'      'huevos'/'fácil'      'la tercera'*'la vencida'
```

Sin embargo, hay dos excepciones: `+` y `*`.

El operador `+` realiza una **concatenación**, lo cual significa que une las cadenas enlazándolas de extremo a extremo. Por ejemplo:

```
>>> primero = 'curruca'
>>> segundo = 'garganta'
>>> primero + segundo
currucagarganta
```

El operador `*` también funciona en cadenas: hace repetición. Por ejemplo, `'Spam'*3` es `'SpamSpamSpam'`. Si uno de los valores es una cadena, el otro tiene que ser un entero.

Este uso de `+` y `*` tiene sentido por analogía con la suma y la multiplicación. Tal como  $4*3$  es equivalente a  $4+4+4$ , esperamos que `'Spam'*3` sea lo mismo que `'Spam'+'Spam'+'Spam'`, y lo es. Por otro lado, hay una manera significativa en la que la concatenación y la repetición son diferentes de la suma y multiplicación de enteros. ¿Puedes pensar en una propiedad que tiene la suma que la concatenación no tiene?

## 2.7. Comentarios

A medida que los programas se hacen más grandes y complicados, se vuelven más difíciles de leer. Los lenguajes formales son densos y a menudo es difícil mirar un pedazo de código y descifrar lo que hace, o por qué lo hace.

Por esta razón, es una buena idea añadir notas a tus programas para explicar en lenguaje natural lo que hace el programa. Estas notas se llaman **comentarios**, y comienzan con el símbolo #:

```
# calcular el porcentaje de la hora que ha transcurrido
porcentaje = (minuto * 100) / 60
```

En este caso, el comentario aparece en una línea por sí sola. Puedes también poner comentarios al final de una línea:

```
porcentaje = (minuto * 100) / 60      # porcentaje de una hora
```

Todo desde el # hasta el final de la línea es ignorado: no tiene efecto en la ejecución del programa.

Los comentarios son más útiles cuando documentan características del código que no son obvias. Es razonable suponer que el lector puede descifrar *qué* hace el código; es más útil explicar *por qué*.

Este comentario es redundante con el código e inútil:

```
v = 5      # asigna 5 a v
```

Este comentario contiene información útil que no está en el código:

```
v = 5      # velocidad en metros/segundos.
```

Los buenos nombres de variable pueden reducir la necesidad de comentarios, pero los nombres largos pueden hacer que las expresiones complejas sean difíciles de leer, así que hay una compensación.

## 2.8. Depuración

En un programa pueden ocurrir tres tipos de errores: errores de sintaxis, errores de tiempo de ejecución y errores semánticos. Es útil distinguir entre ellos para rastrearlos de manera más rápida.

**Error de sintaxis:** La “sintaxis” se refiere a la estructura de un programa y las reglas sobre esa estructura. Por ejemplo, los paréntesis tienen que venir en pares que coincidan, por lo que `(1 + 2)` es legal, pero `8)` es un **error de sintaxis**.

Si hay un error de sintaxis en cualquier lugar de tu programa, Python muestra un mensaje de error y se detiene, y no podrás ejecutar el programa. Durante las primeras semanas de tu carrera de programación, podrías pasar mucho tiempo rastreando errores de sintaxis. A medida que ganes experiencia, cometerás menos errores y los encontrarás más rápido.

**Error de tiempo de ejecución:** El segundo tipo de error es el error de tiempo de ejecución, llamado así porque el error no aparece hasta después de que el programa ha comenzado a ejecutarse. Estos errores también se llaman **excepciones** porque usualmente indican que algo excepcional (y malo) ha ocurrido.

Los errores de tiempo de ejecución son poco comunes en programas simples que verás en los primeros capítulos, así que puede pasar un tiempo antes de que encuentres uno.

**Error semántico:** El tercer tipo de error es “semántico”, lo cual significa que se relaciona con el significado. Si hay un error semántico en tu programa, se ejecutará sin generar mensajes de error, pero no hará lo correcto. Hará otra cosa. Específicamente, hará lo que le dijiste que hiciera.

Identificar errores semánticos puede ser complicado porque requiere que trabajes hacia atrás mirando la salida del programa e intentando averiguar lo que hace.

## 2.9. Glosario

**variable:** Un nombre que se refiere a un valor.

**asignación:** Una sentencia que asigna un valor a una variable.

**diagrama de estado:** Una representación gráfica de un conjunto de variables y los valores a los cuales se refieren.

**palabra clave:** Una palabra reservada que se utiliza como parte de la sintaxis de un programa; no puedes utilizar palabras claves tales como `if`, `def` y `while` como nombres de variables.

**operando:** Uno de los valores en los cuales opera un operador.

**expresión:** Una combinación de variables, operadores y valores que representa un resultado único.

**evaluar:** Simplificar una expresión realizando las operaciones para obtener un valor único.

**sentencia:** Una sección de código que representa un comando o acción. Hasta aquí, las sentencias que hemos visto son asignaciones y sentencias `print`.

**ejecutar:** Llevar a efecto una sentencia y hacer lo que dice.

**modo interactivo:** Una manera de utilizar el intérprete de Python escribiendo código en el prompt.

**modo script:** Una manera de utilizar el intérprete de Python para leer código de un script y ejecutarlo.

**script:** Un programa almacenado en un archivo.

**orden de operaciones:** Reglas que gobiernan el orden en el cual se evalúan las expresiones que involucran múltiples operadores y operandos.

**concatenar:** Unir dos operandos de extremo a extremo.

**comentario:** Información en un programa que está destinada a otros programadores (o cualquiera que lea el código fuente) y no tiene efecto en la ejecución del programa.

**error de sintaxis:** Un error en un programa que hace imposible reconocer la estructura sintáctica (y por lo tanto imposible de interpretar).

**excepción:** Un error que es detectado mientras el programa se ejecuta.

**semántica:** El significado de un programa.

**error semántico:** Un error en un programa que supone hacer algo distinto a lo que el programador pretendía.

## 2.10. Ejercicios

**Ejercicio 2.1.** Repitiendo mi consejo del capítulo anterior, cuando aprendas una nueva característica, deberías intentar probarla en modo interactivo y cometer errores a propósito para ver qué sale mal.

- Hemos visto que  $n = 42$  es legal. ¿Qué pasa con  $42 = n$ ?
- ¿Qué ocurre con  $x = y = 1$ ?
- En algunos lenguajes cada sentencia termina con un punto y coma, `;`. ¿Qué ocurre si pones un punto y coma al final de una sentencia de Python?
- ¿Qué ocurre si pones un punto al final de una sentencia?
- En notación matemática puedes multiplicar  $x$  e  $y$  así:  $xy$ . ¿Qué ocurre si intentas eso en Python?

**Ejercicio 2.2.** Practica utilizando el intérprete de Python como una calculadora:

1. El volumen de una esfera con radio  $r$  es  $\frac{4}{3}\pi r^3$ . ¿Cuál es el volumen de una esfera con radio 5?
2. Supongamos que el precio original de un libro es \$24.95, pero las librerías obtienen un 40 % de descuento. El envío cuesta \$3 para la primera copia y 75 centavos por cada copia adicional. ¿Cuál es el costo al por mayor para 60 copias?
3. Si dejo mi casa a las 6:52 a.m. y corro 1 milla a un ritmo fácil (8 minutos y 15 segundos por milla), luego 3 millas a tempo (7 minutos y 12 segundos por milla) y 1 milla a ritmo fácil de nuevo, ¿a qué hora llego a casa para el desayuno?



## Capítulo 3

# Funciones

En el contexto de la programación, una **función** es una secuencia de sentencias que realiza una computación y posee un nombre. Cuando defines una función, especificas el nombre y la secuencia de sentencias. Después, puedes “llamar” a la función por su nombre.

### 3.1. Llamadas a funciones

Ya hemos visto un ejemplo de una **llamada a función**:

```
>>> type(42)
<class 'int'>
```

El nombre de la función es `type`. La expresión en paréntesis se llama **argumento** de la función. El resultado, para esta función, es el tipo del argumento.

Es común decir que una función “toma” un argumento y “devuelve” un resultado. El resultado también se llama **valor de retorno** (en inglés, *return value*).

Python proporciona funciones que convierten valores de un tipo a otro. La función `int` toma cualquier valor y lo convierte en un entero, si puede, o de lo contrario reclama:

```
>>> int('32')
32
```

```
>>> int('Hola')
```

```
ValueError: invalid literal for int(): Hola
```

`int` puede convertir valores de coma flotante en enteros, pero no redondea; corta la parte de fracción:

```
>>> int(3.99999)
3
```

```
>>> int(-2.3)
-2
```

`float` convierte enteros y cadenas en números coma flotante:

```
>>> float(32)
32.0
```

```
>>> float('3.14159')
3.14159
```

Por último, `str` convierte su argumento en una cadena:

```
>>> str(32)
'32'
>>> str(3.14159)
'3.14159'
```

## 3.2. Funciones matemáticas

Python tiene un módulo matemático que proporciona la mayor parte de las funciones matemáticas conocidas. Un **módulo** es un archivo que contiene una colección de funciones relacionadas entre sí.

Antes de que podamos utilizar las funciones de un módulo, tenemos que importarlo con una **sentencia import**:

```
>>> import math
```

Esta sentencia crea un **objeto de módulo** llamado `math`. Si muestras el objeto de módulo en pantalla, obtienes información sobre este:

```
>>> math
<module 'math' (built-in)>
```

El objeto de módulo contiene las funciones y variables definidas en el módulo. Para tener acceso a una de las funciones, tienes que especificar el nombre del módulo y el nombre de la función, separados por un punto. Este formato se llama **notación de punto**.

```
>>> relacion = potencia_senal / potencia_ruido
>>> decibeles = 10 * math.log10(relacion)
```

```
>>> radianes = 0.7
>>> altura = math.sin(radianes)
```

El primer ejemplo utiliza `math.log10` para calcular una relación señal/ruido en decibeles (suponiendo que `potencia_senal` y `potencia_ruido` están definidas). El módulo `math` también proporciona a `log`, que calcula logaritmos en base  $e$ .

El segundo ejemplo encuentra el seno de `radianes`. El nombre de la variable `radianes` es un indicio de que `sin` y las otras funciones trigonométricas (`cos`, `tan`, etc.) toman argumentos en radianes. Para convertir de grados a radianes, divide por 180 y multiplica por  $\pi$ :

```
>>> grados = 45
>>> radianes = grados / 180.0 * math.pi
>>> math.sin(radianes)
0.707106781187
```

La expresión `math.pi` obtiene la variable `pi` del módulo `math`. Su valor es una aproximación en coma flotante de  $\pi$ , con precisión de alrededor de 15 dígitos.

Si sabes trigonometría, puedes verificar los resultados anteriores comparándolos con la raíz cuadrada de dos, dividida por dos:

```
>>> math.sqrt(2) / 2.0
0.707106781187
```



### 3.3. Composición

Hasta aquí, hemos visto los elementos de un programa —variables, expresiones y sentencias— de forma aislada, sin hablar sobre cómo combinarlos.

Una de las características más útiles de los lenguajes de programación es su posibilidad de tomar pequeños bloques de construcción y **componerlos**. Por ejemplo, el argumento de una función puede ser cualquier tipo de expresión, incluyendo operadores aritméticos:

```
x = math.sin(grados / 360.0 * 2 * math.pi)
```

También llamadas a funciones:

```
x = math.exp(math.log(x+1))
```

Casi en cualquier lugar que puedes poner un valor, puedes poner una expresión arbitraria, con una excepción: el lado izquierdo de una sentencia de asignación tiene que ser un nombre de variable. Cualquier otra expresión en el lado izquierdo es un error de sintaxis (veremos excepciones a esta regla más tarde).

```
>>> minutos = horas * 60                # correcto
>>> horas * 60 = minutos                 # ¡incorrecto!
SyntaxError: can't assign to operator
```

### 3.4. Agregar nuevas funciones

Hasta aquí, solo hemos estado utilizando las funciones que vienen con Python, pero también es posible agregar nuevas funciones. Una **definición de función** especifica el nombre de una nueva función y la secuencia de sentencias que se ejecutan cuando la función es llamada.

Aquí hay un ejemplo:

```
def imprimir_letra():
    print("I'm a lumberjack, and I'm okay.")
    print("I sleep all night and I work all day.")
```

`def` es una palabra clave que indica que esta es una definición de función. El nombre de la función es `imprimir_letra`. Las reglas para los nombres de funciones son las mismas que para los nombres de variables: las letras, los números y el guión bajo son legales, pero el primer carácter no puede ser un número. No puedes utilizar una palabra clave como nombre de una función, y deberías evitar tener una variable y una función con el mismo nombre.

Los paréntesis vacíos después del nombre indican que esta función no toma ningún argumento.

La primera línea de la definición de función se llama **encabezado** (en inglés, *header*); el resto se llama **cuerpo** (en inglés, *body*). El encabezado debe terminar con el signo de dos puntos y el cuerpo debe tener sangría. Por convención, la sangría siempre se hace con cuatro espacios. El cuerpo puede contener cualquier número de sentencias.

Las cadenas en las sentencias `print` están encerradas en comillas dobles. Las comillas simples y las comillas dobles hacen lo mismo; la mayoría de la gente utiliza comillas simples excepto en casos como este donde una comilla simple (que también es un apóstrofe) aparece en la cadena.

Todas las comillas (simples y dobles) deben ser “comillas rectas”, usualmente ubicadas cerca de Enter en el teclado. Las “comillas tipográficas”, como las de esta oración, no son legales en Python.

Si escribes una definición de función en modo interactivo, el intérprete imprime puntos (...) que te hacen saber que la definición no está completa:

```
>>> def imprimir_letra():
...     print("I'm a lumberjack, and I'm okay.")
...     print("I sleep all night and I work all day.")
... 
```

Para terminar una función, tienes que insertar una línea vacía.

Al definir una función, se crea un **objeto de función** que tiene tipo function:

```
>>> print(imprimir_letra)
<function imprimir_letra at 0xb7e99e9c>
>>> type(imprimir_letra)
<class 'function'>
```

La sintaxis para llamar a la nueva función es la misma que para las funciones incorporadas:

```
>>> imprimir_letra()
I'm a lumberjack, and I'm okay.
I sleep all night and I work all day.
```

Una vez que hayas definido una función, puedes utilizarla dentro de otra función. Por ejemplo, para repetir el estribillo anterior, podríamos escribir una función llamada `repetir_letra`:

```
def repetir_letra():
    imprimir_letra()
    imprimir_letra()
```

Y luego llamar a `repetir_letra`:

```
>>> repetir_letra()
I'm a lumberjack, and I'm okay.
I sleep all night and I work all day.
I'm a lumberjack, and I'm okay.
I sleep all night and I work all day.
```

Pero así no es como sigue la canción realmente.

### 3.5. Definiciones y usos

Reuniendo los fragmentos de código de la sección anterior, el programa completo se ve así:

```
def imprimir_letra():
    print("I'm a lumberjack, and I'm okay.")
    print("I sleep all night and I work all day.")

def repetir_letra():
    imprimir_letra()
    imprimir_letra()

repetir_letra()
```

Este programa contiene dos definiciones de función: `imprimir_letra` y `repetir_letra`. Las definiciones de funciones se ejecutan al igual que otras sentencias, pero el efecto es crear objetos de función. Las sentencias dentro de la función no se ejecutan hasta que la función es llamada, y la definición de función no genera salida.

Como podrías esperar, tienes que crear la función antes de que puedas ejecutarla. En otras palabras, la definición de función tiene que efectuarse antes de que la función sea llamada.

Como ejercicio, mueve la última línea de este programa hasta el principio, así la llamada a la función aparece antes que las definiciones. Ejecuta el programa y mira qué mensaje de error obtienes.

Ahora regresa la llamada de función al final y mueve la definición de `imprimir_letra` a después de la definición de `repetir_letra`. ¿Qué ocurre cuando ejecutas este programa?

## 3.6. Flujo de ejecución

Para asegurarte de que una función está definida antes de su primer uso, tienes que conocer el orden en que se ejecutan las sentencias, lo cual se llama **flujo de ejecución**.

La ejecución siempre comienza con la primera sentencia del programa. Las sentencias se ejecutan una a la vez, en orden desde arriba hacia abajo.

Las definiciones de función no alteran el flujo de ejecución del programa, pero recuerda que las sentencias dentro de la función no se ejecutan hasta que la función es llamada.

Una llamada a función es como un desvío en el flujo de ejecución. En lugar de ir a la siguiente sentencia, el flujo salta al cuerpo de la función, ejecuta las sentencias que están allí y luego regresa para retomar donde lo había dejado.

Eso suena bastante simple, hasta que recuerdas que una función puede llamar a otra. Mientras está en el medio de una función, el programa quizás tenga que ejecutar las sentencias en otra función. Luego, mientras se ejecuta esa nueva función, ¡el programa quizás tenga que ejecutar otra función más!

Afortunadamente, Python es bueno haciendo seguimiento de dónde está, así que cada vez que se completa una función, el programa retoma donde lo había dejado en la función que la llamó. Cuando llega al final del programa, termina.

En resumen, cuando lees un programa, no siempre quieres leer desde arriba hacia abajo. A veces tiene más sentido si sigues el flujo de ejecución.

## 3.7. Parámetros y argumentos

Algunas de las funciones que hemos visto requieren argumentos. Por ejemplo, cuando llamas a `math.sin` pasas un número como argumento. Algunas funciones toman más de un argumento; `math.pow` toma dos: la base y el exponente.

Dentro de la función, los argumentos son asignados a variables llamadas **parámetros**. Aquí hay una definición para una función que toma un argumento:

```
def impr_2veces(bruce):  
    print(bruce)  
    print(bruce)
```

Esta función asigna el argumento a un parámetro con nombre `bruce`. Cuando la función es llamada, esta imprime el valor del parámetro (sea lo que sea) dos veces.

Esta función puede utilizarse con cualquier valor que se pueda imprimir.

```
>>> impr_2veces('Spam')  
Spam  
Spam  
>>> impr_2veces(42)  
42  
42  
>>> impr_2veces(math.pi)  
3.14159265359  
3.14159265359
```

Las mismas reglas de composición que se aplican a las funciones incorporadas también se aplican a las funciones definidas por el programador, así que podemos utilizar cualquier tipo de expresión como un argumento para `impr_2veces`:

```
>>> impr_2veces('Spam '*4)  
Spam Spam Spam Spam  
Spam Spam Spam Spam  
>>> impr_2veces(math.cos(math.pi))  
-1.0  
-1.0
```

El argumento es evaluado antes de que se llame a la función, por lo que en los ejemplos las expresiones `'Spam '*4` y `math.cos(math.pi)` son evaluadas una sola vez.

También puedes utilizar una variable como un argumento:

```
>>> michael = 'Eric, the half a bee.'  
>>> impr_2veces(michael)  
Eric, the half a bee.  
Eric, the half a bee.
```

El nombre de la variable que pasamos como argumento (`michael`) no tiene nada que ver con el nombre del parámetro (`bruce`). No importa cómo se le llame al valor en su casa (en la sentencia llamadora); aquí en `impr_2veces`, a todos les llamamos `bruce`.

### 3.8. Las variables y los parámetros son locales

Cuando creas una variable dentro de una función, esta es **local**, lo cual significa que existe solamente dentro de la función. Por ejemplo:

```
def cat_2veces(parte1, parte2):  
    cat = parte1 + parte2  
    impr_2veces(cat)
```

Esta función toma dos argumentos, los concatena e imprime el resultado dos veces. Aquí hay un ejemplo que la utiliza:



Figura 3.1: Diagrama de pila.

```

>>> lineal1 = 'Bing tiddle '
>>> lineal2 = 'tiddle bang.'
>>> cat_2veces(lineal1, lineal2)
Bing tiddle tiddle bang.
Bing tiddle tiddle bang.

```

Cuando `cat_2veces` termina, la variable `cat` se destruye. Si intentamos imprimirla, obtenemos una excepción:

```

>>> print(cat)
NameError: name 'cat' is not defined

```

Los parámetros también son locales. Por ejemplo, afuera de `impr_2veces`, no hay tal cosa como `bruce`.

### 3.9. Diagramas de pila

Para hacer un seguimiento de qué variables se pueden utilizar en qué lugar, a veces es útil dibujar un **diagrama de pila** (en inglés, *stack diagram*). Al igual que los diagramas de estado, los diagramas de pila muestran el valor de cada variable, pero también muestran la función a la cual pertenece cada variable.

Cada función se representa por un **marco** (en inglés, *frame*). Un marco es un recuadro que tiene el nombre de una función al lado y los parámetros y variables de la función adentro. El diagrama de pila para el ejemplo anterior se muestra en la Figura 3.1.

Los marcos se organizan en una pila que indica cuál función llama a cuál, y así sucesivamente. En este ejemplo, `impr_2veces` fue llamado por `cat_2veces`, y `cat_2veces` fue llamado por `__main__`, el cual es un nombre especial para el marco más alto. Cuando creas una variable afuera de todas las funciones, pertenece a `__main__`.

Cada parámetro se refiere al mismo valor que su argumento correspondiente. Así que, `parte1` tiene el mismo valor que `lineal1`, `parte2` tiene el mismo valor que `lineal2` y `bruce` tiene el mismo valor que `cat`.

Si ocurre un error durante una llamada a función, Python imprime el nombre de la función, el nombre de la función que la llamó y el nombre de la función que llamó a *esa*, todo el camino de vuelta a `__main__`.

Por ejemplo, si intentas acceder a `cat` desde adentro de `impr_2veces`, obtienes un `NameError`:

```
Traceback (innermost last):
  File "test.py", line 13, in __main__
    cat_2veces(linea1, linea2)
  File "test.py", line 5, in cat_2veces
    impr_2veces(cat)
  File "test.py", line 9, in impr_2veces
    print(cat)
```

NameError: name 'cat' is not defined

Esta lista de funciones se llama **rastreo** (en inglés, *traceback*). Te dice en qué archivo de programa ocurrió el error, y en qué línea, y qué funciones se estaban ejecutando en ese momento. Además, te muestra la línea de código que causó el error.

El orden de las funciones en el rastreo es el mismo que el orden de los marcos en el diagrama de pila. La función que se está ejecutando actualmente está al final.

### 3.10. Funciones productivas y funciones nulas

Algunas de las funciones que hemos utilizado, tales como las funciones matemáticas, devuelven resultados; por falta de un mejor nombre, las llamo **funciones productivas**. Otras funciones, como `impr_2veces`, realizan una acción pero no devuelven un valor. Son llamadas **funciones nulas** (en inglés, *void functions*).

Cuando llamas a una función productiva, casi siempre quieres hacer algo con el resultado; por ejemplo, podrías asignarlo a una variable o utilizarlo como parte de una expresión:

```
x = math.cos(radianes)
dorado = (math.sqrt(5) + 1) / 2
```

Cuando llamas a una función en modo interactivo, Python muestra el resultado:

```
>>> math.sqrt(5)
2.2360679774997898
```

Pero en un script, si llamas a una función productiva por sí sola, ¡el valor de retorno se pierde para siempre!

```
math.sqrt(5)
```

Este script calcula la raíz cuadrada de 5, pero ya que no almacena ni muestra el resultado, no es muy útil.

Las funciones nulas podrían mostrar algo en la pantalla o tener algún otro efecto, pero no tienen un valor de retorno. Si asignas el resultado a una variable, obtienes un valor especial llamado `None`.

```
>>> resultado = impr_2veces('Bing')
Bing
Bing
>>> print(resultado)
None
```

El valor `None` no es lo mismo que la cadena `'None'`. Es un valor especial que tiene su propio tipo:

```
>>> type(None)
<class 'NoneType'>
```

Las funciones que hemos escrito hasta ahora son todas nulas. Comenzaremos a escribir funciones productivas en unos capítulos más adelante.

## 3.11. ¿Por qué funciones?

Puede que no esté claro por qué vale la pena el problema de dividir un programa en funciones. Hay muchas razones:

- Crear una nueva función te da la oportunidad de ponerle nombre a un grupo de sentencias, lo cual hace que tu programa sea más fácil de leer y depurar.
- Las funciones pueden hacer que un programa sea más pequeño al eliminar código repetitivo. Después, si quieres hacer un cambio, solo tienes que hacerlo en un lugar.
- Dividir un programa largo en funciones te permite depurar las partes una a la vez y luego reunir las partes en un todo funcional.
- Las funciones bien diseñadas son a menudo útiles para muchos programas. Una vez que escribes y depuras una, la puedes reutilizar.

## 3.12. Depuración

Una de las habilidades más importantes que adquirirás es la depuración. Aunque puede ser frustrante, la depuración es una de las partes más intelectualmente ricas, desafiantes e interesantes de la programación.

En algunas formas la depuración es como un trabajo de detective. Te enfrentas a pistas y tienes que inferir los procesos y eventos que te guían a los resultados que ves.

La depuración es también como una ciencia experimental. Una vez que tienes una idea sobre qué va mal, modificas tu programa e intentas de nuevo. Si tu hipótesis era correcta, puedes predecir el resultado de la modificación y das un paso más cerca hacia un programa que funcione. Si tu hipótesis era incorrecta, tienes que inventar una nueva. Como señaló Sherlock Holmes, “Una vez descartado lo imposible, lo que queda, por improbable que parezca, debe ser la verdad.” (A. Conan Doyle, *El signo de los cuatro*)

Para algunas personas, programar y depurar son lo mismo. Es decir, programar es el proceso de depurar gradualmente un programa hasta que haga lo que tú quieres. La idea es que deberías comenzar con un programa que funcione y hacer pequeñas modificaciones, depurándolas a medida que avanzas.

Por ejemplo, Linux es un sistema operativo que contiene millones de líneas de código, pero comenzó como un programa simple que Linus Torvalds utilizaba para explorar el chip Intel 80386. Según Larry Greenfield, “Uno de los proyectos anteriores de Linus era un programa que cambiaría entre imprimir AAAA y BBBB. Esto evolucionó más tarde a Linux.” (*The Linux Users' Guide Beta Version 1*).

## 3.13. Glosario

**función:** Una secuencia de sentencias que tiene nombre y realiza alguna operación útil. Las funciones pueden o no tomar argumentos y pueden o no producir un resultado.

**definición de función:** Una sentencia que crea una nueva función, especificando su nombre, parámetros y las sentencias que contiene.

**objeto de función:** Un valor creado por una definición de función. El nombre de la función es una variable que se refiere a un objeto de función.

**encabezado:** La primera línea de una definición de función.

**cuerpo:** La secuencia de sentencias dentro de una definición de función.

**parámetro:** Un nombre utilizado dentro de una función para referirse al valor pasado como argumento.

**llamada a función:** Una sentencia que ejecuta una función. Consiste en el nombre de la función seguido de una lista de argumentos en paréntesis.

**argumento:** Un valor proporcionado a la función cuando la función es llamada. Este valor es asignado al parámetro correspondiente en la función.

**variable local:** Una variable definida dentro de una función. Una variable local solo puede utilizarse dentro de su función.

**valor de retorno:** El resultado de una función. Si una llamada a función se utiliza como expresión, el valor de retorno es el valor de la expresión.

**función productiva:** Una función que devuelve un valor.

**función nula:** Una función que siempre devuelve None.

**None:** Un valor especial devuelto por funciones nulas.

**módulo:** Un archivo que contiene una colección de funciones relacionadas entre sí y otras definiciones.

**sentencia import:** Una sentencia que lee un archivo de módulo y crea un objeto de módulo.

**objeto de módulo:** Un valor creado por una sentencia `import` que proporciona acceso a los valores definidos en el módulo.

**notación de punto:** La sintaxis para llamar a una función de otro módulo especificando el nombre del módulo, seguido de un punto y el nombre de la función.

**composición:** Usar una expresión como parte de una expresión más grande, o una sentencia como parte de una sentencia más grande.

**flujo de ejecución:** El orden en que las sentencias se ejecutan.

**diagrama de pila:** Una representación de una pila de funciones, sus variables y los valores a los cuales se refieren.

**marco:** Un recuadro en un diagrama de pila que representa una llamada a función. Contiene las variables locales y los parámetros de la función.

**rastreo:** Una lista de las funciones que se están ejecutando, impresas cuando ocurre una excepción.



## 3.14. Ejercicios

**Ejercicio 3.1.** Escribe una función con nombre `justificar_derecha` que tome una cadena con nombre `s` como parámetro e imprima la cadena con suficientes espacios al inicio de tal manera que la última letra de la cadena esté en la columna 70 de la pantalla.

```
>>> justificar_derecha('monty')
monty
```

*Pista:* utiliza la repetición de cadenas y la concatenación. Además, Python proporciona una función incorporada llamada `len` que devuelve la longitud de una cadena, por lo que el valor de `len('monty')` es 5.

**Ejercicio 3.2.** Un objeto de función es un valor que puedes asignar a una variable o pasarlo como argumento. Por ejemplo, `hacer_2veces` es una función que toma un objeto de función como argumento y lo llama dos veces:

```
def hacer_2veces(f):
    f()
    f()
```

Aquí hay un ejemplo que utiliza `hacer_2veces` para llamar a una función con nombre `imprimir_spam` dos veces.

```
def imprimir_spam():
    print('spam')
```

```
hacer_2veces(imprimir_spam)
```

1. Escribe este ejemplo en un script y pruébalo.
2. Modifica `hacer_2veces` para que tome dos argumentos, un objeto de función y un valor, y llame a la función dos veces, pasando al valor como argumento.
3. Copia la definición de `impr_2veces`, presentada previamente en este capítulo, a tu script.
4. Usa la versión modificada de `hacer_2veces` para llamar a `impr_2veces` dos veces, pasando a 'spam' como argumento.
5. Define una nueva función llamada `hacer_4veces` que tome un objeto de función y un valor y llame a la función cuatro veces, pasando al valor como argumento. Debería haber solo dos sentencias en el cuerpo de esta función, no cuatro.

*Solution:* [http://thinkpython2.com/code/do\\_four.py](http://thinkpython2.com/code/do_four.py).

**Ejercicio 3.3.** Nota: Este ejercicio debería hacerse utilizando solo las sentencias y otras características que hemos aprendido hasta ahora.

1. Escribe una función que dibuje una cuadrícula como la siguiente:

```

+ - - - - + - - - - +
|           |           |
|           |           |
|           |           |
+ - - - - + - - - - +
|           |           |
|           |           |
|           |           |
+ - - - - + - - - - +

```

*Pista: para imprimir más de un valor en una línea, puedes imprimir una secuencia de valores separada por comas:*

```
print('+', '-')
```

*Por defecto, print avanza a la siguiente línea, pero puedes anular ese comportamiento y poner un espacio al final, como esto:*

```
print('+', end=' ')
print('-')
```

*La salida de estas sentencias es '+ -' en la misma línea. La salida desde la siguiente sentencia print debería comenzar en la siguiente línea.*

2. Escribe una función que dibuje una cuadrícula similar con cuatro filas y cuatro columnas.

*Solución: <http://thinkpython2.com/code/grid.py>. Crédito: este ejercicio está basado en un ejercicio de Oualline, Practical C Programming, Third Edition, O'Reilly Media, 1997.*

## Capítulo 4

# Estudio de caso: diseño de interfaz

Este capítulo presenta un estudio de caso que demuestra un proceso para diseñar funciones que interactúen entre sí.

Se presenta el módulo `turtle`, el cual te permite crear imágenes utilizando gráficas tortuga. El módulo `turtle` está incluido en la mayoría de las instalaciones de Python, pero si estás ejecutando Python utilizando `PythonAnywhere`, no podrás ejecutar los ejemplos de tortuga (al menos no podías cuando escribí esto).

Si ya has instalado Python en tu computador, deberías poder ejecutar los ejemplos. Si no, ahora es un buen momento para instalarlo. He publicado instrucciones en <http://tinyurl.com/thinkpython2e>.

Los códigos de ejemplo de este capítulo están disponibles en <http://thinkpython2.com/code/polygon.py>.

### 4.1. El módulo `turtle`

Para verificar si tienes el módulo `turtle`, abre el intérprete de Python y escribe

```
>>> import turtle
>>> bob = turtle.Turtle()
```

Cuando ejecutes este código, debería crearse una nueva ventana con una flecha pequeña que representa la tortuga. Cierra la ventana.

Crea un archivo con nombre `mipoligono.py` y escribe en él las siguientes líneas de código:

```
import turtle
bob = turtle.Turtle()
print(bob)
turtle.mainloop()
```

El módulo `turtle` (con 't' minúscula) proporciona una función llamada `Turtle` (con 'T' mayúscula) que crea un objeto `Turtle`, el cual asignamos a una variable con nombre `bob`. Al imprimir `bob` se muestra algo como:

```
<turtle.Turtle object at 0xb7bfbf4c>
```

Esto significa que bob se refiere a un objeto con tipo `Turtle` como se define en el módulo `turtle`.

`mainloop` le dice a la ventana que espere a que el usuario haga algo, aunque en este caso no hay mucho que pueda hacer el usuario excepto cerrar la ventana.

Una vez que creas una tortuga, puedes llamar a un **método** para moverla dentro de la ventana. Un método es similar a una función, pero utiliza una sintaxis un poco diferente. Por ejemplo, para mover la tortuga hacia adelante:

```
bob.fd(100)
```

El método, `fd` (*forward*), está asociado con el objeto tortuga que llamamos bob. Llamar a un método es como hacer una solicitud: le estás pidiendo a bob que se mueva hacia adelante.

El argumento de `fd` es una distancia en píxeles, por lo que el tamaño real depende de tu pantalla.

Otros métodos que puedes llamar en un objeto `Turtle` son `bk` (*backward*) para retroceder, `lt` (*left turn*) para girar a la izquierda y `rt` (*right turn*) para girar a la derecha. El argumento para `lt` y `rt` es un ángulo en grados.

Además, cada `Turtle` sostiene una pluma, que está arriba o abajo; si la pluma está abajo, la tortuga deja un rastro cuando se mueve. Los métodos `pu` y `pd` representan “*pen up*” y “*pen down*”.

Para dibujar un ángulo recto, agrega estas líneas al programa (después de crear a bob y antes de llamar a `mainloop`):

```
bob.fd(100)
bob.lt(90)
bob.fd(100)
```

Cuando ejecutes este programa, deberías ver a bob moverse al este y luego al norte, dejando dos segmentos de línea atrás.

Ahora modifica el programa para dibujar un cuadrado. ¡No continúes hasta que lo hayas hecho funcionar!

## 4.2. Repetición simple

Es probable que hayas escrito algo así:

```
bob.fd(100)
bob.lt(90)
```

```
bob.fd(100)
bob.lt(90)
```

```
bob.fd(100)
bob.lt(90)
```

```
bob.fd(100)
```

Podemos hacer lo mismo de manera más concisa con una sentencia `for`. Agrega este ejemplo a `mipoligono.py` y ejecútalo de nuevo:

```
for i in range(4):  
    print('¡Hola!')
```

Deberías ver algo como esto:

```
¡Hola!  
¡Hola!  
¡Hola!  
¡Hola!
```

Este es el uso más simple de una sentencia `for`; después veremos más. Pero eso debería ser suficiente para dejarte reescribir tu programa que dibuja cuadrados. No continúes hasta que lo hagas.

Aquí hay una sentencia `for` que dibuja un cuadrado:

```
for i in range(4):  
    bob.fd(100)  
    bob.lt(90)
```

La sintaxis de una sentencia `for` es similar a una definición de función. Tiene un encabezado que termina con el signo dos puntos y un cuerpo con sangría. El cuerpo puede contener cualquier número de sentencias.

Una sentencia `for` también es llamada **bucle** porque el flujo de ejecución pasa por el cuerpo y luego vuelve hacia arriba. En este caso, pasa por el cuerpo cuatro veces.

Esta versión es en realidad un poco diferente del código que dibuja cuadrados propuesto anteriormente porque hace otro giro después de dibujar el último lado del cuadrado. El giro extra toma más tiempo, pero simplifica el código si hacemos lo mismo en cada paso por el bucle. Esta versión también tiene el efecto de regresar a la tortuga a su posición inicial, apuntando a la dirección inicial.

## 4.3. Ejercicios

Lo siguiente es una serie de ejercicios que utilizan el módulo `turtle`. Pretenden ser divertidos, pero también tienen un punto. Mientras trabajes en ellos, piensa cuál es el punto.

Las siguientes secciones tienen soluciones a los ejercicios, así que no las mires hasta que hayas terminado (o al menos intentado).

1. Escribe una función llamada `cuadrado` que tome un parámetro con nombre `t`, que es una tortuga. Debería utilizar la tortuga para dibujar un cuadrado.  
Escribe una llamada a función que pase a `bob` como argumento de `cuadrado`, y luego ejecuta el programa de nuevo.
2. Agrega otro parámetro, con nombre `longitud`, a `cuadrado`. Modifica el cuerpo para que la longitud de los lados sea `longitud`, y luego modifica la llamada a función para poner un segundo argumento. Ejecuta el programa de nuevo. Prueba tu programa con un rango de valores para `longitud`.
3. Haz una copia de `cuadrado` y cambia el nombre a `poligono`. Agrega otro parámetro con nombre `n` y modifica el cuerpo para que dibuje un polígono regular con `n` lados. Pista: los ángulos exteriores de un polígono regular con `n` lados son de  $360/n$  grados.

4. Escribe una función llamada `circulo` que tome una tortuga, `t`, y radio, `r`, como parámetros y dibuje un círculo aproximado llamando a `poligono` con una longitud y número de lados apropiado. Prueba tu función con un rango de valores de `r`.  
Pista: averigua cuál es el perímetro del círculo y asegúrate de que se cumpla que `longitud * n = perimetro`.
5. Haz una versión más general de `circulo` llamada `arco` que tome un parámetro adicional, `angulo`, que determine qué fracción de un círculo dibujar. `angulo` está en grados, así que cuando `angulo=360`, `arco` debería dibujar un círculo completo.

## 4.4. Encapsulamiento

El primer ejercicio te pide poner tu código que dibuja cuadrados dentro de una definición de función y luego llamar a la función, pasando a la tortuga como parámetro. Esta es la solución:

```
def cuadrado(t):
    for i in range(4):
        t.fd(100)
        t.lt(90)
```

```
cuadrado(bob)
```

Las sentencias de `más adentro`, `fd` y `lt`, tienen doble sangría para mostrar que están dentro del bucle `for`, el cual está dentro de la definición de función. La siguiente línea, `cuadrado(bob)`, está alineada con el margen izquierdo, lo cual indica el término tanto del bucle `for` como de la definición de función.

Dentro de la función, `t` se refiere a la misma tortuga `bob`, por lo que `t.lt(90)` tiene el mismo efecto que `bob.lt(90)`. En ese caso, ¿por qué no llamar al parámetro `bob`? La idea es que `t` puede ser cualquier tortuga, no solo `bob`, así que podrías crear una segunda tortuga y pasarla como argumento a `cuadrado`:

```
alice = turtle.Turtle()
cuadrado(alice)
```

El acto de envolver un pedazo de código en una función se llama **encapsulamiento**. Uno de los beneficios del encapsulamiento es que adjunta un nombre al código, lo cual sirve como una especie de documentación. Otra ventaja es que si reutilizas el código, ¡es más conciso llamar a una función dos veces que copiar y pegar el cuerpo!

## 4.5. Generalización

El siguiente paso es agregar un parámetro `longitud` a `cuadrado`. Aquí hay una solución:

```
def cuadrado(t, longitud):
    for i in range(4):
        t.fd(longitud)
        t.lt(90)
```

```
cuadrado(bob, 100)
```

El acto de agregar un parámetro a una función se llama **generalización** porque hace que la función sea más general: en la versión anterior, el cuadrado tiene siempre el mismo tamaño; en esta versión, puede ser de cualquier tamaño.

El siguiente paso es también una generalización. En lugar de dibujar cuadrados, `poligono` dibuja polígonos regulares con cualquier número de lados. Aquí hay una solución:

```
def poligono(t, n, longitud):
    angulo = 360 / n
    for i in range(n):
        t.fd(longitud)
        t.lt(angulo)
```

```
poligono(bob, 7, 70)
```

Este ejemplo dibuja un polígono de 7 lados de longitud 70.

Si estás usando Python 2, el valor de `angulo` podría ser incorrecto debido a una división entera. Una solución simple es calcular `angulo = 360.0 / n`. Dado que el numerador es un número de coma flotante, el resultado es de coma flotante.

Cuando una función tiene más que unos pocos argumentos numéricos, es fácil olvidar qué son, o en qué orden deberían estar. En ese caso, a menudo es una buena idea incluir los nombres de los parámetros en la lista de argumentos:

```
poligono(bob, n=7, longitud=70)
```

Estos se llaman **argumentos de palabra clave** porque incluyen a los nombres de parámetro tratándolos como “palabras clave” (no confundir con las palabras clave de Python como `while` y `def`).

Esta sintaxis hace que el programa sea más legible. Es también un recordatorio sobre cómo funcionan los argumentos y los parámetros: cuando llamas a una función, los argumentos son asignados a los parámetros.

## 4.6. Diseño de interfaz

El siguiente paso es escribir `circulo`, el cual toma un radio, `r`, como parámetro. Aquí hay una solución simple que utiliza a `poligono` para dibujar un polígono de 50 lados:

```
import math

def circulo(t, r):
    perimetro = 2 * math.pi * r
    n = 50
    longitud = perimetro / n
    poligono(t, n, longitud)
```

La primera línea calcula el perímetro de un círculo con radio `r` utilizando la fórmula  $2\pi r$ . Dado que utilizamos `math.pi`, tenemos que importar `math`. Por convención, las sentencias `import` generalmente están al comienzo del script.

`n` es el número de segmentos de línea en tu aproximación de un círculo, por lo que `longitud` es la longitud de cada segmento. Así, `poligono` dibuja un polígono de 50 lados que aproxima un círculo con radio `r`.

Una limitación de esta solución es que  $n$  es una constante, lo cual significa que para círculos muy grandes, los segmentos de línea son muy largos, y para círculos pequeños, ocupamos mucho tiempo dibujando segmentos muy pequeños. Una solución sería generalizar la función para que tome a  $n$  como parámetro. Esto le daría al usuario (quien llame a `circulo`) más control, pero la interfaz sería menos limpia.

La **interfaz** de una función es un resumen de cómo esta se utiliza: ¿cuáles son los parámetros? ¿Qué hace la función? ¿Y cuál es el valor de retorno? Una interfaz es “limpia” si permite a la sentencia llamadora hacer lo que quiere sin lidiar con detalles innecesarios.

En este ejemplo,  $r$  forma parte de la interfaz porque especifica el círculo a dibujar.  $n$  es menos apropiado porque pertenece a los detalles de *cómo* debería dibujarse el círculo.

En lugar de desordenar la interfaz, es mejor escoger un valor apropiado de  $n$  que dependa del perímetro:

```
def circulo(t, r):
    perimetro = 2 * math.pi * r
    n = int(perimetro / 3) + 3
    longitud = perimetro / n
    poligono(t, n, longitud)
```

Ahora, el número de segmentos es un entero cercano a  $\text{perimetro}/3$ , por lo que la longitud de cada segmento es aproximadamente 3, lo cual es suficientemente pequeño para que el círculo se vea bien, pero lo suficientemente grande para ser eficiente, y aceptable para cualquier tamaño de círculo.

Sumar 3 a  $n$  garantiza que el polígono tenga al menos 3 lados.

## 4.7. Refactorización

Cuando escribí `circulo`, fui capaz de reutilizar `poligono` porque un polígono de muchos lados es una buena aproximación de un círculo. Pero `arco` no es tan cooperativo: no podemos utilizar `poligono` o `circulo` para dibujar un arco.

Una alternativa es comenzar con una copia de `poligono` y transformarla en `arco`. El resultado podría verse así:

```
def arco(t, r, angulo):
    longitud_arco = 2 * math.pi * r * angulo / 360
    n = int(longitud_arco / 3) + 1
    longitud_paso = longitud_arco / n
    angulo_paso = angulo / n

    for i in range(n):
        t.fd(longitud_paso)
        t.lt(angulo_paso)
```

La segunda mitad de esta función se parece a `poligono`, pero no podemos reutilizar `poligono` sin cambiar la interfaz. Podríamos generalizar `poligono` para que tome un ángulo como tercer argumento, ¡pero entonces `poligono` ya no sería un nombre apropiado! En cambio, llamemos `polilinea` a la función más general:



```
def polilinea(t, n, longitud, angulo):  
    for i in range(n):  
        t.fd(longitud)  
        t.lt(angulo)
```

Ahora podemos reescribir poligono y arco para que utilice a polilinea:

```
def poligono(t, n, longitud):  
    angulo = 360.0 / n  
    polilinea(t, n, longitud, angulo)  
  
def arco(t, r, angulo):  
    longitud_arco = 2 * math.pi * r * angulo / 360  
    n = int(longitud_arco / 3) + 1  
    longitud_paso = longitud_arco / n  
    angulo_paso = float(angulo) / n  
    polilinea(t, n, longitud_paso, angulo_paso)
```

Finalmente, podemos reescribir circulo para que utilice a arco:

```
def circulo(t, r):  
    arco(t, r, 360)
```

Este proceso —reorganizar un programa para mejorar las interfaces y facilitar la reutilización de código— se llama **refactorización**. En este caso, notamos que había código similar en arco y poligono, así que “lo factorizamos” en polilinea.

Si hubiéramos planificado con anticipación, podríamos haber escrito polilinea primero y haber evitado la refactorización, pero a menudo no sabes lo suficiente al comienzo de un proyecto como para diseñar todas las interfaces. Una vez que comienzas a escribir código, entiendes mejor el problema. A veces la refactorización es una señal de que has aprendido algo.

## 4.8. Un plan de desarrollo

Un **plan de desarrollo** es un proceso para escribir programas. El proceso que utilizamos en este estudio de caso es “encapsulamiento y generalización”. Los pasos de este proceso son:

1. Comenzar escribiendo un programa pequeño sin definiciones de función.
2. Una vez que el programa funciona, identifica una parte coherente, encapsula la parte en una función y dale un nombre.
3. Generaliza la función agregando parámetros apropiados.
4. Repite los pasos 1–3 hasta que tengas un conjunto de funciones eficaces. Copia y pega código que funcione para evitar repetir (y volver a depurar).
5. Busca oportunidades para mejorar el programa refactorizando. Por ejemplo, si tienes código similar en muchos lugares, considera factorizarlo dentro de una función general apropiada.

Este proceso tiene algunos inconvenientes —más tarde veremos alternativas— pero puede ser útil si no sabes de antemano cómo dividir el programa en funciones. Este enfoque te permite diseñar a medida que avanzas.

## 4.9. docstring

Un **docstring** es una cadena al comienzo de una función que explica la interfaz (“doc” es la abreviatura de “documentation”). Aquí hay un ejemplo:

```
def polilinea(t, n, longitud, angulo):  
    """Dibuja n segmentos de línea con la longitud dada  
    y el ángulo (en grados) entre ellos. t es una tortuga.  
    """  
    for i in range(n):  
        t.fd(longitud)  
        t.lt(angulo)
```

Por convención, todos los docstrings son cadenas entre triple comillas, también conocidas como cadenas multilínea porque las triple comillas permiten expandir la cadena a más de una línea.

Es breve, pero contiene la información esencial que alguien necesitaría para utilizar esta función. Explica de manera concisa lo que hace la función (sin entrar en detalles sobre cómo lo hace). Explica qué efecto tiene cada parámetro en el comportamiento de la función y de qué tipo debería ser cada parámetro (si no es obvio).

Escribir este tipo de documentación es una parte importante del diseño de la interfaz. Una interfaz bien diseñada debería ser simple de explicar; si tienes dificultades al explicar una de tus funciones, quizás la interfaz podría mejorar.

## 4.10. Depuración

Una interfaz es como un contrato entre una función y la sentencia llamadora. La llamadora acepta proporcionar ciertos argumentos y la función acepta hacer cierto trabajo.

Por ejemplo, `polilinea` requiere cuatro argumentos: `t` tiene que ser `Turtle`; `n` tiene que ser un entero; `longitud` debería ser un número positivo; y `angulo` tiene que ser un número, que se entiende que está en grados.

Estos requisitos se llaman **precondiciones** porque se supone que son verdaderos antes de que la función comience a ejecutarse. De forma opuesta, las condiciones al final de la función son **postcondiciones**. Las postcondiciones incluyen el efecto previsto de la función (como al dibujar segmentos de línea) y cualquier efecto secundario (como mover la tortuga o hacer otros cambios).

Las precondiciones son responsabilidad de la llamadora. Si la llamadora viola una precondición (¡debidamente documentada!) y la función no funciona de forma correcta, el error está en la llamadora, no en la función.

Si las precondiciones se satisfacen y las postcondiciones no, el error está en la función. Si tus pre y post condiciones están claras, pueden ayudar con la depuración.

## 4.11. Glosario

**método:** Una función que se asocia a un objeto y se llama utilizando notación de punto.



Figura 4.1: Flores tortuga.

**bucle:** Una parte de un programa que puede ejecutarse de forma repetida.

**encapsulamiento:** El proceso de transformar una secuencia de sentencias en una definición de función.

**generalización:** El proceso de reemplazar algo innecesariamente específico (como un número) con algo apropiadamente general (como una variable o parámetro).

**argumento de palabra clave:** Un argumento que incluye el nombre del parámetro tratándolo como “palabra clave”.

**interfaz:** Una descripción de cómo utilizar una función, incluyendo el nombre y descripciones de los argumentos y el valor de retorno.

**refactorización:** El proceso de modificar un programa que funciona para mejorar las interfaces de funciones y otras cualidades del código.

**plan de desarrollo:** Un proceso para escribir programas.

**docstring:** Una cadena que aparece en la parte superior de una definición de función para documentar la interfaz de la función.

**precondición:** Un requisito que debería satisfacer la sentencia llamadora antes de que la función comience.

**postcondición:** Un requisito que debería satisfacer la función antes de que termine.

## 4.12. Ejercicios

**Ejercicio 4.1.** Descarga el código de este capítulo en <http://thinkpython2.com/code/polygon.py>.

1. Dibuja un diagrama de pila que muestre el estado del programa al ejecutar `circulo(bob, radio)`. Puedes hacer la aritmética a mano o agregar sentencias `print` al código.
2. La versión de `arco` en la Sección 4.7 no es muy precisa debido a que la aproximación lineal del círculo está siempre afuera del verdadero círculo. Como resultado, la tortuga termina a unos pocos píxeles de distancia del destino correcto. Mi solución muestra una manera de reducir el efecto de este error. Lee el código y ve si tiene sentido para ti. Si dibujas un diagrama, podrías ver cómo trabaja.

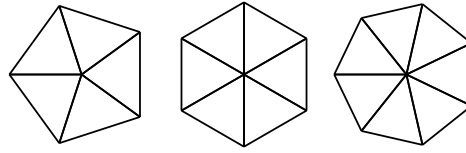


Figura 4.2: Pasteles tortuga.

**Ejercicio 4.2.** Escribe un conjunto de funciones apropiadamente generales que puedan dibujar flores como en la Figura 4.1.

Solución: <http://thinkpython2.com/code/flower.py>, también requiere <http://thinkpython2.com/code/polygon.py>.

**Ejercicio 4.3.** Escribe un conjunto de funciones apropiadamente generales que puedan dibujar formas como en la Figura 4.2.

Solución: <http://thinkpython2.com/code/pie.py>.

**Ejercicio 4.4.** Las letras del alfabeto se pueden construir desde un número moderado de elementos básicos, como líneas verticales y horizontales y unas pocas curvas. Diseña un alfabeto que pueda dibujarse con un número mínimo de elementos básicos y luego escribe funciones que dibujen las letras.

Deberías escribir una función para cada letra, con nombres `dibujar_a`, `dibujar_b`, etc., y poner tus funciones en un archivo con nombre `letras.py`. Puedes descargar una “máquina de escribir tortuga” desde <http://thinkpython2.com/code/typewriter.py> para ayudarte a probar tu código.

Puedes obtener una solución en <http://thinkpython2.com/code/letters.py>; también requiere <http://thinkpython2.com/code/polygon.py>.

**Ejercicio 4.5.** Lee sobre espirales en <http://en.wikipedia.org/wiki/Spiral>; luego escribe un programa que dibuje una espiral arquimediana (o uno de los otros tipos). Solución: <http://thinkpython2.com/code/spiral.py>.

## Capítulo 5

# Condicionales y recursividad

El tema principal de este capítulo es la sentencia `if`, la cual ejecuta código diferente dependiendo del estado del programa. Pero primero quiero presentar dos operadores nuevos: división entera y módulo.

### 5.1. División entera y módulo

El operador **división entera**, `//`, divide dos números y redondea a un entero hacia abajo. Por ejemplo, supongamos que la duración de una película es 105 minutos. Quizás quieras saber cuánto dura en horas. La división convencional devuelve un número de coma flotante:

```
>>> minutos = 105
>>> minutos / 60
1.75
```

Sin embargo, normalmente no escribimos las horas con decimales. La división entera devuelve el número entero de horas, redondeando:

```
>>> minutos = 105
>>> horas = minutos // 60
>>> horas
1
```

Para obtener el resto, podrías restar una hora en minutos:

```
>>> resto = minutos - horas * 60
>>> resto
45
```

Una alternativa es usar el **operador de módulo**, `%`, que divide dos números y devuelve el resto.

```
>>> resto = minutos % 60
>>> resto
45
```

El operador de módulo es más útil de lo que parece. Por ejemplo, puedes verificar si un número es divisible por otro: si `x % y` es cero, entonces `x` es divisible por `y`.

Además, puedes extraer el dígito de más a la derecha o más dígitos de un número. Por ejemplo, `x % 10` entrega el dígito de más a la derecha de `x` (en base 10). De manera similar, `x % 100` entrega los dos últimos dígitos.

Si estás usando Python 2, la división funciona diferente. El operador división, `/`, realiza una división entera si ambos operandos son enteros, y la división de coma flotante si cualquiera de los dos operandos es un `float`.

## 5.2. Expresión booleana

Una **expresión booleana** es una expresión que es verdadera o falsa. Los siguientes ejemplos usan el operador `==`, el cual compara dos operandos y produce `True` si son iguales y `False` si no lo son:

```
>>> 5 == 5
True
>>> 5 == 6
False
```

`True` y `False` son valores especiales que pertenecen al tipo `bool`; no son cadenas:

```
>>> type(True)
<class 'bool'>
>>> type(False)
<class 'bool'>
```

El operador `==` es uno de los **operadores relacionales**; los otros son:

<code>x != y</code>	# <code>x</code> no es igual a <code>y</code>
<code>x &gt; y</code>	# <code>x</code> es mayor que <code>y</code>
<code>x &lt; y</code>	# <code>x</code> es menor que <code>y</code>
<code>x &gt;= y</code>	# <code>x</code> es mayor o igual que <code>y</code>
<code>x &lt;= y</code>	# <code>x</code> es menor o igual que <code>y</code>

Aunque estas operaciones probablemente sean comunes para ti, los símbolos de Python son diferentes a los símbolos matemáticos. Un error común es utilizar el signo igual simple (`=`) en lugar de un signo igual doble (`==`). Recuerda que `=` es un operador de asignación y `==` es un operador relacional. No hay tal cosa como `=< o =>`.

## 5.3. Operadores lógicos

Existen tres **operadores lógicos**: `and`, `or` y `not`. La semántica (significado) de estos operadores es similar a su significado en inglés. Por ejemplo, `x > 0 and x < 10` es verdadera solo si `x` es mayor que 0 y menor que 10.

`n % 2 == 0 or n % 3 == 0` es verdadera si *cualquiera o ambas* condiciones son verdaderas, es decir, si el número es divisible por 2 o 3.

Finalmente, el operador `not` niega una expresión booleana, así que `not (x > y)` es verdadera si `x > y` es falsa, es decir, si `x` es menor o igual que `y`.

Estrictamente hablando, los operandos de los operadores lógicos deberían ser expresiones booleanas, pero Python no es muy estricto. Cualquier número distinto de cero es interpretado como True:

```
>>> 42 and True
True
```

Esta flexibilidad puede ser útil, pero hay algunas sutilezas que podrían ser confusas. Quizás quieras evitar esto (a menos que sepas lo que estás haciendo).

## 5.4. Ejecución condicional

Para escribir programas útiles, casi siempre necesitamos la capacidad de verificar las condiciones y cambiar el comportamiento del programa según corresponda. Las **sentencias condicionales** nos dan esta capacidad. La forma más simple es la sentencia if:

```
if x > 0:
    print('x es positivo')
```

La expresión booleana después de if se llama **condición**. Si es verdadera, se ejecutan las sentencias con sangría. Si no, no pasa nada.

Las sentencias if tienen la misma estructura que las definiciones de función: un encabezado seguido de un cuerpo con sangrías. Las sentencias como esta se llaman **sentencias compuestas**.

No hay límite en el número de sentencias que pueden aparecer en el cuerpo, pero tiene que haber al menos una. A veces, es útil tener un cuerpo sin sentencias (generalmente para reservar lugar a código que no has escrito todavía). En ese caso, puedes usar la sentencia pass, la cual no hace nada.

```
if x < 0:
    pass                # PENDIENTE: ¡falta manejar los valores negativos!
```

## 5.5. Ejecución alternativa

Una segunda forma de la sentencia if es la “ejecución alternativa”, en la cual hay dos posibilidades y la condición determina cuál se ejecuta. La sintaxis se ve así:

```
if x % 2 == 0:
    print('x es par')
else:
    print('x es impar')
```

Si el resto de dividir x por 2 es 0, entonces sabemos que x es par y el programa muestra un mensaje correspondiente. Si la condición es falsa, se ejecuta el segundo conjunto de sentencias. Dado que la condición debe ser verdadera o falsa, se ejecutará exactamente una de las alternativas. Las alternativas se llaman **ramas**, porque son ramas en el flujo de ejecución.

## 5.6. Condicionales encadenados

A veces hay más de dos posibilidades y necesitamos más de dos ramas. Una manera de expresar una computación como esa es un **condicional encadenado**:

```
if x < y:
    print('x es menor que y')
elif x > y:
    print('x es mayor que y')
else:
    print('x e y son iguales')
```

`elif` es una abreviación de “else if”. De nuevo, se ejecutará exactamente una rama. No hay límite en el número de sentencias `elif`. Si hay una cláusula `else`, tiene que estar al final, pero no necesariamente tiene que haber una.

```
if opcion == 'a':
    dibujar_a()
elif opcion == 'b':
    dibujar_b()
elif opcion == 'c':
    dibujar_c()
```

Cada condición es verificada en orden. Si la primera es falsa, se verifica la siguiente, y así sucesivamente. Si una de ellas es verdadera, se ejecuta la rama correspondiente y la sentencia termina. Incluso si más de una condición es verdadera, solo se ejecuta la primera rama verdadera.

## 5.7. Condicionales anidados

Un condicional puede también estar anidado dentro de otro. Podríamos haber escrito el ejemplo de la sección anterior de esta forma:

```
if x == y:
    print('x e y son iguales')
else:
    if x < y:
        print('x es menor que y')
    else:
        print('x es mayor que y')
```

El condicional de más afuera contiene dos ramas. La primera rama contiene una sentencia simple. La segunda rama contiene otra sentencia `if`, la cual tiene dos ramas propias. Aquellas dos ramas son sentencias simples, aunque también podrían haber sido sentencias condicionales.

A pesar de que la sangría de las sentencias hacen evidente la estructura, los **condicionales anidados** se vuelven difíciles de leer rápidamente. Es una buena idea evitarlos cuando puedas.

Los operadores lógicos a menudo proporcionan una manera de simplificar las sentencias condicionales anidadas. Por ejemplo, podemos reescribir el siguiente código utilizando un único condicional:



```
if 0 < x:
    if x < 10:
        print('x es un número positivo de un dígito.')
```

La sentencia print solo se ejecuta si pasamos por los dos condicionales, así que podemos obtener el mismo efecto con el operador and:

```
if 0 < x and x < 10:
    print('x es un número positivo de un dígito.')
```

Para este tipo de condición, Python proporciona una opción más concisa:

```
if 0 < x < 10:
    print('x es un número positivo de un dígito.')
```

## 5.8. Recursividad

Es legal para una función llamar a otra función; es legal también para una función llamarse a sí misma. Puede que no sea obvia la razón por la cual eso es una buena idea, pero resulta ser una de las cosas más mágicas que puede hacer un programa. Por ejemplo, mira la siguiente función:

```
def cuenta_reg(n):
    if n <= 0:
        print('¡Despegue!')
    else:
        print(n)
        cuenta_reg(n-1)
```

Si n es 0 o negativo, muestra la palabra, “¡Despegue!” De lo contrario, muestra a n y luego llama a la función con nombre cuenta\_reg —a sí misma— pasando a n-1 como argumento.

¿Qué ocurre si llamamos a esta función así?

```
>>> cuenta_reg(3)
```

La ejecución de cuenta\_reg comienza con n=3, y dado que n es mayor que 0, muestra el valor 3 y se llama a sí misma...

La ejecución de cuenta\_reg comienza con n=2, y dado que n es mayor que 0, muestra el valor 2 y se llama a sí misma...

La ejecución de cuenta\_reg comienza con n=1, y dado que n es mayor que 0, muestra el valor 1 y se llama a sí misma...

La ejecución de cuenta\_reg comienza con n=0, y dado que n no es mayor que 0, muestra la palabra “¡Despegue!” y luego vuelve.

La cuenta\_reg que obtuvo n=1 vuelve.

La cuenta\_reg que obtuvo n=2 vuelve.

La cuenta\_reg que obtuvo n=3 vuelve.

Y luego estás de regreso en \_\_main\_\_. Por lo tanto, la salida completa se ve así:

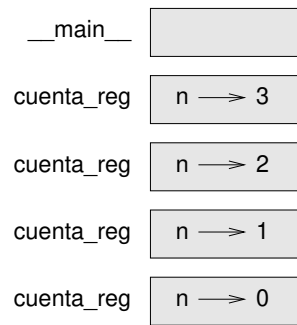


Figura 5.1: Diagrama de pila.

```

3
2
1
;Despegue!

```

Una función que se llama a sí misma es **recursiva**; el proceso de ejecutarla se llama **recursividad**.

Como ejemplo adicional, podemos escribir una función que imprima una cadena  $n$  veces.

```

def imprimir_n(s, n):
    if n <= 0:
        return
    print(s)
    imprimir_n(s, n-1)

```

Si  $n \leq 0$ , la **sentencia return** hace que se salga de la función. El flujo de ejecución vuelve inmediatamente a la sentencia llamadora y las líneas restantes de la función no se ejecutan.

El resto de la función es similar a `cuenta_reg`: muestra a  $s$  y luego se llama a sí misma para mostrar a  $s$  otras  $n - 1$  veces. Entonces, el número de líneas de salida es  $1 + (n - 1)$ , lo cual suma  $n$ .

Para ejemplos simples como este, probablemente es más fácil utilizar un bucle `for`. Sin embargo, más adelante veremos ejemplos que son difíciles de escribir con un bucle `for` y fáciles de escribir con recursividad, así que es bueno comenzar pronto.

## 5.9. Diagramas de pila para funciones recursivas

En la Sección 3.9, utilizamos un diagrama de pila para representar el estado de un programa durante una llamada a función. El mismo tipo de diagrama puede ayudar a interpretar una función recursiva.

Cada vez que una función es llamada, Python crea un marco que contiene las variables locales y los parámetros de la función. Para una función recursiva, podría haber más de un marco en la pila al mismo tiempo.

La Figura 5.1 muestra un diagrama de pila para `cuenta_reg` llamada con  $n = 3$ .

Como siempre, la parte de arriba de la pila es el marco para `__main__`. Está vacío porque no creamos variables en `__main__` ni le pasamos argumentos.

Los cuatro marcos de `cuenta_reg` tienen valores diferentes para el parámetro `n`. La parte de abajo de la pila, donde `n=0`, se llama **caso base**. No hace una llamada recursiva, así que no hay más marcos.

Como ejercicio, dibuja un diagrama de pila para `imprimir_n` llamada con `s = 'Hola'` y `n=2`. Luego, escribe una función llamada `hacer_n` que tome un objeto de función y un número, `n`, como argumentos, y que llame a dicha función `n` veces.

## 5.10. Recursividad infinita

Si una recursividad nunca llega a un caso base, sigue haciendo llamadas recursivas por siempre y el programa nunca termina. Esto se conoce como **recursividad infinita** y en general no es una buena idea. Aquí hay un programa mínimo con una recursividad infinita:

```
def recursivo():
    recursivo()
```

En la mayoría de los entornos de programación, un programa con recursividad infinita no se ejecuta realmente por siempre. Python entrega un mensaje de error cuando la recursividad alcanza la profundidad máxima:

```
File "<stdin>", line 2, in recursivo
File "<stdin>", line 2, in recursivo
File "<stdin>", line 2, in recursivo
.
.
.
File "<stdin>", line 2, in recursivo
RuntimeError: Maximum recursion depth exceeded
```

Este rastreo es un poco más grande del que vimos en el capítulo anterior. Cuando el error ocurre, ¡hay 1000 marcos de `recursivo` en la pila!

Si encuentras una recursividad infinita por accidente, revisa tu función para confirmar que hay un caso base que no hace una llamada recursiva. Y si hay un caso base, verifica si tienes garantizado alcanzarlo.

## 5.11. Entrada de teclado

Los programas que hemos escrito hasta ahora no admiten entradas del usuario. Simplemente hacen siempre lo mismo.

Python proporciona una función incorporada llamada `input` que detiene el programa y espera a que el usuario escriba algo. Cuando el usuario presiona Return o Enter, el programa continúa e `input` devuelve como cadena lo que escribió el usuario. En Python 2, la misma función se llama `raw_input`.

```
>>> texto = input()
¿Qué estás esperando?
>>> texto
'¿Qué estás esperando?'
```

Antes de obtener la entrada del usuario, es una buena idea imprimir un mensaje que le diga al usuario qué escribir. `input` puede tomar un mensaje como argumento:

```
>>> nombre = input('¿Cuál...es tu nombre?\n')
¿Cuál...es tu nombre?
¿Arturo, Rey de los Britones!
>>> nombre
'¿Arturo, Rey de los Britones!'
```

La secuencia `\n` al final del mensaje representa una **nueva línea**, la cual es un carácter especial que provoca un salto de línea. Esa es la razón por la cual la entrada del usuario aparece debajo del mensaje.

Si esperas que el usuario escriba un entero, puedes intentar convertir el valor de retorno a `int`:

```
>>> mensaje = '¿Cuál...es la velocidad media de una golondrina sin carga?\n'
>>> velocidad = input(mensaje)
¿Cuál...es la velocidad media de una golondrina sin carga?
42
>>> int(velocidad)
42
```

Pero si el usuario escribe algo distinto a una cadena de dígitos, obtienes un error:

```
>>> velocidad = input(mensaje)
¿Cuál...es la velocidad media de una golondrina sin carga?
¿De qué especie, de la africana o de la europea?
>>> int(velocidad)
ValueError: invalid literal for int() with base 10
```

Más adelante veremos cómo tratar este tipo de error.

## 5.12. Depuración

Cuando ocurre un error de sintaxis o de tiempo de ejecución, el mensaje de error contiene mucha información, pero esto puede ser abrumador. Las partes más útiles suelen ser:

- Qué tipo de error fue y
- Dónde ocurrió.

Los errores de sintaxis son generalmente fáciles de encontrar, pero hay algunas trampas. Los errores de espacio en blanco pueden ser complicados porque los espacios y las sangrías son invisibles y estamos acostumbrados a ignorarlos.

```
>>> x = 5
>>> y = 6
      File "<stdin>", line 1
        y = 6
        ^
IndentationError: unexpected indent
```

En este ejemplo, el problema es que la segunda línea está desajustada por un espacio. Pero el mensaje de error señala a y, lo cual es engañoso. En general, los mensajes de error indican dónde fue descubierto el problema, pero el error real podría estar antes en el código, a veces en una línea anterior. Lo mismo ocurre con los errores de tiempo de ejecución.

Supongamos que estás intentando calcular una relación señal/ruido en decibeles. La fórmula es  $RSR_{db} = 10 \log_{10}(P_{señal} / P_{ruido})$ . En Python, podrías escribir algo así:

```
import math
potencia_senal = 9
potencia_ruido = 10
relacion = potencia_senal // potencia_ruido
decibeles = 10 * math.log10(relacion)
print(decibeles)
```

Cuando ejecutas este programa, obtienes una excepción:

```
Traceback (most recent call last):
  File "snr.py", line 5, in ?
    decibeles = 10 * math.log10(relacion)
ValueError: math domain error
```

El mensaje de error indica la línea 5, pero no hay nada malo con esa línea. Para encontrar el error real, podría ser útil imprimir el valor de `relacion`, que resulta ser 0. El problema está en la línea 4, que utiliza división entera en lugar de división de coma flotante.

Deberías tomarte el tiempo de leer cuidadosamente los mensajes de error, pero no supongas que todo lo que dice es correcto.

## 5.13. Glosario

**división entera:** Un operador, denotado por `//`, que divide dos números y redondea a un entero hacia abajo (en sentido hacia el infinito negativo).

**operador de módulo:** Un operador, denotado con un signo de porcentaje (`%`), que trabaja con enteros y devuelve el resto de dividir un número por otro.

**expresión booleana:** Una expresión cuyo valor es `True` o `False`.

**operador relacional:** Uno de los operadores que comprara sus operandos: `==`, `!=`, `>`, `<`, `>=` y `<=`.

**operador lógico:** Uno de los operadores que combina expresiones booleanas: `and`, `or` y `not`.

**sentencia condicional:** Una sentencia que controla el flujo de ejecución dependiendo de una condición.

**condición:** La expresión booleana en una sentencia condicional que determina cuál rama se ejecuta.

**sentencia compuesta:** Una sentencia que consiste en un encabezado y un cuerpo. El encabezado termina con un signo de dos puntos (`:`). El cuerpo tiene sangrías relativas al encabezado.

**rama:** Una de las secuencias de sentencias alternativas en una sentencia condicional.

**condicional encadenado:** Una sentencia condicional con una serie de ramas alternativas.

**condicional anidado:** Una sentencia condicional que aparece en una de las ramas de otra sentencia condicional.

**sentencia return:** Una sentencia que provoca que una función termine inmediatamente y vuelva a la sentencia llamadora.

**recursividad:** El proceso de llamar a la función que ya se está ejecutando.

**caso base:** Una rama condicional de una función recursiva que no hace una llamada recursiva.

**recursividad infinita:** Una recursividad que no tiene un caso base, o nunca lo alcanza. Eventualmente, una recursividad infinita provoca un error de tiempo de ejecución.

## 5.14. Ejercicios

**Ejercicio 5.1.** El módulo `time` proporciona una función, con el mismo nombre `time`, que devuelve el tiempo transcurrido desde la Hora Media de Greenwich (GMT) en “la época” (epoch), que es un momento arbitrario usado como punto de referencia. En sistemas UNIX, la época es el 1 de enero de 1970.

```
>>> import time
>>> time.time()
1437746094.5735958
```

Escribe un script que lea el tiempo actual y lo convierta a una hora del día en horas, minutos y segundos, además del número de días desde la época.

**Ejercicio 5.2.** El Último Teorema de Fermat dice que no hay enteros positivos  $a$ ,  $b$  y  $c$  tales que

$$a^n + b^n = c^n$$

para cualquier valor de  $n$  mayor que 2.

1. Escribe una función con nombre `comprobar_fermat` que tome cuatro parámetros — $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $n$ — y compruebe si se cumple el teorema de Fermat. Si  $n$  es mayor que 2 y

$$a^n + b^n = c^n$$

el programa debería imprimir “¡Oh, no, Fermat se equivocó!”. De lo contrario, el programa debería imprimir “No, eso no funciona.”

2. Escribe una función que permita al usuario ingresar valores para  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $n$ , los convierta a enteros y utilice la función `comprobar_fermat` para comprobar si violan el teorema de Fermat.

**Ejercicio 5.3.** Si te dan tres palos, podrías ser capaz o no de formar un triángulo. Por ejemplo, si uno de los palos mide 12 pulgadas y los otros dos miden una pulgada, no serás capaz de hacer que los palos cortos se encuentren en el medio. Para tres longitudes cualesquiera, hay una prueba simple para ver si es posible formar un triángulo:

*Si cualquiera de las tres longitudes es mayor que la suma de las otras dos, entonces no puedes formar un triángulo. De lo contrario, sí puedes. (Si la suma de dos longitudes es igual a la tercera, forman lo que llaman un triángulo “degenerado”).*

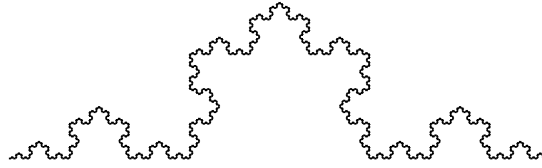


Figura 5.2: Una curva de Koch.

1. Escribe una función con nombre `es_triángulo` que tome tres enteros como argumentos e imprima "Sí" o "No", dependiendo de si puedes o no formar un triángulo con palos cuyas longitudes sean los enteros dados.
2. Escribe una función que permita al usuario ingresar tres longitudes de palos, los convierta a enteros y utilice la función `es_triángulo` para comprobar si los palos con las longitudes dadas pueden formar un triángulo.

**Ejercicio 5.4.** ¿Cuál es la salida del siguiente programa? Dibuja un diagrama de pila que muestre el estado del programa cuando imprime el resultado.

```
def recursivo(n, s):
    if n == 0:
        print(s)
    else:
        recursivo(n-1, n+s)
```

```
recursivo(3, 0)
```

1. ¿Qué ocurriría si llamas a esta función así: `recursivo(-1, 0)`?
2. Escribe un docstring que explique todo lo que alguien necesitaría saber para utilizar esta función (y nada más).

Los siguientes ejercicios utilizan el módulo `turtle`, descrito en el Capítulo 4:

**Ejercicio 5.5.** Lee la siguiente función y mira si puedes averiguar lo que hace (mira los ejemplos en el Capítulo 4). Luego ejecútala y mira si la entendiste bien.

```
def dibujar(t, longitud, n):
    if n == 0:
        return
    angulo = 50
    t.fd(longitud*n)
    t.lt(angulo)
    dibujar(t, longitud, n-1)
    t.rt(2*angulo)
    dibujar(t, longitud, n-1)
    t.lt(angulo)
    t.bk(longitud*n)
```

**Ejercicio 5.6.** La curva de Koch es un fractal que se ve más o menos como en la Figura 5.2. Para dibujar una curva de Koch con longitud  $x$ , todo lo que tienes que hacer es

1. Dibujar una curva de Koch con longitud  $x/3$ .
2. Girar 60 grados a la izquierda.

3. Dibujar una curva de Koch con longitud  $x/3$ .
4. Girar 120 grados a la derecha.
5. Dibujar una curva de Koch con longitud  $x/3$ .
6. Girar 60 grados a la izquierda.
7. Dibujar una curva de Koch con longitud  $x/3$ .

La excepción es si  $x$  es menor que 3: en ese caso, puedes simplemente dibujar una línea recta con longitud  $x$ .

1. Escribe una función llamada `koch` que tome una tortuga y una longitud como parámetros y que use a la tortuga para dibujar una curva de Koch con la longitud dada.
2. Escribe una función llamada `copo_de_nieve` que dibuje tres curvas de Koch que hagan el contorno de un copo de nieve.

Solución: <http://thinkpython2.com/code/koch.py>.

3. La curva de Koch se puede generalizar en muchas formas. Mira [http://en.wikipedia.org/wiki/Koch\\_snowflake](http://en.wikipedia.org/wiki/Koch_snowflake) para ejemplos e implementa tu favorito.



## Capítulo 6

# Funciones productivas

Muchas de las funciones de Python que hemos utilizado, tales como las funciones matemáticas, producen valores de retorno. Sin embargo, las funciones que hemos escrito son todas nulas: tienen un efecto, como imprimir un valor o mover una tortuga, pero no tienen un valor de retorno. En este capítulo aprenderás a escribir funciones productivas.

### 6.1. Valores de retorno

Al llamar a una función se genera un valor de retorno, que usualmente asignamos a una variable o utilizamos como parte de una expresión.

```
e = math.exp(1.0)
altura = radio * math.sin(radianes)
```

Las funciones que hemos escrito hasta ahora son todas nulas. Dicho en términos vagos, no tienen valor de retorno; de manera más precisa, su valor de retorno es `None`.

En este capítulo, vamos a escribir (finalmente) funciones productivas. El primer ejemplo es `area`, que devuelve el área de un círculo con un radio dado:

```
def area(radio):
    a = math.pi * radio**2
    return a
```

Hemos visto la sentencia `return` antes, pero en una función productiva la sentencia `return` incluye una expresión. Esta sentencia significa: “Sal inmediatamente de esta función y utiliza la siguiente expresión como valor de retorno.” La expresión puede ser arbitrariamente complicada, por lo que podríamos haber escrito esta función de manera más concisa:

```
def area(radio):
    return math.pi * radio**2
```

Por otra parte, las **variables temporales** como `a` pueden hacer más fácil la depuración.

A veces es útil tener múltiples sentencias `return`, una en cada rama de un condicional:

```
def valor_absoluto(x):
    if x < 0:
        return -x
```

```

else:
    return x

```

Dado que estas sentencias `return` están en un condicional alternativo, solo se ejecuta una.

Tan pronto como se ejecute una sentencia `return`, la función termina sin ejecutar ninguna de las sentencias posteriores. El código que aparece después de una sentencia `return`, o cualquier otro lugar que el flujo de ejecución nunca puede alcanzar, se llama **código muerto**.

En una función productiva, es una buena idea asegurarse de que cada camino posible a través del programa llegue a una sentencia `return`. Por ejemplo:

```

def valor_absoluto(x):
    if x < 0:
        return -x
    if x > 0:
        return x

```

Esta función es incorrecta porque si  $x$  es 0, ninguna condición es verdadera, y la función termina sin llegar a una sentencia `return`. Si el flujo de ejecución llega al final de una función, el valor de retorno es `None`, lo cual no es el valor absoluto de 0.

```

>>> print(valor_absoluto(0))
None

```

Por cierto, Python proporciona una función incorporada llamada `abs` que calcula valores absolutos.

Como ejercicio, escribe una función `comparar` que tome dos valores,  $x$  e  $y$ , y devuelva 1 si  $x > y$ , devuelva 0 si  $x == y$  o devuelva -1 si  $x < y$ .

## 6.2. Desarrollo incremental

A medida que vayas escribiendo funciones más grandes, podrías encontrarte pasando más tiempo depurando.

Para lidiar con programas cada vez más complejos, tal vez quieras intentar un proceso llamado **desarrollo incremental**. El objetivo del desarrollo incremental es evitar largas sesiones de depuración agregando y probando solo un pedazo de código a la vez.

Como ejemplo, supongamos que quieres encontrar la distancia entre dos puntos, dados por las coordenadas  $(x_1, y_1)$  y  $(x_2, y_2)$ . Por el teorema de Pitágoras, la distancia es:

$$\text{distancia} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

El primer paso es considerar cómo debería ser una función de distancia en Python. En otras palabras, ¿cuáles son las entradas (parámetros) y cuál es la salida (valor de retorno)?

En este caso, las entradas son dos puntos, que puedes representar utilizando cuatro números. El valor de retorno es la distancia representada por un valor de coma flotante.

Inmediatamente puedes escribir un esbozo de la función:

```

def distancia(x1, y1, x2, y2):
    return 0.0

```

Obviamente, esta versión no calcula distancias: siempre devuelve cero. Pero es sintácticamente correcta, y funciona, lo cual significa que puedes probarla antes de que la hagas más complicada.

Para probar la nueva función, llámala con argumentos de prueba:

```
>>> distancia(1, 2, 4, 6)
0.0
```

Escojo estos valores para que la distancia horizontal sea 3 y la distancia vertical sea 4; de esa forma, el resultado es 5, la hipotenusa de un triángulo rectángulo 3-4-5. Al probar una función, es útil saber la respuesta correcta.

En este punto hemos confirmado que la función es sintácticamente correcta y podemos comenzar agregando código al cuerpo. Un siguiente paso razonable es encontrar las diferencias  $x_2 - x_1$  e  $y_2 - y_1$ . La siguiente versión almacena esos valores en variables temporales y las imprime.

```
def distancia(x1, y1, x2, y2):
    dx = x2 - x1
    dy = y2 - y1
    print('dx es', dx)
    print('dy es', dy)
    return 0.0
```

Si la función está bien, debería mostrar `dx es 3` y `dy es 4`. Si es así, sabemos que la función obtiene los argumentos correctos y realiza el primer cálculo de manera correcta. Si no, solo hay que revisar unas pocas líneas.

Luego calculamos la suma de los cuadrados de `dx` y `dy`:

```
def distance(x1, y1, x2, y2):
    dx = x2 - x1
    dy = y2 - y1
    dcuadrado = dx**2 + dy**2
    print('dcuadrado es: ', dcuadrado)
    return 0.0
```

De nuevo, tendrías que ejecutar el programa en este punto y verificar la salida (que debería ser 25). Finalmente, puedes usar `math.sqrt` para calcular y devolver el resultado:

```
def distancia(x1, y1, x2, y2):
    dx = x2 - x1
    dy = y2 - y1
    dcuadrado = dx**2 + dy**2
    resultado = math.sqrt(dcuadrado)
    return resultado
```

Si eso funciona de manera correcta, estás listo. De lo contrario, tal vez quieras imprimir el valor de `resultado` antes de la sentencia `return`.

La versión final de la función no muestra nada cuando se ejecuta: solo devuelve un valor. Las sentencias `print` que escribimos son útiles para depurar, pero una vez que la función esté bien, deberías borrarlas. Un código como ese se llama **andamiaje** (en inglés, *scaffolding*) porque es útil para construir el programa pero no es parte del producto final.

Cuando empieces, deberías agregar solo una o dos líneas de código a la vez. A medida que ganes experiencia, podrías encontrarte escribiendo y depurando partes más grandes. De cualquier manera, el desarrollo incremental puede ahorrarte mucho tiempo de depuración.

Los aspectos clave del proceso son:

1. Comienza con un programa que funcione y haz pequeños cambios incrementales. En cualquier punto, si hay un error, deberías tener una buena idea de dónde está.
2. Utiliza variables que guarden valores intermedios de tal manera que puedas mostrarlos y verificarlos.
3. Una vez que el programa funciona, tal vez quieras borrar algo del andamiaje o consolidar varias sentencias en una expresión compuesta, pero solo si no hace al programa difícil de leer.

Como ejercicio, utiliza desarrollo incremental para escribir una función llamada *hipotenusa* que devuelva el largo de la hipotenusa de un triángulo rectángulo, dadas las longitudes de los otros dos lados como argumentos. Guarda cada etapa del proceso de desarrollo a medida que avances.

### 6.3. Composición

Como ya deberías esperar, puedes llamar a una función desde dentro de otra. Como ejemplo, escribiremos una función que tome dos puntos, el centro de un círculo y un punto de su perímetro, y calcule el área del círculo.

Supongamos que el punto central se almacena en las variables *xc* e *yc*, y el punto del perímetro está en *xp* e *yp*. El primer paso es encontrar el radio del círculo, que es la distancia entre los dos puntos. Acabamos de escribir una función, *distancia*, que hace eso:

```
radio = distancia(xc, yc, xp, yp)
```

El siguiente paso es encontrar el área de un círculo con ese radio; también escribimos eso:

```
resultado = area(radio)
```

Encapsulando estos pasos en una función, obtenemos:

```
def area_circulo(xc, yc, xp, yp):  
    radio = distancia(xc, yc, xp, yp)  
    resultado = area(radio)  
    return resultado
```

Las variables temporales *radio* y *resultado* son útiles para el desarrollo y la depuración, pero una vez que el programa funciona, podemos hacerlo más conciso componiendo las llamadas a funciones:

```
def area_circulo(xc, yc, xp, yp):  
    return area(distancia(xc, yc, xp, yp))
```

### 6.4. Funciones booleanas

Las funciones pueden devolver booleanos, lo cual es a menudo conveniente para ocultar pruebas complicadas dentro de las funciones. Por ejemplo:

```
def es_divisible(x, y):  
    if x % y == 0:  
        return True  
    else:  
        return False
```

Es común darle a las funciones booleanas nombres que suenen como preguntas sí/no; `es_divisible` devuelve `True` o `False` para indicar si `x` es divisible por `y`.

Aquí hay un ejemplo:

```
>>> es_divisible(6, 4)  
False  
>>> es_divisible(6, 3)  
True
```

El resultado del operador `==` es un booleano, así que podemos escribir la función de manera más concisa devolviéndolo directamente:

```
def es_divisible(x, y):  
    return x % y == 0
```

Las funciones booleanas se utilizan a menudo en las sentencias condicionales:

```
if es_divisible(x, y):  
    print('x es divisible por y')
```

Puede ser tentador escribir algo como:

```
if es_divisible(x, y) == True:  
    print('x es divisible por y')
```

Pero la comparación extra es innecesaria.

Como ejercicio, escribe una función `esta_entre(x, y, z)` que devuelva `True` si  $x \leq y \leq z$  o `False` si no.

## 6.5. Más recursividad

Hemos cubierto solo un pequeño subconjunto de Python, pero tal vez te interese saber que este subconjunto es un lenguaje de programación *completo*, lo cual significa que cualquier cosa que pueda ser calculada se puede expresar en este lenguaje. Cualquier programa alguna vez escrito puede ser reescrito utilizando solo las características del lenguaje que has aprendido hasta ahora (en realidad, necesitarías unos pocos comandos para controlar dispositivos como el mouse, discos, etc., pero eso es todo).

Probar ese aserto es un ejercicio no trivial realizado por primera vez por Alan Turing, uno de los primeros informáticos (algunos discuten que fue un matemático, pero muchos de los primeros informáticos comenzaron como matemáticos). En consecuencia, se conoce como Tesis de Turing. Para un tratamiento más completo (y preciso) de la Tesis de Turing, recomiendo el libro de Michael Sipser *Introduction to the Theory of Computation*.

Para darte una idea de lo que puedes hacer con las herramientas que has aprendido hasta ahora, evaluaremos algunas funciones matemáticas definidas de manera recursiva. Una definición recursiva es similar a una definición circular, en el sentido de que la definición contiene una referencia a lo que se está definiendo. Una definición verdaderamente circular no es muy útil:

**vorpal:** Un adjetivo utilizado para describir algo que es vorpal.

Si vieras esa definición en el diccionario, quizás te moleste. Por otra parte, si buscaras la definición de la función factorial, denotada con el símbolo  $!$ , podrías obtener algo así:

$$0! = 1$$

$$n! = n(n-1)!$$

Esta definición dice que el factorial de 0 es 1 y el factorial de cualquier otro valor,  $n$ , es  $n$  multiplicado por el factorial de  $n-1$ .

Así que  $3!$  es 3 por  $2!$ , lo cual es 2 por  $1!$ , lo cual es 1 por  $0!$ . Poniéndolo todo junto,  $3!$  es igual a 3 por 2 por 1 por 1, lo cual es 6.

Si puedes escribir una definición recursiva de algo, puedes escribir un programa en Python para evaluarla. El primer paso es decidir cuáles deberían ser los parámetros. En este caso, debería estar claro que `factorial` toma un entero:

```
def factorial(n):
```

Si el argumento es 0, todo lo que tenemos que hacer es devolver 1:

```
def factorial(n):
    if n == 0:
        return 1
```

De lo contrario, y esta es la parte interesante, tenemos que hacer una llamada recursiva para encontrar el factorial de  $n-1$  y luego multiplicarlo por  $n$ :

```
def factorial(n):
    if n == 0:
        return 1
    else:
        recur = factorial(n-1)
        resultado = n * recur
        return resultado
```

El flujo de ejecución para este programa es similar al flujo de `cuenta_reg` de la Sección 5.8. Si llamamos a `factorial` con el valor 3:

Dado que 3 no es 0, tomamos la segunda rama y calculamos el factorial de  $n-1$ ...

Dado que 2 no es 0, tomamos la segunda rama y calculamos el factorial de  $n-1$ ...

Dado que 1 no es 0, tomamos la segunda rama y calculamos el factorial de  $n-1$ ...

Dado que 0 es igual a 0, tomamos la primera rama y devolvemos 1 sin hacer más llamadas recursivas.

El valor de retorno, 1, se multiplica por  $n$ , que es 1, y se devuelve el resultado.

El valor de retorno, 1, se multiplica por  $n$ , que es 2, y se devuelve el resultado.

El valor de retorno (2) se multiplica por  $n$ , que es 3, y el resultado, 6, se convierte en el valor de retorno de la llamada a función que comenzó todo el proceso.

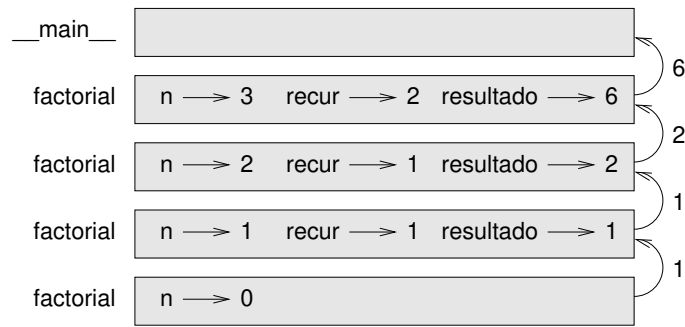


Figura 6.1: Diagrama de pila.

La Figura 6.1 muestra cómo se ve el diagrama de pila para esta sucesión de llamadas a función.

Los valores de retorno se muestran volviendo hacia arriba en la pila. En cada marco, el valor de retorno es el valor de resultado, que es el producto de  $n$  y  $\text{recur}$ .

En el último marco, las variables locales  $\text{recur}$  y  $\text{resultado}$  no existen, porque la rama que las crea no se ejecuta.

## 6.6. Salto de fe

Seguir el flujo de ejecución es una manera de leer programas, pero puede volverse abrumador rápidamente. Una alternativa es lo que yo llamo “salto de fe”. Cuando llegas a una llamada a función, en lugar de seguir el flujo de ejecución, *supones* que la función es correcta y que devuelve el resultado correcto.

De hecho, ya estás practicando este salto de fe cuando utilizas funciones incorporadas. Cuando llamas a `math.cos` o `math.exp`, no examinas los cuerpos de esas funciones. Sólo supones que funcionan porque las personas que escribieron las funciones incorporadas eran buenos programadores.

Lo mismo es verdad cuando llamas a una de tus propias funciones. Por ejemplo, en la Sección 6.4, escribimos una función llamada `es_divisible` que determina si un número es divisible por otro. Una vez que nos hemos convencido de que esta función es correcta —examinando el código y probándolo— podemos utilizar la función sin mirar el cuerpo otra vez.

Lo mismo es verdad para las funciones recursivas. Cuando llegues a la llamada recursiva, en lugar de seguir el flujo de ejecución, deberías suponer que la llamada recursiva funciona (devuelve el resultado correcto) y luego preguntarte: “suponiendo que puedo encontrar el factorial de  $n - 1$ , ¿puedo calcular el factorial de  $n$ ?” Está claro que puedes, multiplicando por  $n$ .

Desde luego, es un poco extraño suponer que la función hace lo correcto cuando no has terminado de escribirla, ¡pero es por eso que se llama salto de fe!

## 6.7. Un ejemplo más

Después de `factorial`, el ejemplo más común de una función matemática definida de manera recursiva es `fibonacci`, que tiene la siguiente definición (ver [http://en.wikipedia.org/wiki/Fibonacci\\_number](http://en.wikipedia.org/wiki/Fibonacci_number)):

$$\begin{aligned}\text{fibonacci}(0) &= 0 \\ \text{fibonacci}(1) &= 1 \\ \text{fibonacci}(n) &= \text{fibonacci}(n-1) + \text{fibonacci}(n-2)\end{aligned}$$

Traducido a Python, se ve así:

```
def fibonacci(n):
    if n == 0:
        return 0
    elif n == 1:
        return 1
    else:
        return fibonacci(n-1) + fibonacci(n-2)
```

Si intentas seguir el flujo de ejecución aquí, incluso para valores de  $n$  bastante pequeños, tu cabeza estalla. Sin embargo, de acuerdo al salto de fe, si supones que las dos llamadas recursivas funcionan correctamente, entonces está claro que obtienes el resultado correcto al sumarlas.

## 6.8. Verificar tipos

¿Qué ocurre si llamamos a `factorial` y le entregamos 1.5 como argumento?

```
>>> factorial(1.5)
RuntimeError: Maximum recursion depth exceeded
```

Se ve como una recursividad infinita. ¿Cómo puede ser? La función tiene un caso base: cuando  $n == 0$ . Pero si  $n$  no es un entero, podemos *perder* el caso base y seguir con la recursividad sin parar.

En la primera llamada recursiva, el valor de  $n$  es 0.5. En la siguiente, es -0.5. Desde allí, se hace menor (más negativo), pero nunca será 0.

Tenemos dos opciones. Podemos intentar generalizar la función `factorial` para que funcione con números de coma flotante o podemos hacer que `factorial` verifique el tipo de sus argumentos. La primera opción se llama la función `gamma` y está un poco más allá del alcance de este libro. Entonces iremos por la segunda.

Podemos utilizar la función incorporada `isinstance` para verificar el tipo del argumento. Mientras estemos en ello, podemos también asegurarnos de que el argumento sea positivo:

```
def factorial(n):
    if not isinstance(n, int):
        print('El factorial solo está definido para enteros.')
        return None
    elif n < 0:
```



```
        print('El factorial no está definido para enteros negativos.')
        return None
    elif n == 0:
        return 1
    else:
        return n * factorial(n-1)
```

El primer caso base se encarga de los no enteros; el segundo se encarga de los enteros negativos. En ambos casos, el programa imprime un mensaje de error y devuelve None para indicar que algo anduvo mal:

```
>>> print(factorial('fred'))
El factorial solo está definido para enteros.
None
>>> print(factorial(-2))
El factorial no está definido para enteros negativos.
None
```

Si pasamos ambas verificaciones, sabemos que  $n$  es un entero no negativo, por lo que podemos probar que la recursividad termina.

Este programa demuestra un patrón a veces llamado **guardián**. Los primeros dos condicionales actúan como guardianes, protegiendo el código que sigue de valores que podrían provocar un error. Los guardianes hacen posible probar la exactitud del código.

En la Sección 11.4 veremos una alternativa más flexible que imprime un mensaje de error: plantear una excepción.

## 6.9. Depuración

Separar un programa grande en funciones pequeñas crea puntos de control naturales para la depuración. Si una función no está funcionando, hay tres posibilidades a considerar:

- Hay algo mal en los argumentos que obtiene la función: se viola una precondition.
- Hay algo mal en la función: se viola una postcondición.
- Hay algo mal en el valor de retorno o la manera en que se utiliza.

Para descartar la primera posibilidad, puedes agregar una sentencia `print` al comienzo de la función y mostrar los valores de los parámetros (y quizás sus tipos). O bien puedes escribir código que verifique las precondiciones de manera explícita.

Si los parámetros se ven bien, agrega una sentencia `print` antes de cada sentencia `return` y muestra el valor de retorno. Si es posible, verifica el resultado a mano. Considera llamar a la función con valores que faciliten la verificación del resultado (como en la Sección 6.2).

Si la función parece funcionar, mira la llamada a función para asegurarte de que el valor de retorno se esté utilizando correctamente (¡o si al menos se está utilizando!).

Agregar sentencias `print` al comienzo y al final de una función puede ayudar a hacer más visible el flujo de ejecución. Por ejemplo, aquí hay una versión de `factorial` con sentencias `print`:

```
def factorial(n):
    espacio = ' ' * (4 * n)
    print(espacio, 'factorial', n)
    if n == 0:
        print(espacio, 'devolviendo 1')
        return 1
    else:
        recursivo = factorial(n-1)
        resultado = n * recursivo
        print(espacio, 'devolviendo', resultado)
        return resultado
```

espacio es una cadena de caracteres de espacio que controla la sangría de la salida. Este es el resultado de factorial(4) :

```
        factorial 4
      factorial 3
    factorial 2
  factorial 1
factorial 0
devolviendo 1
  devolviendo 1
    devolviendo 2
      devolviendo 6
        devolviendo 24
```

Si estás confundido acerca del flujo de ejecución, este tipo de salidas puede ser útil. Desarrollar andamiaje eficaz toma algo de tiempo, pero un poco de andamiaje puede ahorrar mucha depuración.

## 6.10. Glosario

**variable temporal:** Una variable utilizada para almacenar un valor intermedio en una computación compleja.

**código muerto:** Parte de un programa que nunca se ejecuta, a menudo debido a que aparece después de una sentencia return.

**desarrollo incremental:** Un plan de desarrollo de programa destinado a evitar la depuración agregando y probando solo un pedazo de código a la vez.

**andamiaje:** Código que se utiliza durante el desarrollo de un programa pero no es parte de la versión final.

**guardián:** Un patrón de programación que utiliza una sentencia condicional para verificar y encargarse de circunstancias que podrían provocar un error.

## 6.11. Ejercicios

**Ejercicio 6.1.** *Dibuja un diagrama de pila para el siguiente programa. ¿Qué imprime el programa?*

```
def b(z):
    prod = a(z, z)
    print(z, prod)
    return prod

def a(x, y):
    x = x + 1
    return x * y

def c(x, y, z):
    total = x + y + z
    cuadrado = b(total)**2
    return cuadrado

x = 1
y = x + 1
print(c(x, y+3, x+y))
```

**Ejercicio 6.2.** La función de Ackermann,  $A(m, n)$ , se define:

$$A(m, n) = \begin{cases} n + 1 & \text{si } m = 0 \\ A(m - 1, 1) & \text{si } m > 0 \text{ y } n = 0 \\ A(m - 1, A(m, n - 1)) & \text{si } m > 0 \text{ y } n > 0. \end{cases}$$

Ver [http://en.wikipedia.org/wiki/Ackermann\\_function](http://en.wikipedia.org/wiki/Ackermann_function). Escribe una función con nombre `ack` que evalúe la función de Ackermann. Utiliza tu función para evaluar `ack(3, 4)`, que debería ser 125. ¿Qué ocurre para valores más grandes de  $m$  y  $n$ ? Solución: <http://thinkpython2.com/code/ackermann.py>.

**Ejercicio 6.3.** Un palíndromo es una palabra que se deletrea igual hacia atrás y hacia adelante, como “noon” y “redivider”. De manera recursiva, una palabra es un palíndromo si la primera y la última letra son la misma y el medio es un palíndromo.

Las siguientes son funciones que toman una cadena como argumento y devuelven las letras primera, última y del medio:

```
def primera(palabra):
    return palabra[0]

def ultima(palabra):
    return palabra[-1]

def medio(palabra):
    return palabra[1:-1]
```

Veremos cómo funcionan en el Capítulo 8.

1. Escribe estas funciones en un archivo con nombre `palindromo.py` y pruébalas. ¿Qué ocurre si llamas a `medio` con una cadena de dos letras? ¿De una letra? ¿Qué pasa con la cadena vacía, la cual se escribe `''` y no contiene letras?
2. Escribe una función llamada `es_palindromo` que tome una cadena como argumento y devuelva `True` si es un palíndromo y `False` si no. Recuerda que puedes utilizar la función incorporada `len` para verificar la longitud de una cadena.

Solución: [http://thinkpython2.com/code/palindrome\\_soln.py](http://thinkpython2.com/code/palindrome_soln.py).

**Ejercicio 6.4.** Un número,  $a$ , es potencia de  $b$  si es divisible por  $b$  y además  $a/b$  es potencia de  $b$ . Escribe una función llamada `es_potencia` que tome parámetros  $a$  y  $b$  y devuelva `True` si  $a$  es potencia de  $b$ . Nota: tendrás que pensar en el caso base.

**Ejercicio 6.5.** El máximo común divisor (MCD) de  $a$  y  $b$  es el número más grande que divide a ambos sin obtener resto.

Una manera de encontrar el MCD de dos números está basada en la observación de que si  $r$  es el resto de dividir  $a$  por  $b$ , entonces  $\text{mcd}(a, b) = \text{mcd}(b, r)$ . Como caso base, podemos utilizar  $\text{mcd}(a, 0) = a$ .

Escribe una función llamada `mcd` que tome parámetros  $a$  y  $b$  y devuelva su máximo común divisor.

Crédito: Este ejercicio está basado en un ejemplo de *Structure and Interpretation of Computer Programs* de Abelson y Sussman.

# Capítulo 7

## Iteración

Este capítulo trata sobre la iteración, que es la capacidad de ejecutar un bloque de sentencias de forma repetida. Vimos un tipo de iteración, utilizando recursividad, en la Sección 5.8. Vimos otro tipo, utilizando un bucle `for`, en la Sección 4.2. En este capítulo veremos otro tipo, utilizando una sentencia `while`. Pero primero quiero contar un poco más sobre la asignación de variables.

### 7.1. Reasignación

Como habrás descubierto, es legal hacer más de una asignación a la misma variable. Una nueva asignación hace que una variable existente se refiera a un nuevo valor (y deje de referirse al valor antiguo).

```
>>> x = 5
>>> x
5
>>> x = 7
>>> x
7
```

La primera vez que mostramos `x`, su valor es 5; la segunda vez, su valor es 7.

La Figura 7.1 muestra cómo se ve una **reasignación** en un diagrama de estado.

En este punto quiero abordar un origen común de confusión. Debido a que Python utiliza el signo igual (=) para la asignación, es tentador interpretar una sentencia del tipo `a = b` como una proposición matemática de igualdad, es decir, la afirmación de que `a` y `b` son iguales. Sin embargo, esta interpretación es incorrecta.

Primero, la igualdad es una relación simétrica y la asignación no lo es. Por ejemplo, en matemáticas, si  $a = 7$  entonces  $7 = a$ . Pero en Python, la sentencia `a = 7` es legal y `7 = a` no lo es.

Además, en matemáticas, una proposición de igualdad es verdadera o falsa todo el tiempo. Si  $a = b$  ahora, entonces  $a$  siempre será igual a  $b$ . En Python, una sentencia de asignación puede igualar dos variables, pero no tienen que permanecer iguales:



Figura 7.1: Diagrama de estado.

```
>>> a = 5
>>> b = a    # a y b son iguales ahora
>>> a = 3    # a y b ya no son iguales
>>> b
5
```

La tercera línea cambia el valor de `a` pero no cambia el valor de `b`, por lo que ya no son iguales.

La reasignación de variables es a menudo útil, pero deberías utilizarla con precaución. Si los valores de las variables cambian frecuentemente, puede hacer que el código sea difícil de leer y depurar.

## 7.2. Actualizar variables

Un tipo común de reasignación es la **actualización**, donde el nuevo valor de la variable depende del antiguo.

```
>>> x = x + 1
```

Esto significa “obten el valor actual de `x`, suma uno, y luego actualiza a `x` con el nuevo valor.”

Si intentas actualizar una variable que no existe, obtienes un error, debido a que Python evalúa el lado derecho antes de asignar un valor a `x`:

```
>>> x = x + 1
NameError: name 'x' is not defined
```

Antes de que puedas actualizar una variable, la tienes que **inicializar**, generalmente con una asignación simple:

```
>>> x = 0
>>> x = x + 1
```

Actualizar una variable sumando 1 se llama **incremento**; restar 1 se llama **decremento**.

## 7.3. La sentencia `while`

Los computadores a menudo se utilizan para automatizar tareas repetitivas. Repetir tareas idénticas o similares sin cometer errores es algo que los computadores hacen bien y las personas hacen mal. En un programa de computador, la repetición también se llama **iteración**.

Ya hemos visto dos funciones, `cuenta_reg` e `imprimir_n`, que iteran utilizando recursividad. Debido a que la iteración es tan común, Python proporciona características del lenguaje que la hacen más fácil. Una es la sentencia `for` que vimos en la Sección 4.2. Volveremos a eso más adelante.

Otra es la sentencia while. Aquí hay una versión de cuenta\_reg que utiliza una sentencia while:

```
def cuenta_reg(n):
    while n > 0:
        print(n)
        n = n - 1
    print('¡Despegue!')
```

Casi puedes leer la sentencia while como si fuera inglés. Significa, “Mientras n sea mayor que 0, muestra el valor de n y luego decrementa n. Cuando llegues a 0, muestra la palabra ¡Despegue!”

De manera más formal, aquí está el flujo de ejecución para una sentencia while:

1. Determinar si la condición es verdadera o falsa.
2. Si es falsa, salir de la sentencia while y continuar con la ejecución de la siguiente sentencia.
3. Si la condición es verdadera, ejecutar el cuerpo y luego volver al paso 1.

Este tipo de flujo se llama bucle porque el tercer paso hace que vuelva hacia arriba.

El cuerpo del bucle debería cambiar el valor de una o más variables de modo que la condición se vuelva falsa eventualmente y el bucle termine. De lo contrario, el bucle se repetirá por siempre, lo cual se llama **bucle infinito**. Una fuente interminable de diversión para informáticos es la observación de que las instrucciones en un champú, “Enjabonar, enjuagar, repetir”, son un bucle infinito.

En el caso de cuenta\_reg, podemos probar que el bucle termina: si n es cero o negativo, el bucle nunca se ejecuta. De lo contrario, n se hace más pequeño cada vez que se pasa por el bucle, por lo que eventualmente tenemos que llegar a 0.

Para otros bucles, no es tan fácil decirlo. Por ejemplo:

```
def sucesion(n):
    while n != 1:
        print(n)
        if n % 2 == 0:          # n es par
            n = n / 2
        else:                  # n es impar
            n = n*3 + 1
```

La condición para este bucle es  $n \neq 1$ , así que el bucle continuará hasta que n sea 1, lo cual hace que la condición sea falsa.

En cada paso por el bucle, el programa muestra el valor de n y luego verifica si es par o impar. Si es par, n se divide por 2. Si es impar, el valor de n se reemplaza por  $n*3 + 1$ . Por ejemplo, si el argumento pasado a sucesion es 3, los valores resultantes de n son 3, 10, 5, 16, 8, 4, 2, 1.

Dado que n a veces aumenta y a veces disminuye, no hay demostración obvia de que n alcanzará el 1 alguna vez, o de que el programa termina. Para algunos valores particulares de n, podemos probar que termina. Por ejemplo, si el valor inicial es una potencia de dos,

$n$  será par cada vez que se pase por el bucle hasta que alcance el 1. El ejemplo anterior termina con tal sucesión, comenzando con 16.

La pregunta difícil es si podemos probar que este programa termina para *todos* los valores positivos de  $n$ . Hasta ahora, ¡nadie ha sido capaz de probarlo o refutarlo! (Ver [http://en.wikipedia.org/wiki/Collatz\\_conjecture](http://en.wikipedia.org/wiki/Collatz_conjecture).)

Como ejercicio, reescribe la función `print_n` de la Sección 5.8 utilizando iteración en lugar de recursividad.

## 7.4. break

A veces no sabes que es momento de terminar un bucle hasta que llegas a la mitad del cuerpo. En ese caso puedes utilizar la sentencia `break` para saltar hacia afuera del bucle.

Por ejemplo, supongamos que quieres tomar la entrada del usuario hasta que se escriba listo. Podrías escribir:

```
while True:
    linea = input('> ')
    if linea == 'listo':
        break
    print(linea)
```

```
print('¡Listo!')
```

La condición del bucle es `True`, lo cual siempre es verdadero, así que el bucle se ejecuta hasta que llega a la sentencia `break`.

En cada paso, solicita la entrada del usuario con un paréntesis angular. Si el usuario escribe `listo`, la sentencia `break` hace que se salga del bucle. De lo contrario, el programa repite lo que escriba el usuario y regresa a la parte superior del bucle. Aquí hay una ejecución de muestra:

```
> no listo
no listo
> listo
¡Listo!
```

Esta forma de escribir bucles `while` es común porque puedes verificar la condición en cualquier lugar del bucle (no solo en la parte superior) y puedes expresar la condición de detención de manera afirmativa (“detente cuando esto ocurra”) en lugar de negativa (“continúa hasta que eso no ocurra”).

## 7.5. Raíces cuadradas

Los bucles se utilizan a menudo en programas que calculan resultados numéricos iniciando con una respuesta aproximada y mejorándola iterativamente.

Por ejemplo, una manera de calcular raíces cuadradas es el método de Newton. Supongamos que quieres saber la raíz cuadrada de  $a$ . Si comienzas con casi cualquier estimación,  $x$ , puedes calcular una mejor estimación con la siguiente fórmula:



$$y = \frac{x + a/x}{2}$$

Por ejemplo, si  $a$  es 4 y  $x$  es 3:

```
>>> a = 4
>>> x = 3
>>> y = (x + a/x) / 2
>>> y
2.16666666667
```

El resultado está más cerca de la respuesta correcta ( $\sqrt{4} = 2$ ). Si repetimos el proceso con una nueva estimación, se acerca aún más:

```
>>> x = y
>>> y = (x + a/x) / 2
>>> y
2.00641025641
```

Después de algunas actualizaciones más, la estimación es casi exacta:

```
>>> x = y
>>> y = (x + a/x) / 2
>>> y
2.00001024003
>>> x = y
>>> y = (x + a/x) / 2
>>> y
2.00000000003
```

En general, no sabemos de antemano cuántos pasos toma llegar a la respuesta correcta, pero sabemos cuándo la obtenemos porque la estimación deja de cambiar:

```
>>> x = y
>>> y = (x + a/x) / 2
>>> y
2.0
>>> x = y
>>> y = (x + a/x) / 2
>>> y
2.0
```

Cuando  $y == x$ , podemos parar. Aquí hay un bucle que comienza con una estimación inicial,  $x$ , y la mejora hasta que deja de cambiar:

```
while True:
    print(x)
    y = (x + a/x) / 2
    if y == x:
        break
    x = y
```

Para la mayoría de los valores de  $a$  esto funciona bien, pero en general es peligroso probar la igualdad de números `float`. Los valores de coma flotante son solo aproximadamente correctos: la mayoría de los números racionales, como  $1/3$ , y los números irracionales, como  $\sqrt{2}$ , no se pueden representar de manera exacta con un `float`.

En lugar de verificar si  $x$  e  $y$  son exactamente iguales, es más seguro utilizar la función `abs` para calcular el valor absoluto, o magnitud, de la diferencia entre estos:

```
if abs(y-x) < epsilon:  
    break
```

donde `epsilon` tiene un valor como 0.0000001 que determina qué tan cerca es lo suficientemente cerca.

## 7.6. Algoritmos

El método de Newton es un ejemplo de **algoritmo**: es un proceso mecánico para resolver una categoría de problemas (en este caso, calcular raíces cuadradas).

Para entender qué es un algoritmo, quizás ayude comenzar con algo que no es un algoritmo. Cuando aprendiste a multiplicar números de un solo dígito, probablemente memorizaste la tabla de multiplicar. En realidad, memorizaste 100 soluciones específicas. Esa clase de conocimiento no es algorítmica.

Pero si eras “perezoso”, podrías haber aprendido algunos trucos. Por ejemplo, para encontrar el producto de  $n$  y 9, puedes escribir  $n - 1$  como el primer dígito y  $10 - n$  como el segundo dígito. Este truco es una solución general para multiplicar cualquier número de un solo dígito por 9. ¡Eso es un algoritmo!

Del mismo modo, las técnicas que aprendiste para la suma con reserva, resta con préstamo y división larga son todas algoritmos. Una de las características de los algoritmos es que no requieren ninguna inteligencia para realizarlos. Son procesos mecánicos donde cada paso sigue al último de acuerdo a un conjunto simple de reglas.

Ejecutar algoritmos es aburrido, pero diseñarlos es interesante, intelectualmente desafiante y una parte central de las ciencias de la computación.

Algunas de las cosas que las personas hacen de manera natural, sin dificultad o pensamiento consciente, son las más difíciles de expresar de manera algorítmica. Entender un lenguaje natural es un buen ejemplo. Todos lo hacemos, pero hasta ahora nadie ha sido capaz de explicar *cómo* lo hacemos, al menos no en la forma de un algoritmo.

## 7.7. Depuración

A medida que comiences a escribir programas más grandes, podrías encontrarte ocupando más tiempo en la depuración. Más código significa más posibilidades de cometer un error y más lugares para esconder errores de programación.

Una manera de acortar tu tiempo de depuración es la “depuración por bisección”. Por ejemplo, si hay 100 líneas en tu programa y las revisas una a la vez, tomaría 100 pasos.

En cambio, intenta separar el problema por la mitad. Mira la mitad del programa, o cerca de esta, para un valor intermedio que puedas verificar. Agrega una sentencia `print` (o algo más que tenga un efecto verificable) y ejecuta el programa.

Si la verificación en el punto medio es incorrecta, debe haber un problema en la primera mitad del programa. Si es correcta, el problema está en la segunda mitad.

Cada vez que hagas una verificación como esta, reduces a la mitad el número de líneas que tienes que buscar. Después de seis pasos (lo cual es menos que 100), estarías revisando una o dos líneas de código, al menos en teoría.

En la práctica, no siempre está claro cuál es “la mitad del programa” y no siempre es posible verificarla. No tiene sentido contar líneas y encontrar el punto medio exacto. En cambio, piensa en lugares del programa donde podría haber errores y lugares donde es fácil poner una verificación. Luego, escoge un sitio donde creas que las posibilidades de que el error esté antes o después de la verificación son casi las mismas.

## 7.8. Glosario

**reasignación:** Asignar un nuevo valor a una variable que ya existe.

**actualización:** Una asignación donde el nuevo valor de una variable depende del antiguo.

**inicialización:** Una asignación que le da un valor inicial a una variable que será actualizada.

**incremento:** Una actualización que aumenta el valor de una variable (generalmente en una unidad).

**decremento:** Una actualización que disminuye el valor de una variable.

**iteración:** Ejecución repetida de un conjunto de sentencias utilizando una llamada a función recursiva o un bucle.

**bucle infinito:** Un bucle cuya condición para terminar nunca se satisface.

**algoritmo:** Un proceso general para resolver una categoría de problemas.

## 7.9. Ejercicios

**Ejercicio 7.1.** Copia el bucle de la Sección 7.5 y encapsúlalo en una función llamada `mi_sqrt` que tome `a` como parámetro, escoja un valor razonable de `x` y devuelva una estimación de la raíz cuadrada de `a`.

Para probarla, escribe una función con nombre `probar_raiz_cuadrada` que imprima una tabla como esta:

<code>a</code>	<code>mi_sqrt(a)</code>	<code>math.sqrt(a)</code>	diferencia
-	-----	-----	-----
1.0	1.0	1.0	0.0
2.0	1.41421356237	1.41421356237	2.22044604925e-16
3.0	1.73205080757	1.73205080757	0.0
4.0	2.0	2.0	0.0
5.0	2.2360679775	2.2360679775	0.0
6.0	2.44948974278	2.44948974278	0.0
7.0	2.64575131106	2.64575131106	0.0
8.0	2.82842712475	2.82842712475	4.4408920985e-16
9.0	3.0	3.0	0.0

La primera columna es un número, `a`; la segunda columna es la raíz cuadrada de `a` calculada con `mi_sqrt`; la tercera columna es la raíz cuadrada calculada por `math.sqrt`; la cuarta columna es el valor absoluto de la diferencia entre las dos estimaciones.

**Ejercicio 7.2.** La función incorporada `eval` toma una cadena y la evalúa utilizando el intérprete de Python. Por ejemplo:

```
>>> eval('1 + 2 * 3')
7
>>> import math
>>> eval('math.sqrt(5)')
2.2360679774997898
>>> eval('type(math.pi)')
<class 'float'>
```

Escribe una función llamada `bucle_eval` que, de manera iterativa, solicite la entrada del usuario, tome la entrada resultante y la evalúe utilizando `eval`, e imprima el resultado.

Debería continuar hasta que el usuario ingrese 'listo' y luego devuelva el valor de la última expresión que evaluó.

**Ejercicio 7.3.** El matemático Srinivasa Ramanujan encontró una serie infinita que se puede utilizar para generar una aproximación numérica de  $1/\pi$ :

$$\frac{1}{\pi} = \frac{2\sqrt{2}}{9801} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(4k)!(1103 + 26390k)}{(k!)^4 396^{4k}}$$

Escribe una función llamada `estimacion_pi` que utilice esta fórmula para calcular y devolver una estimación de  $\pi$ . Debería utilizar un bucle `while` para calcular términos de la sumatoria hasta que el último término sea más pequeño que  $1\text{e-}15$  (que es la notación de Python para  $10^{-15}$ ). Puedes verificar el resultado comparándolo con `math.pi`.

Solución: <http://thinkpython2.com/code/pi.py>.

# Capítulo 8

## Cadenas

Las cadenas no son como los enteros, los números de coma flotante y los booleanos. Una cadena es una **secuencia**, lo cual significa que es una colección ordenada de valores. En este capítulo verás cómo acceder a los caracteres que forman una cadena y aprenderás sobre algunos de los métodos que proporcionan las cadenas.

### 8.1. Una cadena es una secuencia

Una cadena es una secuencia de caracteres. Puedes acceder a los caracteres uno a la vez con el operador de corchetes:

```
>>> fruta = 'banana'
>>> letra = fruta[1]
```

La segunda sentencia selecciona el carácter número 1 de fruta y lo asigna a letra.

La expresión en los corchetes se llama **índice**. El índice indica cuál carácter en la secuencia quieres (de ahí el nombre).

Sin embargo, lo que obtienes podría no ser lo que esperas:

```
>>> letra
'a'
```

Para la mayoría de las personas, la primera letra de 'banana' es b, no a. Pero para los informáticos, el índice es un desplazamiento desde el comienzo de la cadena, y el desplazamiento de la primera letra es cero.

```
>>> letra = fruta[0]
>>> letra
'b'
```

Entonces b es la 0-ésima letra (“cero-ésima”) de 'banana', a es la 1-ésima letra (“uno-ésima”) y n es la 2-ésima letra (“dos-ésima”).

Como índice, puedes utilizar una expresión que contenga variables y operadores:

```
>>> i = 1
>>> fruta[i]
```

```
'a'
>>> fruta[i+1]
'n'
```

Pero el valor del índice tiene que ser un entero. De lo contrario, obtienes:

```
>>> letra = fruta[1.5]
TypeError: string indices must be integers
```

## 8.2. len

`len` es una función incorporada que devuelve el número de caracteres en una cadena:

```
>>> fruta = 'banana'
>>> len(fruta)
6
```

Para obtener la última letra de una cadena, quizás te tientes a intentar algo así:

```
>>> longitud = len(fruta)
>>> ultima = fruta[longitud]
IndexError: string index out of range
```

El motivo del `IndexError` es que no hay letra en 'banana' con el índice 6. Dado que comenzamos a contar desde cero, las seis letras se enumeran del 0 al 5. Para obtener el último carácter, tienes que restar 1 a longitud:

```
>>> ultima = fruta[longitud-1]
>>> ultima
'a'
```

O bien puedes utilizar índices negativos, que cuentan hacia atrás desde el final de la cadena. La expresión `fruta[-1]` entrega la última letra, `fruta[-2]` entrega la penúltima, y así sucesivamente.

## 8.3. Recorrido con un bucle for

Muchas computaciones implican procesar una cadena trabajando un carácter a la vez. Generalmente parten al comienzo, seleccionan cada carácter en turno, le hacen algo, y continúan hasta el final. Este patrón de procesamiento se llama **recorrido**. Una manera de escribir un recorrido es con un bucle `while`:

```
indice = 0
while indice < len(fruta):
    letra = fruta[indice]
    print(letra)
    indice = indice + 1
```

Este bucle recorre la cadena y muestra cada letra en una línea. La condición del bucle es `indice < len(fruta)`, entonces cuando `indice` es igual a la longitud de la cadena, la condición es falsa y el cuerpo del bucle no se ejecuta. El último carácter accedido es el que tiene índice `len(fruta)-1`, que es el último carácter en la cadena.

Como ejercicio, escribe una función que tome una cadena como argumento y muestre las letras hacia atrás, una por línea.

Otra manera de escribir un recorrido es con un bucle `for`:

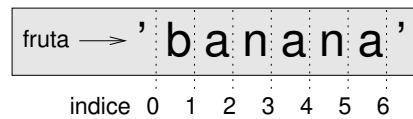


Figura 8.1: Índices de trozo.

```
for letra in fruta:
    print(letra)
```

En cada paso por el bucle, el siguiente carácter en la cadena se asigna a la variable `letra`. El bucle continúa hasta que no queden caracteres.

El siguiente ejemplo muestra cómo utilizar la concatenación (suma de cadenas) y un bucle `for` para generar una serie abecedaria (es decir, en orden alfabético). En el libro de Robert McCloskey *Abran paso a los patitos*, los nombres de los patitos son Jack, Kack, Lack, Mack, Nack, Ouack, Pack, and Quack. Este bucle muestra dichos nombres en orden:

```
prefijos = 'JKLMNOPQ'
sufijo = 'ack'

for letra in prefijos:
    print(letra + sufijo)
```

La salida es:

```
Jack
Kack
Lack
Mack
Nack
Ouack
Pack
Quack
```

Desde luego, eso no es del todo correcto porque “Ouack” y “Quack” están mal escritos. Como ejercicio, modifica el programa para arreglar este error.

## 8.4. Trozos de cadena

Un segmento de una cadena se llama **trozo** (en inglés, *slice*). Seleccionar un trozo es similar a seleccionar un carácter:

```
>>> s = 'Monty Python'
>>> s[0:5]
'Monty'
>>> s[6:12]
'Python'
```

El operador `[n:m]` devuelve la parte de la cadena desde el “n-ésimo” carácter al “m-ésimo” carácter, incluyendo el primero pero excluyendo el último. Este comportamiento es contraintuitivo, pero tal vez ayude imaginar los índices apuntando *entre* los caracteres, como en la Figura 8.1.

Si omites el primer índice (antes del signo de dos puntos), el trozo comienza al principio de la cadena. Si omites el segundo índice, el trozo llega hasta el final de la cadena:

```
>>> fruta = 'banana'
>>> fruta[:3]
'ban'
>>> fruta[3:]
'ana'
```

Si el primer índice es mayor o igual al segundo, el resultado es una **cadena vacía**, representada por dos comillas:

```
>>> fruta = 'banana'
>>> fruta[3:3]
''
```

Una cadena vacía no contiene caracteres y tiene longitud 0, pero aparte de eso, es lo mismo que cualquier otra cadena.

Continuando con este ejemplo, ¿qué crees que significa `fruta[:]`? Pruébalo y mira.

## 8.5. Las cadenas son inmutables

Es tentador utilizar el operador `[]` en el lado izquierdo de una asignación, con la intención de cambiar un carácter en una cadena. Por ejemplo:

```
>>> saludo = 'Hola, mundo'
>>> saludo[0] = 'J'
TypeError: 'str' object does not support item assignment
```

El “objeto” en este caso es la cadena y el “ítem” es el carácter que intentaste asignar. Por ahora, un objeto es lo mismo que un valor, pero refinaremos esa definición más adelante (Sección 10.10).

La razón del error es que las cadenas son **inmutables**, lo cual significa que no puedes cambiar una cadena que ya existe. Lo mejor que puedes hacer es crear una nueva cadena que sea una variación de la original:

```
>>> saludo = 'Hola, mundo'
>>> nuevo_saludo = 'J' + saludo[1:]
>>> nuevo_saludo
'Jola, mundo'
```

Este ejemplo concatena una nueva primera letra con un trozo de saludo. No tiene efecto en la cadena original.

## 8.6. Buscar

¿Qué hace la siguiente función?

```
def encontrar(palabra, letra):
    indice = 0
    while indice < len(palabra):
        if palabra[indice] == letra:
            return indice
        indice = indice + 1
    return -1
```



En un sentido, encontrar es la inversa del operador []. En lugar de tomar un índice y extraer el carácter correspondiente, toma un carácter y encuentra el índice donde aparece ese carácter. Si el carácter no se encuentra, la función devuelve -1.

Este es el primer ejemplo que hemos visto de una sentencia return dentro de un bucle. Si palabra[indice] == letra, la función se sale del bucle y devuelve inmediatamente.

Si el carácter no aparece en la cadena, el programa termina el bucle de manera normal y devuelve -1.

Este patrón de computación —recorrer una secuencia y devolver cuando encontramos lo que buscamos— se llama **búsqueda**.

Como ejercicio, modifica encontrar para que tenga un tercer parámetro: el índice en palabra donde debería comenzar la búsqueda.

## 8.7. Bucles y conteo

El siguiente programa cuenta el número de veces que aparece la letra a en una cadena:

```
palabra = 'banana'
contar = 0
for letra in palabra:
    if letra == 'a':
        contar = contar + 1
print(contar)
```

Este programa demuestra otro patrón de computación llamado **contador**. La variable contar se inicializa en 0 y luego se incrementa cada vez que se encuentra una a. Cuando el bucle termina, contar contiene el resultado: el número total de letras a.

Como ejercicio, encapsula este código en una función con nombre contar y generalízalo para que acepte la cadena y la letra como argumentos.

Luego reescribe la función de modo que, en lugar de recorrer la cadena, utilice la versión de tres parámetros de encontrar de la sección anterior.

## 8.8. Métodos de cadena

Las cadenas proporcionan métodos que realizan una variedad de operaciones útiles. Un método es similar a una función —toma argumentos y devuelve un valor— pero la sintaxis es diferente. Por ejemplo, el método upper toma una cadena y devuelve una nueva cadena con todas las letras mayúsculas.

En lugar de la sintaxis de función upper(palabra), utiliza la sintaxis de método palabra.upper().

```
>>> palabra = 'banana'
>>> nueva_palabra = palabra.upper()
>>> nueva_palabra
'BANANA'
```

Esta forma de notación de punto especifica el nombre del método, `upper`, y el nombre de la cadena a la cual se le aplica el método, `palabra`. Los paréntesis vacíos indican que este método no toma argumentos.

Una llamada a un método se llama **invocación**; en este caso, diríamos que estamos invocando a `upper` en `palabra`.

Resulta que hay un método de cadena con nombre `find` que es notablemente similar a la función `encontrar` que escribimos:

```
>>> palabra = 'banana'
>>> indice = palabra.find('a')
>>> indice
1
```

En este ejemplo, invocamos a `find` en `palabra` y pasamos la letra que buscamos como parámetro.

En realidad, el método `find` es más general que nuestra función; puede encontrar subcadenas, no solo caracteres:

```
>>> palabra.find('na')
2
```

Por defecto, `find` comienza al principio de la cadena, pero puede tomar un segundo argumento, el índice donde debería comenzar:

```
>>> palabra.find('na', 3)
4
```

Este es un ejemplo de **argumento opcional**; `find` puede tomar también un tercer argumento, el índice donde debería detenerse:

```
>>> nombre = 'bob'
>>> nombre.find('b', 1, 2)
-1
```

Esta búsqueda falla porque `b` no aparece en el rango de índices desde 1 hasta 2, sin incluir el 2. Buscar hasta el segundo índice, sin incluirlo, hace a `find` consistente con el operador de trozo.

## 8.9. El operador `in`

La palabra `in` es un operador booleano que toma dos cadenas y devuelve `True` si la primera aparece como una subcadena en la segunda:

```
>>> 'a' in 'banana'
True
>>> 'semilla' in 'banana'
False
```

Por ejemplo, la siguiente función imprime todas las letras de `palabra1` que también aparecen en `palabra2`:

```
def en_ambas(palabra1, palabra2):
    for letra in palabra1:
        if letra in palabra2:
            print(letra)
```

Con nombres de variables bien escogidos, Python a veces se lee como el inglés. Podrías leer este bucle, “*para* (cada) letra *en* (la primera) palabra, *si* (la) letra (aparece) *en* (la segunda) palabra, *imprimir* (la) letra.”

Esto es lo que obtienes si comparas uvas y tunas:

```
>>> en_ambas('uvas', 'tunas')
u
a
s
```

## 8.10. Comparación de cadenas

Los operadores relacionales funcionan en las cadenas. Para ver si dos cadenas son iguales:

```
if palabra == 'banana':
    print('Todo bien, bananas.')
```

Otras operaciones relacionales son útiles para poner palabras en orden alfabético:

```
if palabra < 'banana':
    print('Tu palabra, ' + palabra + ', viene antes de banana.')
elif palabra > 'banana':
    print('Tu palabra, ' + palabra + ', viene después de banana.')
else:
    print('Todo bien, bananas.')
```

Python no maneja letras mayúsculas y minúsculas de la misma manera en que lo hacen las personas. Todas las letras mayúsculas vienen antes de todas las letras minúsculas, entonces:

Tu palabra, Piña, viene antes de banana.

Una manera común de abordar este problema es convertir las cadenas a un formato estándar, por ejemplo todas minúsculas, antes de realizar la comparación. Ten eso en mente en caso de que tengas que defenderte de un hombre armado con una Piña.

## 8.11. Depuración

Cuando utilizas índices para recorrer los valores en una secuencia, es difícil obtener el comienzo y final de un recorrido de manera correcta. Aquí hay una función que se supone que compara dos palabras y devuelve True si una de las palabras es el inverso de la otra, pero contiene dos errores:

```
def es_inverso(palabra1, palabra2):
    if len(palabra1) != len(palabra2):
        return False

    i = 0
    j = len(palabra2)

    while j > 0:
        if palabra1[i] != palabra2[j]:
```

```

        return False
    i = i+1
    j = j-1

    return True

```

La primera sentencia `if` verifica si las palabras tienen la misma longitud. Si no, podemos devolver `False` inmediatamente. De lo contrario, para el resto de la función, podemos suponer que las palabras tienen la misma longitud. Este es un ejemplo del patrón guardián de la Sección 6.8.

`i` y `j` son índices: `i` recorre a `palabra1` hacia adelante mientras `j` recorre a `palabra2` hacia atrás. Si encontramos dos letras que no coinciden, podemos devolver `False` inmediatamente. Si terminamos todo el bucle y todas las letras coinciden, devolvemos `True`.

Si probamos esta función con las palabras “pots” y “stop”, esperamos el valor de retorno `True`, pero obtenemos un `IndexError`:

```

>>> es_inverso('pots', 'stop')
...
File "inverso.py", line 15, in es_inverso
    if palabra1[i] != palabra2[j]:
IndexError: string index out of range

```

Para depurar este tipo de error, mi primer movimiento es imprimir los valores de los índices inmediatamente antes de la línea donde aparece el error.

```

    while j > 0:
        print(i, j)          # imprimir aquí

        if palabra1[i] != palabra2[j]:
            return False
        i = i+1
        j = j-1

```

Ahora cuando ejecuto el programa de nuevo, obtengo más información:

```

>>> es_inverso('pots', 'stop')
0 4
...
IndexError: string index out of range

```

En el primer paso por el bucle, el valor de `j` es 4, lo cual está fuera de rango para la cadena ‘pots’. El índice del último carácter es 3, por lo que el valor inicial para `j` debería ser `len(palabra2)-1`.

Si arreglo este error y ejecuto el programa de nuevo, obtengo:

```

>>> es_inverso('pots', 'stop')
0 3
1 2
2 1
True

```

Esta vez obtenemos la respuesta correcta, pero se ve como si el bucle solo se ejecutara tres veces, lo cual es sospechoso. Para obtener una mejor idea de lo que está ocurriendo, es útil dibujar un diagrama de estado. Durante la primera iteración, el marco para `es_inverso` se muestra en la Figura 8.2.



Figura 8.2: Diagrama de estado.

Me tomé la licencia de organizar las variables en el marco y agregar líneas punteadas para mostrar que los valores de `i` y `j` indican caracteres en `palabra1` y `palabra2`.

Comenzando con este diagrama, ejecuta el programa en papel, cambiando los valores de `i` y `j` durante cada iteración. Encuentra y arregla el segundo error en esta función.

## 8.12. Glosario

**objeto:** Algo a lo cual una variable puede referirse. Por ahora, puedes utilizar “objeto” y “valor” indistintamente.

**secuencia:** Una colección ordenada de valores donde cada valor se identifica por un índice entero.

**ítem:** Uno de los valores en una secuencia.

**índice:** Un valor entero utilizado para seleccionar un ítem en una secuencia, tal como un carácter en una cadena. En Python, los índices parten desde 0.

**trozo (slice):** Una parte de una cadena especificada por un rango de índices.

**cadena vacía:** Una cadena sin caracteres y con longitud 0, representada por dos comillas.

**inmutable:** La propiedad de una secuencia cuyos ítems no pueden cambiarse.

**recorrer:** Iterar a través de los ítems en una secuencia, realizando una operación similar en cada uno de estos.

**búsqueda:** Un patrón de un recorrido que se detiene cuando encuentra lo que busca.

**contador:** Una variable utilizada para contar algo, generalmente inicializada en cero y luego incrementada.

**invocación:** Una sentencia que llama a un método.

**argumento opcional:** Un argumento de función o de método que no es obligatorio.

## 8.13. Ejercicios

**Ejercicio 8.1.** Lee la documentación de los métodos de cadena en <http://docs.python.org/3/library/stdtypes.html#string-methods>. Tal vez quieras experimentar con algunos para asegurarte de que entiendes cómo funcionan. `strip` y `replace` son particularmente útiles.

La documentación utiliza una sintaxis que podría confundir. Por ejemplo, en `find(sub[, start[, end]])`, los corchetes indican argumentos opcionales. Entonces `sub` es obligatorio, pero `start` es opcional, y si incluyes `start`, entonces `end` es opcional.

**Ejercicio 8.2.** Hay un método de cadena llamado `count` que es similar a la función de la Sección 8.7. Lee la documentación de este método y escribe una invocación que cuente el número de letras `a` en `'banana'`.

**Ejercicio 8.3.** Un trozo de cadena puede tomar un tercer índice que especifique el “tamaño de paso”, es decir, el número de espacios entre caracteres sucesivos. Un tamaño de paso de 2 significa cada dos caracteres, 3 significa cada tres, etc.

```
>>> fruta = 'banana'
>>> fruta[0:5:2]
'bnn'
```

Un tamaño de paso de -1 pasa a través de la palabra hacia atrás, por lo que el trozo `[::-1]` genera una cadena invertida.

Utiliza esta notación para escribir una versión de una línea de `es_palindromo` del Ejercicio 6.3.

**Ejercicio 8.4.** Las siguientes funciones tienen la intención de verificar si una cadena contiene al menos una letra minúscula, pero algunas son incorrectas. Para cada función, describe qué hace realmente la función (suponiendo que el parámetro es una cadena).

```
def contiene_minuscula1(s):
    for c in s:
        if c.islower():
            return True
        else:
            return False

def contiene_minuscula2(s):
    for c in s:
        if 'c'.islower():
            return 'True'
        else:
            return 'False'

def contiene_minuscula3(s):
    for c in s:
        flag = c.islower()
    return flag

def contiene_minuscula4(s):
    flag = False
    for c in s:
        flag = flag or c.islower()
    return flag

def contiene_minuscula5(s):
    for c in s:
        if not c.islower():
            return False
    return True
```

**Ejercicio 8.5.** Un cifrado César es una forma débil de encriptación que implica la “rotación” de cada letra en un número fijo de lugares. Rotar una letra significa desplazarla a través del alfabeto, volviendo al comienzo si es necesario, por lo que ‘A’ rotada en 3 es ‘D’ y ‘Z’ rotada en 1 es ‘A’.

*Para rotar una palabra, rota cada letra en la misma cantidad. Por ejemplo, “cheer” rotada en 7 es “jolly” y “melon” rotada en -10 es “cubed”. En la película 2001: Odisea del espacio, el computador de la nave se llama HAL, que es IBM rotada en -1.*

*Escribe una función llamada `rotar_palabra` que tome una cadena y un entero como parámetros y devuelva una cadena nueva que contenga las letras de la cadena original rotadas en la cantidad entregada.*

*Tal vez quieras utilizar la función incorporada `ord`, que convierte un carácter en un código numérico, y `chr`, que convierte códigos numéricos en caracteres. Las letras del alfabeto están codificadas en orden alfabético, así por ejemplo:*

```
>>> ord('c') - ord('a')
2
```

*Debido a que 'c' es la dos-ésima letra del alfabeto. Pero ten cuidado: los códigos numéricos para las letras mayúsculas son diferentes.*

*Los chistes potencialmente ofensivos en internet a veces están codificados en ROT13, que es un cifrado César con rotación 13. Si no te ofendes fácilmente, encuentra y decodifica algunos. Solución: <http://thinkpython2.com/code/rotate.py>.*





## Capítulo 9

# Estudio de caso: juego de palabras

Este capítulo presenta el segundo estudio de caso, el cual involucra resolver puzzles de palabras buscando palabras que tengan ciertas propiedades. Por ejemplo, encontraremos los palíndromos más largos en inglés y buscaremos palabras cuyas letras aparezcan en orden alfabético. Además, presentaré otro plan de desarrollo de programa: reducción a un problema previamente resuelto.

### 9.1. Leer listas de palabras

Para los ejercicios de este capítulo necesitamos una lista de palabras en inglés. Hay muchas listas de palabras disponibles en la web, pero la más adecuada para nuestro propósito es una de las listas de palabras recopiladas y contribuidas al dominio público por Grady Ward como parte del proyecto léxico Moby (ver [http://wikipedia.org/wiki/Moby\\_Project](http://wikipedia.org/wiki/Moby_Project)). Es una lista de 113,809 palabras de crucigrama oficiales, es decir, palabras que se consideran válidas en crucigramas y otros juegos de palabras. En la colección Moby, el nombre del archivo es `113809of.fic`; puedes descargar una copia, con el nombre más simple `words.txt`, en <http://thinkpython2.com/code/words.txt>.

Este archivo está en texto plano, así que puedes abrirlo con un editor de texto, pero también puedes leerlo desde Python. La función incorporada `open` toma el nombre del archivo como parámetro y devuelve un **objeto de archivo** que puedes utilizar para leer dicho archivo.

```
>>> fin = open('words.txt')
```

`fin` es un nombre común para un objeto de archivo utilizado para la entrada (*file input*). El objeto de archivo proporciona varios métodos para la lectura, incluyendo `readline`, que lee caracteres desde un archivo hasta que llega a una nueva línea y devuelve el resultado como una cadena:

```
>>> fin.readline()
'aa\n'
```

La primera palabra de esta particular lista es “aa”, que es un tipo de lava. La secuencia `\n` representa el carácter nueva línea que separa esta palabra de la siguiente.

El objeto de archivo hace un seguimiento del lugar del archivo en donde este se encuentra en un instante determinado, así que si llamas a `readline` de nuevo, obtienes la palabra siguiente:

```
>>> fin.readline()
'aah\n'
```

La palabra siguiente es “aah”, que es una palabra perfectamente legítima, así que deja de mirarme así. O bien, si es el carácter nueva línea lo que te molesta, podemos deshacernos de este con el método de cadena `strip`:

```
>>> linea = fin.readline()
>>> palabra = linea.strip()
>>> palabra
'aahed'
```

Puedes también utilizar un objeto de archivo como parte de un bucle `for`. Este programa lee `words.txt` e imprime cada palabra, una por línea:

```
fin = open('words.txt')
for linea in fin:
    palabra = linea.strip()
    print(palabra)
```

## 9.2. Ejercicios

Hay soluciones a estos ejercicios en la siguiente sección. Deberías al menos intentar cada uno antes de leer las soluciones.

**Ejercicio 9.1.** *Escribe un programa que lea `words.txt` e imprima solo las palabras con más de 20 caracteres (sin contar espacios en blanco).*

**Ejercicio 9.2.** *En 1939, Ernest Vincent Wright publicó una novela de 50.000 palabras llamada Gadsby, la cual no contiene la letra “e”. Dado que la “e” es la letra más común en el idioma inglés, no es una tarea fácil.*

*Sin duda, solo imaginar una oración sin utilizar dicho símbolo tan común implica una actividad difícil. Si tardas mucho al principio, hazlo con cuidado y trabaja horas para adquirir la habilidad poco a poco.*

*Basta, ya no sigo más.*

*Escribe una función llamada `no_tiene_e` que devuelva `True` si la palabra dada no incluye la letra “e”.*

*Escribe un programa que lea `words.txt` e imprima solo las palabras que no tienen “e”. Calcula el porcentaje de palabras en la lista que no tienen “e”.*

**Ejercicio 9.3.** *Escribe una función con nombre `excluye` que tome una palabra y una cadena de letras prohibidas y devuelva `True` si la palabra no utiliza ninguna de las letras prohibidas.*

*Escribe un programa que solicite al usuario ingresar una cadena de letras prohibidas y luego imprima el número de palabras que no contienen ninguna de estas. ¿Puedes encontrar una combinación de 5 letras prohibidas que excluya al menor número de palabras?*

**Ejercicio 9.4.** *Escribe una función con nombre `usa_solo` que tome una palabra y una cadena de letras y devuelva `True` si la palabra contiene solo letras de la lista. ¿Puedes crear una oración en inglés utilizando solo las letras `acefhlo`? ¿Una distinta a “Hoe alfalfa”?*

**Ejercicio 9.5.** *Escribe una función con nombre `usa_todas` que tome una palabra y una cadena de letras requeridas y devuelva `True` si la palabra utiliza todas las letras requeridas al menos una vez. ¿Cuántas palabras que utilizan todas las vocales `aeiou` existen? ¿Qué pasa con `aeiouy`?*

**Ejercicio 9.6.** *Escribe una función llamada `es_abecedario` que devuelva `True` si las letras en una palabra aparecen en orden alfabético (las letras dobles están permitidas). ¿Cuántas palabras abecedarias existen?*

## 9.3. Búsqueda

Todos los ejercicios de la sección anterior tienen algo en común: pueden ser resueltos con el patrón de búsqueda que vimos en la Sección 8.6. El ejemplo más simple es:

```
def no_tiene_e(palabra):
    for letra in palabra:
        if letra == 'e':
            return False
    return True
```

El bucle `for` recorre los caracteres en `palabra`. Si encontramos la letra “e”, podemos devolver `False` inmediatamente; de lo contrario, tenemos que ir a la siguiente letra. Si terminamos el bucle de manera normal, significa que no encontramos una “e”, por lo cual devolvemos `True`.

Podrías haber escrito esta función de manera más concisa utilizando el operador `in`, pero comencé con esta versión porque demuestra la lógica del patrón de búsqueda.

`excluye` es una versión más general de `no_tiene_e` pero tiene la misma estructura:

```
def excluye(palabra, prohibidas):
    for letra in palabra:
        if letra in prohibidas:
            return False
    return True
```

Podemos devolver `False` apenas encontremos una letra prohibida; si llegamos al final del bucle, devolvemos `True`.

`usa_solo` es similar, excepto que el sentido de la condición es inverso:

```
def usa_solo(palabra, disponibles):
    for letra in palabra:
        if letra not in disponibles:
            return False
    return True
```

En lugar de una lista de letras prohibidas, tenemos una lista de letras disponibles. Si encontramos una letra en `palabra` que no está en `disponibles`, podemos devolver `False`.

`usa_todas` es similar, excepto que invertimos el rol de la palabra y la cadena de letras:

```
def usa_todas(palabra, requeridas):
    for letra in requeridas:
        if letra not in palabra:
            return False
    return True
```

En lugar de recorrer las letras en palabra, el bucle recorre las letras requeridas. Si alguna de las letras requeridas no aparece en la palabra, podemos devolver False.

Si realmente estuvieras pensando como un informático, habrías reconocido que `usa_todas` era una instancia de un problema previamente resuelto, y habrías escrito:

```
def usa_todas(palabra, requeridas):
    return usa_solo(requeridas, palabra)
```

Este es un ejemplo de un plan de desarrollo de programa llamado **reducción a un problema previamente resuelto**, lo cual significa que reconoces el problema en el que estás trabajando como una instancia de un problema resuelto y aplicas una solución existente.

## 9.4. Bucles con índices

Escribí las funciones de la sección anterior con bucles `for` porque solo necesitaba los caracteres en las cadenas; no tenía que hacer nada con los índices.

Para `es_abecedario` tenemos que comparar letras adyacentes, lo cual es un poco difícil con un bucle `for`:

```
def es_abecedario(palabra):
    anterior = palabra[0]
    for c in palabra:
        if c < anterior:
            return False
        anterior = c
    return True
```

Una alternativa es usar recursividad:

```
def es_abecedario(palabra):
    if len(palabra) <= 1:
        return True
    if palabra[0] > palabra[1]:
        return False
    return es_abecedario(palabra[1:])
```

Otra opción es usar un bucle `while`:

```
def es_abecedario(palabra):
    i = 0
    while i < len(palabra)-1:
        if palabra[i+1] < palabra[i]:
            return False
        i = i+1
    return True
```

Este bucle comienza con `i=0` y termina cuando `i=len(palabra)-1`. En cada paso por el bucle, compara al  $i$ -ésimo carácter (que puedes pensarlo como el carácter actual) con el  $i + 1$ -ésimo carácter (que puedes pensarlo como el siguiente).

Si el siguiente carácter es menor (alfabéticamente anterior) que el actual, entonces hemos descubierto que se rompe la tendencia abecedaria y devolvemos False.

Si llegamos al final del bucle sin encontrar una falla, entonces la palabra pasa la prueba. Para convencerte de que el bucle termina de manera correcta, considera un ejemplo como

'flossy'. La longitud de la palabra es 6, por lo cual la última vez que el bucle se ejecuta es cuando *i* es 4, que es el índice del penúltimo carácter. En la última iteración, compara el penúltimo carácter con el último, que es lo que queremos.

Aquí hay una versión de `es_palindromo` (ver Ejercicio 6.3) que utiliza dos índices: uno comienza al principio y aumenta, el otro comienza al final y disminuye.

```
def es_palindromo(palabra):
    i = 0
    j = len(palabra)-1

    while i<j:
        if palabra[i] != palabra[j]:
            return False
        i = i+1
        j = j-1

    return True
```

O bien podríamos reducir a un problema previamente resuelto y escribir

```
def es_palindromo(palabra):
    return es_inverso(palabra, palabra)
```

utilizando `es_inverso` de la Sección 8.11.

## 9.5. Depuración

Probar programas es difícil. Las funciones de este capítulo son relativamente fáciles de probar porque puedes verificar los resultados a mano. Aun así, escoger un conjunto de palabras que pruebe todos los errores posibles está en algún lugar entre difícil e imposible.

Tomando a `no_tiene_e` como ejemplo, hay dos casos obvios para verificar: las palabras que tienen una 'e' deberían devolver `False` y las palabras que no la tienen deberían devolver `True`. No deberías tener problemas para proponer una palabra de cada caso.

Dentro de cada caso, hay algunos subcasos menos obvios. Entre las palabras que tienen una "e", deberías probar palabras con una "e" al principio, al final y en algún lugar del medio. Deberías probar palabras largas, palabras cortas y palabras muy cortas, como la cadena vacía. La cadena vacía es un ejemplo de un **caso especial**, que es uno de los casos no obvios donde los errores a menudo acechan.

Además de los casos de prueba que generes, puedes también probar tu programa con una lista de palabras como `words.txt`. Escudriñando la salida, podrías ser capaz de captar los errores, pero ten cuidado: podrías captar un tipo de error (palabras que no deberían estar incluidas, pero lo están) y otro no (palabras que deberían estar incluidas, pero no lo están).

En general, las pruebas pueden ayudarte a encontrar errores, pero no es fácil generar un buen conjunto de casos de prueba, e incluso si lo haces, no puedes asegurarte de que tu programa está correcto. De acuerdo al legendario informático:

Se pueden probar programas para mostrar la presencia de errores, ¡pero nunca para mostrar su ausencia!

— Edsger W. Dijkstra

## 9.6. Glosario

**objeto de archivo:** Un valor que representa un archivo abierto.

**reducción a un problema previamente resuelto:** Una manera de resolver un problema expresándolo como una instancia de un problema previamente resuelto.

**caso especial:** Un caso de prueba que es atípico o no obvio (y menos probable de abordar correctamente).

## 9.7. Ejercicios

**Ejercicio 9.7.** Esta pregunta está basada en un Puzzler que fue transmitido en el programa de radio Car Talk (<http://www.cartalk.com/content/puzzlers>):

*Dame una palabra con tres letras dobles consecutivas. Te daré un par de palabras que casi califican, pero no. Por ejemplo, la palabra `committee`, `c-o-m-m-i-t-t-e-e`. Estaría excelente, si no fuera por la ‘i’ que se cuela allí. O `Mississippi`: `M-i-s-s-i-s-s-i-p-p-i`. Si pudieras sacar esas ‘i’ funcionaría. Pero hay una palabra que tiene tres pares de letras consecutivos y, por lo que sé, puede ser la única palabra. Por supuesto que probablemente hay 500 más pero solo puedo pensar en una. ¿Cuál es la palabra?*

Escribe un programa que la encuentre. Solución: <http://thinkpython2.com/code/cartalk1.py>.

**Ejercicio 9.8.** Aquí hay otro Puzzler de Car Talk (<http://www.cartalk.com/content/puzzlers>):

*“Estaba conduciendo en la carretera el otro día y me fijé en mi odómetro. Al igual que la mayoría de los odómetros, muestra seis dígitos, solo en millas enteras. Entonces, si mi automóvil tenía 300.000 millas, por ejemplo, veía 3-0-0-0-0-0.*

*“Ahora, lo que vi ese día fue muy interesante. Me di cuenta de que los últimos 4 dígitos eran palíndromo, es decir, se leían igual hacia adelante y hacia atrás. Por ejemplo, 5-4-4-5 es un palíndromo, por lo que mi odómetro podría haber leído 3-1-5-4-4-5.*

*“Una milla más adelante, los últimos 5 números eran palíndromo. Por ejemplo, podría haber leído 3-6-5-4-5-6. Una milla después de eso, los 4 números que están al medio de los 6 eran palíndromo. ¿Y estás listo para esto? Una milla más adelante, ¡los 6 eran palíndromo!*

*“La pregunta es, ¿qué había en mi odómetro cuando miré por primera vez?”*

Escribe un programa en Python que pruebe todos los números de seis dígitos e imprima aquellos números que satisfagan estos requisitos. Solución: <http://thinkpython2.com/code/cartalk2.py>.

**Ejercicio 9.9.** Aquí hay otro Puzzler de Car Talk que puedes resolver con una búsqueda (<http://www.cartalk.com/content/puzzlers>):

*“Recientemente tuve una visita con mi mamá y me di cuenta de que los dos dígitos que componen mi edad cuando se invierten resulta en su edad. Por ejemplo, si ella tiene 73, yo tengo 37. Nos preguntamos cuán a menudo ha ocurrido esto a través de los años pero nos desviamos a otros temas y nunca dimos con una respuesta.*

*“Cuando llegué a casa descubrí que los dígitos de nuestras edades han sido reversibles seis veces hasta ahora. También descubrí que, si tenemos suerte, ocurriría de nuevo en unos años, y si realmente tenemos suerte ocurriría una vez más después de eso. En otras palabras, habría ocurrido 8 veces en total. Entonces la pregunta es, ¿qué edad tengo ahora?”*

*Escribe un programa en Python que busque soluciones a este Puzzler. Pista: podrías encontrar útil el método de cadena `zfill`.*

*Solución: <http://thinkpython2.com/code/cartalk3.py>.*





# Capítulo 10

## Listas

Este capítulo presenta uno de los tipos incorporados más útiles de Python: las listas. Además, aprenderás más sobre objetos y lo que puede ocurrir cuando tienes más de un nombre para el mismo objeto.

### 10.1. Una lista es una secuencia

Al igual que una cadena, una **lista** es una secuencia de valores. En una cadena, los valores son caracteres; en una lista, pueden ser de cualquier tipo. Los valores en una lista se llaman **elementos** o a veces **ítems**.

Hay varias maneras de crear una lista nueva; la más simple es encerrar los elementos en corchetes ([ y ]):

```
[10, 20, 30, 40]  
['crunchy frog', 'ram bladder', 'lark vomit']
```

El primer ejemplo es una lista de cuatro enteros. El segundo es una lista de tres cadenas. Los elementos de una lista no tienen que ser del mismo tipo. La siguiente lista contiene una cadena, un número de coma flotante, un entero y (¡atención!) otra lista:

```
['spam', 2.0, 5, [10, 20]]
```

Una lista dentro de otra lista está **anidada**.

Una lista que no contiene elementos se llama lista vacía; puedes crear una con corchetes vacíos, [].

Como podrías esperar, puedes asignar valores de lista a variables:

```
>>> quesos = ['Cheddar', 'Edam', 'Gouda']  
>>> numeros = [42, 123]  
>>> vacio = []  
>>> print(quesos, numeros, vacio)  
['Cheddar', 'Edam', 'Gouda'] [42, 123] []
```

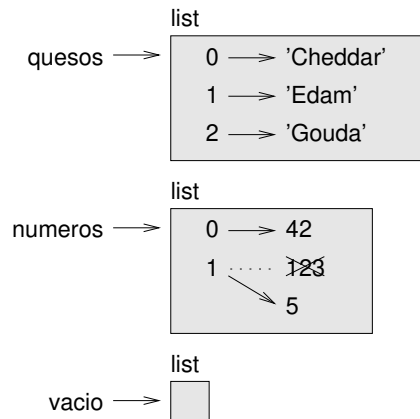


Figura 10.1: Diagrama de estado.

## 10.2. Las listas son mutables

La sintaxis para acceder a los elementos de una lista es la misma que para acceder a los caracteres de una cadena: el operador de corchetes. La expresión dentro de los corchetes especifica el índice. Recuerda que los índices comienzan en 0:

```
>>> quesos[0]
'Cheddar'
```

A diferencia de las cadenas, las listas son mutables. Cuando el operador de corchetes aparece en el lado izquierdo de una asignación, este identifica el elemento de la lista que será asignado.

```
>>> numeros = [42, 123]
>>> numeros[1] = 5
>>> numeros
[42, 5]
```

El uno-ésimo elemento de `numeros`, que solía ser 123, ahora es 5.

La Figura 10.1 muestra el diagrama de estado para `quesos`, `numeros` y `vacío`.

Las listas se representan por cajas con la palabra “list” por fuera y los elementos de la lista por dentro. `quesos` se refiere a una lista con tres elementos con índices 0, 1 y 2. `numeros` contiene dos elementos; el diagrama muestra que el valor del segundo elemento ha sido reasignado de 123 a 5. `vacío` se refiere a una lista sin elementos.

Los índices de las listas funcionan de la misma manera que los índices de las cadenas:

- Cualquier expresión entera se puede utilizar como índice.
- Si intentas leer o escribir un elemento que no existe, obtienes un `IndexError`.
- Si un índice tiene un valor negativo, se cuenta hacia atrás desde el final de la lista.

El operador `in` también funciona en las listas.

```
>>> quesos = ['Cheddar', 'Edam', 'Gouda']
>>> 'Edam' in quesos
True
>>> 'Brie' in quesos
False
```

## 10.3. Recorrer una lista

La manera más común de recorrer los elementos de una lista es con un ciclo `for`. La sintaxis es la misma que para las cadenas:

```
for queso in quesos:
    print(queso)
```

Esto funciona bien si solo necesitas leer los elementos de la lista. Pero si quieres escribir o actualizar los elementos, necesitas los índices. Una manera común de hacer eso es combinar las funciones incorporadas `range` y `len`:

```
for i in range(len(numeros)):
    numeros[i] = numeros[i] * 2
```

Este bucle recorre la lista y actualiza cada elemento. `len` devuelve el número de elementos en la lista. `range` devuelve una lista de índices de 0 a  $n - 1$ , donde  $n$  es el largo de la lista. En cada paso por el bucle, `i` obtiene el índice del siguiente elemento. La sentencia de asignación en el cuerpo usa `i` para leer el valor antiguo del elemento y asignar el nuevo valor.

Un bucle `for` a través de una lista vacía nunca ejecuta el cuerpo:

```
for x in []:
    print('Esto nunca ocurre.')
```

A pesar de que una lista puede contener otra lista, la lista anidada aún cuenta como un solo elemento. La longitud de esta lista es cuatro:

```
['spam', 1, ['Brie', 'Roquefort', 'Pol le Veq'], [1, 2, 3]]
```

## 10.4. Operaciones de lista

El operador `+` concatena listas:

```
>>> a = [1, 2, 3]
>>> b = [4, 5, 6]
>>> c = a + b
>>> c
[1, 2, 3, 4, 5, 6]
```

El operador `*` repite una lista un número dado de veces:

```
>>> [0] * 4
[0, 0, 0, 0]
>>> [1, 2, 3] * 3
[1, 2, 3, 1, 2, 3, 1, 2, 3]
```

El primer ejemplo repite `[0]` cuatro veces. El segundo ejemplo repite la lista `[1, 2, 3]` tres veces.

## 10.5. Trozos de lista

El operador de trozo también funciona en las listas:

```
>>> t = ['a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f']
>>> t[1:3]
['b', 'c']
>>> t[:4]
['a', 'b', 'c', 'd']
>>> t[3:]
['d', 'e', 'f']
```

Si omites el primer índice, el trozo comienza al principio. Si omites el segundo, el trozo llega al final. Entonces, si omites ambos, el trozo es una copia de la lista completa.

```
>>> t[:]
['a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f']
```

Dado que las listas son mutables, a menudo es útil crear una copia antes de realizar operaciones que modifiquen listas.

Un operador de trozo en el lado izquierdo de una asignación puede actualizar múltiples elementos:

```
>>> t = ['a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f']
>>> t[1:3] = ['x', 'y']
>>> t
['a', 'x', 'y', 'd', 'e', 'f']
```

## 10.6. Métodos de lista

Python proporciona métodos que operan en listas. Por ejemplo, `append` agrega un nuevo elemento al final de la lista:

```
>>> t = ['a', 'b', 'c']
>>> t.append('d')
>>> t
['a', 'b', 'c', 'd']
```

`extend` toma una lista como argumento y anexa todos los elementos:

```
>>> t1 = ['a', 'b', 'c']
>>> t2 = ['d', 'e']
>>> t1.extend(t2)
>>> t1
['a', 'b', 'c', 'd', 'e']
```

Este ejemplo deja a `t2` sin modificar.

`sort` ordena los elementos de la lista de menor a mayor:

```
>>> t = ['d', 'c', 'e', 'b', 'a']
>>> t.sort()
>>> t
['a', 'b', 'c', 'd', 'e']
```

La mayoría de los métodos de lista son nulos: modifican la lista y devuelven `None`. Si por casualidad escribes `t = t.sort()`, te decepcionará el resultado.

## 10.7. Mapa, filtro y reducción

Para sumar todos los números de una lista, puedes utilizar un bucle como este:

```
def sumar_todos(t):  
    total = 0  
    for x in t:  
        total += x  
    return total
```

`total` se inicializa en 0. En cada paso por el bucle, `x` obtiene un elemento de la lista. El operador `+=` proporciona una manera corta de actualizar una variable. Esta **sentencia de asignación aumentada**,

```
total += x
```

es equivalente a

```
total = total + x
```

A medida que el bucle se ejecuta, `total` acumula la suma de los elementos; una variable que se utiliza de esta manera a veces se llama **acumulador**.

Sumar los elementos de una lista es una operación tan común que Python la facilita como función incorporada, `sum`:

```
>>> t = [1, 2, 3]  
>>> sum(t)  
6
```

Una operación como esta que combina una secuencia de elementos en un solo valor a veces se llama **reducción**.

A veces quieres recorrer una lista mientras construyes otra. Por ejemplo, la siguiente función toma una lista de cadenas y devuelve una nueva lista que contiene cadenas que comienzan con mayúscula:

```
def todas_con_mayuscula(t):  
    res = []  
    for s in t:  
        res.append(s.capitalize())  
    return res
```

`res` se inicializa con una lista vacía; en cada paso por el bucle, anexamos el elemento siguiente. Entonces `res` es otro tipo de acumulador.

Una operación como `todas_con_mayuscula` a veces es llamada **mapa** porque “mapea” una función (en este caso el método `capitalize`) sobre cada uno de los elementos en una secuencia.

Otra operación común es seleccionar algunos de los elementos de una lista y devolver una sublista. Por ejemplo, la siguiente función toma una lista de cadenas y devuelve una lista que contiene solo las cadenas escritas con mayúsculas:

```
def solo_mayusculas(t):  
    res = []  
    for s in t:  
        if s.isupper():  
            res.append(s)  
    return res
```

`isupper` es un método de cadena que devuelve `True` si la cadena solo contiene letras mayúsculas.

Una operación como `solo_mayusculas` se llama **filtro** porque selecciona algunos de los elementos y filtra los otros.

La mayoría de las operaciones de lista se pueden expresar como una combinación de mapa, filtro y reducción.

## 10.8. Eliminar elementos

Hay varias maneras de eliminar elementos de una lista. Si conoces el índice del elemento que quieres, puedes utilizar `pop`:

```
>>> t = ['a', 'b', 'c']
>>> x = t.pop(1)
>>> t
['a', 'c']
>>> x
'b'
```

`pop` modifica la lista y devuelve el elemento que se eliminó. Si no entregas un índice, elimina y devuelve el último elemento.

Si no necesitas el valor eliminado, puedes utilizar el operador `del`:

```
>>> t = ['a', 'b', 'c']
>>> del t[1]
>>> t
['a', 'c']
```

Si conoces el elemento que quieres eliminar (pero no el índice), puedes utilizar `remove`:

```
>>> t = ['a', 'b', 'c']
>>> t.remove('b')
>>> t
['a', 'c']
```

El valor de retorno de `remove` es `None`.

Para eliminar más de un elemento, puedes utilizar `del` con índices de trozo:

```
>>> t = ['a', 'b', 'c', 'd', 'e', 'f']
>>> del t[1:5]
>>> t
['a', 'f']
```

Como siempre, el trozo selecciona todos los elementos hasta el segundo índice pero sin incluirlo.

## 10.9. Listas y cadenas

Una cadena es una secuencia de caracteres y una lista es una secuencia de valores, pero una lista de caracteres no es lo mismo que una cadena. Para convertir una cadena en una lista de caracteres, puedes utilizar `list`:

```
>>> s = 'spam'
>>> t = list(s)
>>> t
['s', 'p', 'a', 'm']
```

Dado que `list` es el nombre de una función incorporada, deberías evitar utilizarlo como nombre de variable. Yo además evito `l` porque se parece mucho a `1`. Entonces por eso uso `t`.

La función `list` separa la cadena en letras individuales. Si quieres separar una cadena en palabras, puedes utilizar el método `split`:

```
>>> s = 'pining for the fjords'
>>> t = s.split()
>>> t
['pining', 'for', 'the', 'fjords']
```

Un argumento opcional llamado **delimitador** especifica qué caracteres usar como separador de palabras. El siguiente ejemplo usa un guión como delimitador:

```
>>> s = 'spam-spam-spam'
>>> delimitador = '-'
>>> t = s.split(delimitador)
>>> t
['spam', 'spam', 'spam']
```

`join` es el inverso de `split`. Toma una lista de cadenas y concatena los elementos. `join` es un método de cadena, por lo que tienes que invocarlo en el delimitador y pasarle la lista como parámetro:

```
>>> t = ['pining', 'for', 'the', 'fjords']
>>> delimitador = ' '
>>> s = delimitador.join(t)
>>> s
'pining for the fjords'
```

En este caso el delimitador es un carácter de espacio, por lo que `join` pone un espacio entre las palabras. Para concatenar cadenas sin espacios, puedes usar la cadena vacía, `''`, como delimitador.

## 10.10. Objetos y valores

Si ejecutamos estas sentencias de asignación:

```
a = 'banana'
b = 'banana'
```

sabemos que `a` y `b` se refieren a una cadena, pero no sabemos si se refieren a la *misma* cadena. Hay dos estados posibles, mostrados en la Figura 10.2.

En el primer caso, `a` y `b` se refieren a dos objetos diferentes que tienen el mismo valor. En el segundo caso, se refieren al mismo objeto.

Para verificar si dos variables se refieren al mismo objeto, puedes usar el operador `is`.

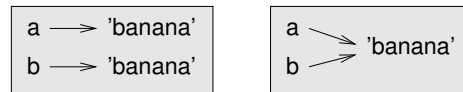


Figura 10.2: Diagrama de estado.

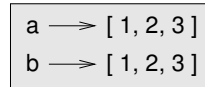


Figura 10.3: Diagrama de estado.

```

>>> a = 'banana'
>>> b = 'banana'
>>> a is b
True

```

En este ejemplo, Python solo crea un objeto de cadena y tanto `a` como `b` se refieren a este. Pero cuando creas dos listas, obtienes dos objetos:

```

>>> a = [1, 2, 3]
>>> b = [1, 2, 3]
>>> a is b
False

```

Entonces el diagrama de estado se ve como la Figura 10.3.

En este caso diríamos que las dos listas son **equivalentes**, porque tienen los mismos elementos, pero no **idénticos**, porque no son el mismo objeto. Si dos objetos son idénticos, son también equivalentes, pero si son equivalentes, no necesariamente son idénticos.

Hasta ahora, hemos estado utilizando “objeto” y “valor” indistintamente, pero es más preciso decir que un objeto tiene un valor. Si evalúas `[1, 2, 3]`, obtienes un objeto de lista cuyo valor es una secuencia de enteros. Si otra lista tiene los mismos elementos, decimos que tiene el mismo valor, pero no es el mismo objeto.

## 10.11. Alias

Si `a` se refiere a un objeto y asignas `b = a`, entonces ambas variables se refieren al mismo objeto:

```

>>> a = [1, 2, 3]
>>> b = a
>>> b is a
True

```

El diagrama de estado se ve como la Figura 10.4.

La asociación de una variable con un objeto se llama **referencia**. En este ejemplo, hay dos referencias al mismo objeto.

Un objeto con más de una referencia tiene más de un nombre, por lo que decimos que el objeto tiene un **alias**.

Si el objeto con alias es mutable, los cambios realizados con un alias afectan al otro:



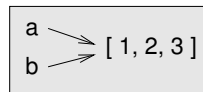


Figura 10.4: Diagrama de estado.

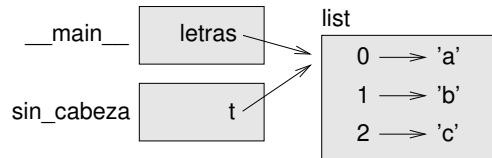


Figura 10.5: Diagrama de pila.

```
>>> b[0] = 42
>>> a
[42, 2, 3]
```

Aunque este comportamiento puede ser útil, es propenso a errores. En general, es más seguro evitar los alias cuando trabajes con objetos mutables.

Para los objetos inmutables como las cadenas, los alias no son tan problemáticos. En este ejemplo:

```
a = 'banana'
b = 'banana'
```

casi nunca hace una diferencia si `a` y `b` se refieren a la misma cadena o no.

## 10.12. Argumentos de lista

Cuando pasas una lista a una función, la función obtiene una referencia a la lista. Si la función modifica la lista, la sentencia llamadora ve el cambio. Por ejemplo, `sin_cabeza` quita el primer elemento de una lista:

```
def sin_cabeza(t):
    del t[0]
```

Se utiliza de la siguiente manera:

```
>>> letras = ['a', 'b', 'c']
>>> sin_cabeza(letras)
>>> letras
['b', 'c']
```

El parámetro `t` y la variable `letras` son alias para el mismo objeto. El diagrama de pila se ve como la Figura 10.5.

Dado que la lista es compartida por dos marcos, la dibujé entre estos.

Es importante distinguir entre operaciones que modifican listas y operaciones que crean nuevas listas. Por ejemplo, el método `append` modifica una lista, pero el operador `+` crea una nueva lista.

Aquí hay un ejemplo que utiliza `append`:

```
>>> t1 = [1, 2]
>>> t2 = t1.append(3)
>>> t1
[1, 2, 3]
>>> t2
None
```

El valor de retorno de `append` es `None`.

Aquí hay un ejemplo que utiliza el operador `+`:

```
>>> t3 = t1 + [4]
>>> t1
[1, 2, 3]
>>> t3
[1, 2, 3, 4]
```

El resultado del operador es una lista nueva y la lista original no ha cambiado.

Esta diferencia es importante cuando escribes funciones que se supone que modifican listas. Por ejemplo, esta función *no* elimina la cabeza de una lista:

```
def sin_cabeza_mal(t):
    t = t[1:]          # ¡INCORRECTO!
```

El operador de trozo crea una nueva lista y la asignación hace que `t` se refiera a esta, pero eso no afecta a la llamadora.

```
>>> t4 = [1, 2, 3]
>>> sin_cabeza_mal(t4)
>>> t4
[1, 2, 3]
```

Al principio de `sin_cabeza_mal`, `t` y `t4` se refieren a la misma lista. Al final, `t` se refiere a una nueva lista, pero `t4` aún se refiere a la original, la lista sin modificar.

Una alternativa es escribir una función que cree y devuelva una nueva lista. Por ejemplo, `cola` devuelve todos los elementos de una lista excepto el primero:

```
def cola(t):
    return t[1:]
```

Esta función deja a la lista original sin modificar. Se utiliza de la siguiente manera:

```
>>> letra = ['a', 'b', 'c']
>>> resto = cola(letras)
>>> resto
['b', 'c']
```

## 10.13. Depuración

El uso descuidado de las listas (y otros objetos mutables) puede llevar a largas horas de depuración. Aquí hay algunas trampas comunes y maneras de evitarlas:

1. La mayoría de los métodos de lista modifican el argumento y devuelven `None`. Esto es lo opuesto a los métodos de cadena, que devuelven una nueva cadena y dejan sola a la original.

Si te acostumbraste a escribir código de cadena como este:

```
palabra = palabra.strip()
```

Es tentador escribir código de lista como este:

```
t = t.sort()           # ¡INCORRECTO!
```

Dado que `sort` devuelve `None`, es probable que la siguiente operación que realices con `t` falle.

Antes de utilizar métodos y operadores de lista, deberías leer la documentación cuidadosamente y luego probarlos en modo interactivo.

2. Escoge una forma y quédate con esa.

Parte del problema con las listas es que hay muchas maneras de hacer las cosas. Por ejemplo, para eliminar un elemento de una lista, puedes utilizar `pop`, `remove`, `del`, o incluso una asignación de trozo.

Para agregar un elemento, puedes utilizar el método `append` o el operador `+`. Suponiendo que `t` es una lista y `x` es un elemento de lista, estas líneas son correctas:

```
t.append(x)
t = t + [x]
t += [x]
```

Y estas son incorrectas:

```
t.append([x])          # ¡INCORRECTO!
t = t.append(x)         # ¡INCORRECTO!
t + [x]                 # ¡INCORRECTO!
t = t + x               # ¡INCORRECTO!
```

Prueba cada uno de estos ejemplos en modo interactivo para asegurarte de que entiendes lo que haces. Nota que solo el último provoca un error de tiempo de ejecución; los otros tres son legales, pero hacen lo incorrecto.

3. Crea copias para evitar los alias.

Si quieres utilizar un método como `sort` que modifique el argumento, pero necesitas mantener la lista original también, puedes crear una copia.

```
>>> t = [3, 1, 2]
>>> t2 = t[:]
>>> t2.sort()
>>> t
[3, 1, 2]
>>> t2
[1, 2, 3]
```

En este ejemplo podrías utilizar también la función incorporada `sorted`, que devuelve una nueva lista ordenada y deja sola a la original.

```
>>> t2 = sorted(t)
>>> t
[3, 1, 2]
>>> t2
[1, 2, 3]
```

## 10.14. Glosario

**lista:** Una secuencia de valores.

**elemento:** Uno de los valores en una lista (u otra secuencia), también llamados ítems.

**lista anidada:** Una lista que es un elemento de otra lista.

**acumulador:** Una variable utilizada en un bucle para sumar o acumular un resultado.

**asignación aumentada:** Una sentencia que actualiza el valor de una variable utilizando un operador como +=.

**reducción:** Un patrón de procesamiento que recorre una secuencia y acumula los elementos en un solo resultado.

**mapa:** Un patrón de procesamiento que recorre una secuencia y realiza una operación en cada elemento.

**filtro:** Un patrón de procesamiento que recorre una lista y selecciona los elementos que satisfacen algún criterio.

**objeto:** Algo a lo cual una variable puede referirse. Un objeto tiene un tipo y un valor.

**equivalente:** Que tiene el mismo valor.

**idéntico:** Que es el mismo objeto (lo cual implica equivalencia).

**referencia:** La asociación entre una variable y su valor.

**alias:** Una circunstancia donde dos o más variables se refieren al mismo objeto.

**delimitador:** Un carácter o cadena utilizado para indicar dónde debería separarse una cadena.

## 10.15. Ejercicios

Puedes descargar las soluciones a estos ejercicios en [http://thinkpython2.com/code/list\\_exercises.py](http://thinkpython2.com/code/list_exercises.py).

**Ejercicio 10.1.** *Escribe una función llamada `suma_anidada` que tome una lista de listas de enteros y sume los elementos de todas las listas anidadas. Por ejemplo:*

```
>>> t = [[1, 2], [3], [4, 5, 6]]
>>> suma_anidada(t)
21
```

**Ejercicio 10.2.** *Escribe una función llamada `cumsum` que tome una lista de números y devuelva la suma acumulativa, es decir, una lista nueva donde el  $i$ -ésimo elemento es la suma de los primeros  $i + 1$  elementos de la lista original. Por ejemplo:*

```
>>> t = [1, 2, 3]
>>> cumsum(t)
[1, 3, 6]
```

**Ejercicio 10.3.** *Escribe una función llamada `medio` que tome una lista y devuelva una nueva lista que contenga todos los elementos excepto el primero y el último. Por ejemplo:*

```
>>> t = [1, 2, 3, 4]
>>> medio(t)
[2, 3]
```

**Ejercicio 10.4.** Escribe una función llamada `acortar` que tome una lista, la modifique eliminando el primer y último elemento, y devuelva `None`. Por ejemplo:

```
>>> t = [1, 2, 3, 4]
>>> acortar(t)
>>> t
[2, 3]
```

**Ejercicio 10.5.** Escribe una función llamada `esta_ordenada` que tome una lista como parámetro y devuelva `True` si la lista está ordenada de manera ascendente y `False` si no. Por ejemplo:

```
>>> esta_ordenada([1, 2, 2])
True
>>> esta_ordenada(['b', 'a'])
False
```

**Ejercicio 10.6.** Dos palabras son anagramas si puedes reordenar las letras de una para escribir la otra. Escribe una función llamada `es_anagrama` que tome dos cadenas y devuelva `True` si son anagramas.

**Ejercicio 10.7.** Escribe una función llamada `tiene_duplicados` que tome una lista y devuelva `True` si hay algún elemento que aparece más de una vez. No debería modificar la lista original.

**Ejercicio 10.8.** Este ejercicio está relacionado con la denominada “Paradoja del cumpleaños”, de la cual puedes leer en [http://en.wikipedia.org/wiki/Birthday\\_paradox](http://en.wikipedia.org/wiki/Birthday_paradox).

Si hay 23 estudiantes en tu clase, ¿cuáles son las posibilidades de que dos de ellos estén de cumpleaños el mismo día? Puedes estimar esta probabilidad generando muestras al azar de 23 cumpleaños y verificar coincidencias. Pista: puedes generar cumpleaños aleatorios con la función `randint` del módulo `random`.

Puedes descargar mi solución en <http://thinkpython2.com/code/birthday.py>.

**Ejercicio 10.9.** Escribe una función que lea el archivo `words.txt` y construya una lista con un elemento por palabra. Escribe dos versiones de esta función, una utilizando el método `append` y la otra utilizando la notación `t = t + [x]`. ¿Cuál toma más tiempo en ejecutar? ¿Por qué?

Solución: <http://thinkpython2.com/code/wordlist.py>.

**Ejercicio 10.10.** Para verificar si una palabra está en la lista de palabras, podrías utilizar el operador `in`, pero sería lento porque busca en orden a través de las palabras.

Debido a que las palabras están en orden alfabético, podemos acelerar las cosas con una búsqueda de bisección (también conocida como búsqueda binaria), que es similar a lo que haces cuando buscas una palabra en el diccionario (el libro, no la estructura de datos). Comienzas en el medio y verificas si la palabra que buscas viene antes de la palabra en el medio de la lista. Si es así, buscas en la primera mitad de la lista de la misma manera. De lo contrario, buscas la segunda mitad.

De cualquier manera, cortas por la mitad el espacio de búsqueda que queda. Si la lista de palabras tiene 113,809 palabras, tomará alrededor de 17 pasos para encontrar la palabra o concluir que no está.

Escribe una función llamada `in_bisect` que tome una lista ordenada y un valor objetivo, y devuelva `True` si la palabra está en la lista y `False` si no está.

¡O bien podrías leer la documentación del módulo `bisect` y utilizarlo! Solución: <http://thinkpython2.com/code/inlist.py>.

**Ejercicio 10.11.** Dos palabras son un “par inverso” si cada una es el inverso de la otra. Escribe un programa que encuentre todos los pares inversos en la lista de palabras. Solución: [http://thinkpython2.com/code/reverse\\_pair.py](http://thinkpython2.com/code/reverse_pair.py).

**Ejercicio 10.12.** Dos palabras se “entrelazan” si tomando letras alternas de cada una se forma una nueva palabra. Por ejemplo, “shoe” y “cold” se entrelazan para formar “schooled”. Solución: <http://thinkpython2.com/code/interlock.py>. Crédito: Este ejercicio está inspirado en un ejemplo de <http://puzzlers.org>.

1. Escribe un programa que encuentre todos los pares de palabras que se entrelazan. Pista: ¡no revises todos los pares!
2. ¿Puedes encontrar alguna palabra que sea un triple entrelazado? Es decir, una palabra que si se lee cada tres letras, comenzando con la primera, la segunda o la tercera letra, se forma una nueva palabra.

# Capítulo 11

## Diccionarios

Este capítulo presenta otro tipo incorporado llamado diccionario. Los diccionarios son una de las mejores características de Python: son los bloques de construcción de muchos algoritmos eficientes y elegantes.

### 11.1. Un diccionario es un mapeo

Un **diccionario** es como una lista, pero más general. En una lista, los índices tienen que ser enteros; en un diccionario pueden ser (casi) de cualquier tipo.

Un diccionario contiene una colección de índices, que se llaman **claves**, y una colección de valores. Cada clave está asociada a un valor único. La asociación de una clave y un valor se llama **par clave-valor**, o a veces **ítem**.

En lenguaje matemático, un diccionario representa un **mapeo** de las claves a los valores, por tanto puedes decir también que cada clave “mapea a” un valor. Como ejemplo, construiremos un diccionario que mapea de palabras en inglés a palabras en español, así las claves y los valores son todas cadenas.

La función `dict` crea un nuevo diccionario sin ítems. Como `dict` es el nombre de una función incorporada, deberías evitar utilizarla como nombre de variable.

```
>>> ing_esp = dict()
>>> ing_esp
{}

```

Las llaves, {}, representan un diccionario vacío. Para agregar ítems al diccionario, puedes utilizar corchetes:

```
>>> ing_esp['one'] = 'uno'

```

Esta línea crea un ítem que mapea de la clave 'one' al valor 'uno'. Si imprimimos el diccionario de nuevo, vemos un par clave-valor con un signo de dos puntos entre la clave y el valor:

```
>>> ing_esp
{'one': 'uno'}

```

Este formato de salida es también un formato de entrada. Por ejemplo, puedes crear un nuevo diccionario con tres ítems:

```
>>> ing_esp = {'one': 'uno', 'two': 'dos', 'three': 'tres'}
```

Pero si imprimes `ing_esp`, quizás te sorprendas:

```
>>> ing_esp
{'one': 'uno', 'three': 'tres', 'two': 'dos'}
```

El orden de los pares clave-valor podría no ser el mismo. Si escribiste el mismo ejemplo en tu computador, podrías obtener un resultado diferente. En general, el orden de los ítems en un diccionario es impredecible.

Sin embargo, eso no es un problema porque los elementos de un diccionario nunca se indexan con índices enteros. En cambio, utilizas las claves para buscar los valores correspondientes:

```
>>> ing_esp['two']
'dos'
```

La clave `'two'` siempre mapea al valor `'dos'`, entonces el orden de los ítems no importa.

Si la clave no está en el diccionario, obtienes una excepción:

```
>>> ing_esp['four']
KeyError: 'four'
```

La función `len` funciona con diccionarios: devuelve el número de pares clave-valor.

```
>>> len(ing_esp)
3
```

El operador `in` también funciona con diccionarios: te dice si algo aparece como una *clave* en el diccionario (aparecer como un valor no basta).

```
>>> 'one' in ing_esp
True
>>> 'uno' in ing_esp
False
```

Para ver si algo aparece como un valor en un diccionario, puedes utilizar el método `values`, el cual devuelve una colección de valores, y entonces utilizar el operador `in`:

```
>>> valores = ing_esp.values()
>>> 'uno' in valores
True
```

El operador `in` utiliza diferentes algoritmos para las listas y los diccionarios. Para las listas, busca los elementos de la lista en orden, como en la Sección 8.6. A medida que la lista se vuelve más larga, el tiempo de búsqueda se hace más largo en proporción directa.

Los diccionarios de Python utilizan una estructura de datos llamada **tabla hash** que tiene una propiedad notable: el operador `in` toma casi la misma cantidad de tiempo sin importar cuántos ítems hay en el diccionario. Explico cómo eso es posible en la Sección B.4, pero la explicación podría no tener sentido hasta que hayas leído algunos capítulos más.

## 11.2. El diccionario como colección de contadores

Supongamos que te dan una cadena y quieres contar cuántas veces aparece cada letra. Hay varias maneras en que podrías hacerlo:



1. Podrías crear 26 variables, una para cada letra del alfabeto. Luego podrías recorrer la cadena y, para cada carácter, incrementar el contador correspondiente, probablemente utilizando un condicional encadenado.
2. Podrías crear una lista de 26 elementos. Luego podrías convertir cada carácter a un número (usando la función incorporada `ord`), utilizar el número como un índice dentro de la lista e incrementar el contador apropiado.
3. Podrías crear un diccionario con caracteres como claves y contadores como los valores correspondientes. La primera vez que veas un carácter, añadirías un ítem al diccionario. Después de eso incrementarías el valor de un ítem existente.

Cada una de estas opciones realiza la misma computación, pero cada una de ellas implementa esa computación de una manera diferente.

Una **implementación** es una manera de realizar una computación; algunas implementaciones son mejores que otras. Por ejemplo, una ventaja de la implementación con diccionario es que no tenemos que saber de antemano qué letras aparecen en la cadena y solo tenemos que hacer espacio para las letras que sí aparecen.

Así es como se vería el código:

```
def histograma(s):
    d = dict()
    for c in s:
        if c not in d:
            d[c] = 1
        else:
            d[c] += 1
    return d
```

El nombre de la función es `histograma`, que es un término estadístico para una colección de contadores (o frecuencias).

La primera línea de la función crea un diccionario vacío. El bucle `for` recorre la cadena. En cada paso por el bucle, si el carácter `c` no está en el diccionario, creamos un nuevo ítem con clave `c` y valor inicial 1 (dado que hemos visto esta letra una vez). Si `c` ya está en el diccionario, incrementamos `d[c]`.

Funciona así:

```
>>> h = histograma('brontosaurus')
>>> h
{'a': 1, 'b': 1, 'o': 2, 'n': 1, 's': 2, 'r': 2, 'u': 2, 't': 1}
```

El histograma indica que las letras 'a' y 'b' aparecen una vez; 'o' aparece dos veces, y así sucesivamente.

Los diccionarios tienen un método llamado `get` que toma una clave y un valor por defecto. Si la clave aparece en el diccionario, `get` devuelve el valor correspondiente; de lo contrario, devuelve el valor por defecto. Por ejemplo:

```
>>> h = histograma('a')
>>> h
{'a': 1}
>>> h.get('a', 0)
```

```
1
>>> h.get('c', 0)
0
```

Como ejercicio, usa `get` para escribir histograma de manera más concisa. Deberías ser capaz de eliminar la sentencia `if`.

### 11.3. Bucles y diccionarios

Si utilizas un diccionario en una sentencia `for`, este recorre las claves del diccionario. Por ejemplo, `imprimir_hist` imprime cada clave y el valor correspondiente:

```
def imprimir_hist(h):
    for c in h:
        print(c, h[c])
```

La salida se ve así:

```
>>> h = histograma('parrot')
>>> imprimir_hist(h)
a 1
p 1
r 2
t 1
o 1
```

Nuevamente, las claves no están en un orden particular. Para recorrer las claves en orden, puedes utilizar la función incorporada `sorted`:

```
>>> for clave in sorted(h):
...     print(clave, h[clave])
a 1
o 1
p 1
r 2
t 1
```

### 11.4. Consulta inversa

Dado un diccionario `d` y una clave `k`, es fácil encontrar el valor correspondiente `v = d[k]`. Esta operación se llama **consulta** (en inglés, *lookup*).

¿Y qué pasa si tienes `v` y quieres encontrar `k`? Tienes dos problemas: primero, podría haber más de una clave que mapee al valor `v`. Dependiendo de la aplicación, quizás puedas elegir una o tengas que hacer una lista que las contenga a todas. Segundo, no hay una sintaxis sencilla para hacer una **consulta inversa**: tienes que buscar.

Aquí hay una función que toma un valor y devuelve la primera clave que mapea a ese valor:

```
def consulta_inversa(d, v):
    for k in d:
        if d[k] == v:
            return k
    raise LookupError()
```

Esta función es otro ejemplo de patrón de búsqueda pero que utiliza una característica que no hemos visto antes, `raise`. La **sentencia `raise`** causa una excepción; en este caso causa un `LookupError`, que es una excepción incorporada que se utiliza para indicar que falló una operación de consulta.

Si se llega al final del bucle, significa que `v` no aparece en el diccionario como valor, por lo que plantea una excepción.

Aquí hay un ejemplo de una consulta inversa eficaz:

```
>>> h = histograma('parrot')
>>> clave = consulta_inversa(h, 2)
>>> clave
'r'
```

Y una ineficaz:

```
>>> clave = consulta_inversa(h, 3)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
  File "<stdin>", line 5, in consulta_inversa
LookupError
```

El efecto de cuando levantas una excepción mediante `raise` es el mismo que cuando Python levanta una: imprime un rastreo y un mensaje de error.

Cuando levantes una excepción, puedes proporcionar un mensaje de error detallado como argumento opcional. Por ejemplo:

```
>>> raise LookupError('el valor no aparece en el diccionario')
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in ?
LookupError: el valor no aparece en el diccionario
```

Una consulta inversa es mucho más lenta que una consulta directa; si tienes que hacerlo a menudo, o si el diccionario se vuelve grande, el rendimiento de tu programa se verá afectado.

## 11.5. Diccionarios y listas

Las listas pueden aparecer como valores en un diccionario. Por ejemplo, si te dan un diccionario que mapea de letras a frecuencias, quizás quieras invertirlo, es decir, crear un diccionario que mapee de frecuencias a letras. Dado que podría haber muchas letras con la misma frecuencia, cada valor en el diccionario invertido debería ser una lista de letras.

Aquí hay una función que invierte un diccionario:

```
def invertir_dict(d):
    inverso = dict()
    for clave in d:
        valor = d[clave]
        if valor not in inverso:
            inverso[valor] = [clave]
        else:
            inverso[valor].append(clave)
    return inverso
```

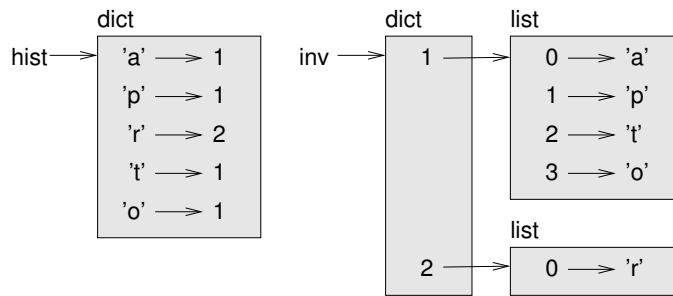


Figura 11.1: Diagrama de estado.

En cada paso por el bucle, `clave` obtiene una clave de `d` y `valor` obtiene el valor correspondiente. Si `valor` no está en `inverso`, lo cual significa que no lo hemos visto antes, entonces creamos un nuevo ítem y lo inicializamos con un **singleton** (una lista que contiene un único elemento). De lo contrario, hemos visto este valor antes, por lo cual anexamos a la lista la clave correspondiente.

Aquí hay un ejemplo:

```
>>> hist = histograma('parrot')
>>> hist
{'a': 1, 'p': 1, 'r': 2, 't': 1, 'o': 1}
>>> inv = invertir_dict(hist)
>>> inv
{1: ['a', 'p', 't', 'o'], 2: ['r']}
```

La Figura 11.1 es un diagrama de estado que muestra a `hist` e `inv`. Un diccionario se representa como una caja con el tipo `dict` arriba suyo y el par clave-valor adentro. Si los valores son enteros, números de coma flotante o cadenas, los dibujo adentro de la caja, pero usualmente dibujo las listas afuera de la caja, solo para mantener simple al diagrama.

Las listas pueden ser valores en un diccionario, tal como muestra este ejemplo simple, pero no pueden ser claves. Esto es lo que ocurre si lo intentas:

```
>>> t = [1, 2, 3]
>>> d = dict()
>>> d[t] = 'ups'
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in ?
TypeError: list objects are unhashable
```

Anteriormente mencioné que un diccionario se implementa utilizando una tabla hash y eso significa que las claves tienen que ser **hashables**.

Un **hash** es una función que toma un valor (de cualquier tipo) y devuelve un entero. Los diccionarios utilizan estos enteros, llamados valores hash, para almacenar y consultar pares clave-valor.

Este sistema funciona bien si las claves son inmutables. Pero si las claves son mutables, como las listas, ocurren cosas malas. Por ejemplo, cuando creas un par clave-valor, Python hashlea la clave y la almacena en la ubicación correspondiente. Si modificas la clave y luego la hashas de nuevo, iría a una ubicación diferente. En ese caso podrías tener dos entradas

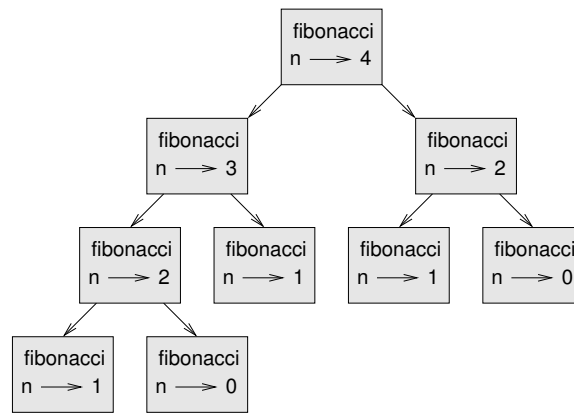


Figura 11.2: Gráfico de llamadas.

para la misma clave, o quizás no seas capaz de encontrar una clave. De cualquier manera, el diccionario no funcionaría de manera correcta.

Por eso es que las claves tienen que ser hashables y, por la misma razón, los tipos mutables como las listas no lo son. La manera más simple de evitar esta limitación es utilizar tuplas, las cuales veremos en el capítulo siguiente.

Dado que los diccionarios son mutables, estos no pueden utilizarse como claves, pero *pueden* utilizarse como valores.

## 11.6. Memos

Si jugaste con la función `fibonacci` de la Sección 6.7, quizás has notado que mientras más grande es el argumento que entregues, más tarda la función en ejecutarse. Además, el tiempo de ejecución aumenta rápidamente.

Para entender el por qué, considera la Figura 11.2, que muestra el **gráfico de llamadas** para `fibonacci` con `n=4`.

Un gráfico de llamadas muestra un conjunto de marcos de funciones, con líneas que conectan cada marco a los marcos de las funciones que están siendo llamadas. En la parte de arriba del gráfico, `fibonacci` con `n=4` llama a `fibonacci` con `n=3` y `n=2`. A su vez, `fibonacci` con `n=3` llama a `fibonacci` con `n=2` y `n=1`. Y así sucesivamente.

Cuenta cuántas veces se llama a `fibonacci(0)` y `fibonacci(1)`. Esta es una solución ineficiente para el problema y se pone peor a medida que el argumento se hace más grande.

Una solución es hacer un seguimiento de los valores que ya han sido calculados almacenándolos en un diccionario. Un valor previamente calculado que se almacena para un uso posterior se llama **memo**. Aquí hay una versión “memoizada” de `fibonacci`:

```
conocidos = {0:0, 1:1}
```

```
def fibonacci(n):
    if n in conocidos:
        return conocidos[n]
```

```

    resultado = fibonacci(n-1) + fibonacci(n-2)
    conocidos[n] = resultado
    return resultado

```

conocidos es un diccionario que hace un seguimiento de los números de Fibonacci que ya conocemos. Comienza con dos ítems: 0 mapea a 0 y 1 mapea a 1.

Cada vez que se llama a `fibonacci`, revisa a `conocidos`. Si el resultado ya está ahí, puede devolverlo inmediatamente. De lo contrario, tiene que calcular el nuevo valor, agregarlo al diccionario y devolverlo.

Si ejecutas esta versión de `fibonacci` y la comparas con la original, encontrarás que esta es mucho más rápida.

## 11.7. Variables globales

En los ejemplos anteriores, `conocidos` se crea fuera de la función, por lo que pertenece al marco especial llamado `__main__`. Las variables en `__main__` a veces se llaman **globales** porque se puede acceder a ellos desde cualquier función. A diferencia de las variables locales, que desaparecen cuando su función termina, las variables globales persisten de una llamada a función a la siguiente.

Es común utilizar variables globales para las **banderas** (en inglés, *flags*), es decir, variables booleanas que indican si una condición es verdadera. Por ejemplo, algunos programas utilizan una bandera llamada `verbose` para controlar el nivel de detalle en la salida:

```

verbose = True

def ejemplo1():
    if verbose:
        print('Ejecutando ejemplo1')

```

Si intentas reasignar una variable global, quizás te sorprendas. El siguiente ejemplo se supone que hace seguimiento de si la función ha sido llamada:

```

fue_llamada = False

def ejemplo2():
    fue_llamada = True          # INCORRECTO

```

Pero si lo ejecutas verás que el valor de `fue_llamada` no cambia. El problema es que `ejemplo2` crea una nueva variable local con nombre `fue_llamada`. La variable local se va cuando la función termina y no tiene efecto en la variable global.

Para reasignar una variable global dentro de una función, tienes que **declarar** la variable global antes de utilizarla:

```

fue_llamada = False

def ejemplo2():
    global fue_llamada
    fue_llamada = True

```

La **sentencia global** le dice al intérprete algo como “En esta función, cuando digo fue\_llamada, me refiero a la variable global; no crees una local.”

Aquí hay un ejemplo que intenta actualizar una variable global:

```
contar = 0
```

```
def ejemplo3():
    contar = contar + 1          # INCORRECTO
```

Si lo ejecutas obtienes:

```
UnboundLocalError: local variable 'contar' referenced before assignment
```

Python supone que contar es local, y bajo ese supuesto lo estás leyendo antes de escribirlo.

La solución, nuevamente, es declarar contar como global.

```
def ejemplo3():
    global contar
    contar += 1
```

Si una variable global se refiere a un valor mutable, puedes modificar el valor sin declarar la variable:

```
conocidos = {0:0, 1:1}
```

```
def ejemplo4():
    conocidos[2] = 1
```

Entonces puedes agregar, eliminar y reemplazar elementos de una lista global o diccionario global, pero si quieres reasignar la variable, tienes que declararla:

```
def ejemplo5():
    global conocidos
    conocidos = dict()
```

Las variables globales pueden ser útiles, pero si tienes muchas, y las modificas frecuentemente, pueden hacer que los programas sean difíciles de depurar.

## 11.8. Depuración

A medida que trabajes con conjuntos de datos más grandes, depurar imprimiendo y verificando la salida a mano puede volverse algo difícil de manejar. Aquí hay algunas sugerencias para depurar conjuntos grandes de datos.

**Reduce la escala:** Si es posible, reduce el tamaño del conjunto de datos. Por ejemplo, si el programa lee un archivo de texto, comienza solo con las primeras 10 líneas, o con el ejemplo más pequeño que puedas encontrar. Puedes editar aquellos archivos o (mejor) modificar el programa de manera que este lea solo las primeras *n* líneas.

Si hay un error, puedes reducir *n* al valor más pequeño que muestre el error y luego incrementarlo gradualmente mientras encuentras y corriges los errores.

**Revisa resúmenes y tipos:** En lugar de imprimir y verificar el conjunto de datos completo, considera imprimir resúmenes de los datos: por ejemplo, el número de ítems en el diccionario o el total de una lista de números.

Una causa común de errores de tiempo de ejecución es un valor que no es del tipo correcto. Para depurar esta clase de errores, a menudo es suficiente imprimir el tipo del valor.

**Escribe verificaciones automáticas:** A veces puedes escribir código para verificar errores de manera automática. Por ejemplo, si estás calculando el promedio de una lista de números, podrías verificar que el resultado no sea mayor que el elemento más grande de la lista ni menor que el más pequeño. A esto se le llama “prueba de cordura” (en inglés, *sanity check*) porque detecta resultados que son “locos”.

Otro tipo de prueba compara los resultados de dos computaciones diferentes para ver si son consistentes. A esto se le llama “prueba de consistencia”.

**Dale formato a la salida:** Dar formato a la salida de la depuración puede hacer más fácil detectar un error. Vimos un ejemplo en la Sección 6.9. Otra herramienta que quizás encuentres útil es el módulo `pprint`, el cual proporciona una función `pprint` que muestra tipos incorporados en un formato más legible por humanos (`pprint` significa “pretty print”).

Nuevamente, el tiempo que pasas construyendo andamiaje puede reducir el tiempo que pasas depurando.

## 11.9. Glosario

**mapeo:** Una relación en la cual cada elemento de un conjunto corresponde a un elemento de otro conjunto.

**diccionario:** Un mapeo de las claves a sus valores correspondientes.

**par clave-valor:** La representación del mapeo de una clave a un valor.

**ítem:** En un diccionario, otro nombre para un par clave-valor.

**clave:** Un objeto que aparece en un diccionario como la primera parte de un par clave-valor.

**valor:** Un objeto que aparece en un diccionario como la segunda parte de un par clave-valor. Esto es más específico que nuestro uso anterior de la palabra “valor”.

**implementación:** Una manera de realizar una computación.

**tabla hash:** El algoritmo utilizado para implementar los diccionarios de Python.

**función hash:** Una función utilizada por una tabla hash para calcular la ubicación de una clave.

**hashable:** Un tipo que tiene una función hash. Los tipos inmutables como los enteros, números de coma flotante y cadenas son hashables; los tipos mutables como las listas y diccionarios no lo son.

**consulta:** Una operación de diccionario que toma una clave y encuentra el valor correspondiente.

**consulta inversa:** Una operación de diccionario que toma un valor y encuentra una o más claves que mapean a este.

**sentencia raise:** Una sentencia que (deliberadamente) levanta una excepción.

**singleton:** Una lista (u otra secuencia) con un solo elemento.



**gráfico de llamadas:** Un diagrama que muestra cada marco creado durante la ejecución de un programa, con una flecha desde cada llamador hacia cada llamado.

**memo:** Un valor calculado que se almacena para evitar una futura computación innecesaria.

**variable global:** Una variable definida fuera de la función. Las variables globales pueden ser accesibles desde cualquier función.

**sentencia global:** Una sentencia que declara global a un nombre de variable.

**bandera:** Una variable booleana que se utiliza para indicar si una condición es verdadera.

**declaración:** Una sentencia como `global` que le dice al intérprete algo sobre una variable.

## 11.10. Ejercicios

**Ejercicio 11.1.** *Escribe una función que lea las palabras en `words.txt` y las almacene como claves en un diccionario. No importa cuáles sean los valores. Luego puedes utilizar el operador `in` como una manera rápida de verificar si una cadena está en el diccionario.*

*Si hiciste el Ejercicio 10.10, puedes comparar la velocidad de esta implementación con el operador `in` de lista y la búsqueda de bisección.*

**Ejercicio 11.2.** *Lee la documentación del método de diccionario `setdefault` y utilízalo para escribir una versión más concisa de `invert_dict`. Solución: [http://thinkpython2.com/code/invert\\_dict.py](http://thinkpython2.com/code/invert_dict.py).*

**Ejercicio 11.3.** *Memoiza la función de Ackermann del Ejercicio 6.2 y ve si la memoización permite evaluar la función con argumentos más grandes. Pista: no. Solución: [http://thinkpython2.com/code/ackermann\\_memo.py](http://thinkpython2.com/code/ackermann_memo.py).*

**Ejercicio 11.4.** *Si hiciste el Ejercicio 10.7, ya tienes una función con nombre `tiene_duplicados` que toma una lista como parámetro y devuelve `True` si hay algún objeto que aparece más de una vez en la lista.*

*Utiliza un diccionario para escribir una versión más rápida y simple de `tiene_duplicados`. Solución: [http://thinkpython2.com/code/has\\_duplicates.py](http://thinkpython2.com/code/has_duplicates.py).*

**Ejercicio 11.5.** *Dos palabras son “pares rotativos” si puedes rotar una de ellas y obtener la otra (ver `rotar_palabra` en el Ejercicio 8.5).*

*Escribe un programa que lea una lista de palabras y encuentre todos los pares rotativos. Solución: [http://thinkpython2.com/code/rotate\\_pairs.py](http://thinkpython2.com/code/rotate_pairs.py).*

**Ejercicio 11.6.** *Aquí hay otro Puzzler de Car Talk (<http://www.cartalk.com/content/puzzlers>):*

*Este fue enviado por un compañero llamado Dan O’Leary. Se encontró hace poco con una palabra monosílaba de cinco letras común, que tiene la siguiente propiedad única. Cuando quitas la primera letra, las demás letras forman un homófono de la palabra original, es decir, una palabra que suena exactamente igual. Reemplaza la primera letra, es decir, ponla de nuevo y quita la segunda letra y el resultado es otro homófono de la palabra original. Y la pregunta es, ¿cuál es la palabra?*

*Ahora voy a darte un ejemplo que no funciona. Veamos la palabra de cinco letras, ‘wrack.’ W-R-A-C-K, ya sabes, como ‘wrack with pain.’ Si quito la primera letra, me*

quedo con una palabra de cuatro letras, 'R-A-C-K.' Como en 'Holy cow, did you see the rack on that buck! It must have been a nine-pointer!' Es un homófono perfecto. Si vuelves a poner la 'w' y quitas la 'r' en su lugar, te quedas con la palabra 'wack' que es una palabra real, que simplemente no es un homófono de las otras dos palabras.

Pero hay, de todas maneras, al menos una palabra de la cual Dan y nosotros sabemos, que entregará dos homófonos, si quitas cualquiera de las primeras dos letras para hacer dos nuevas palabras de cuatro letras. La pregunta es, ¿cuál es la palabra?

Puedes utilizar el diccionario del Ejercicio 11.1 para verificar si una cadena está en la lista de palabras.

Para verificar si dos palabras son homófonas, puedes utilizar el Diccionario de Pronunciación de la CMU. Lo puedes descargar en <http://www.speech.cs.cmu.edu/cgi-bin/cmudict> o en <http://thinkpython2.com/code/c06d> y también puedes descargar <http://thinkpython2.com/code/pronounce.py>, que proporciona una función con nombre `read_dictionary` que lee el diccionario de pronunciación y devuelve un diccionario de Python que mapea de cada palabra a una cadena que describe su pronunciación primaria.

Escribe un programa que haga una lista de todas las palabras que resuelven el Puzzler. Solución: <http://thinkpython2.com/code/homophone.py>.

# Capítulo 12

## Tuplas

Este capítulo presenta otro tipo incorporado más, la tupla, y luego muestra la manera en que las listas, los diccionarios y las tuplas trabajan juntos. Además, presento una característica útil para listas de argumentos de longitud variable: los operadores de reunión y dispersión.

### 12.1. Las tuplas son inmutables

Una tupla es una secuencia de valores. Los valores pueden ser de cualquier tipo y están indexados por enteros, por lo que en ese sentido las tuplas se parecen mucho a las listas. La diferencia importante es que las tuplas son inmutables.

Sintácticamente, una tupla es una lista de valores separados por comas:

```
>>> t = 'a', 'b', 'c', 'd', 'e'
```

Aunque no es necesario, es común encerrar las tuplas en paréntesis:

```
>>> t = ('a', 'b', 'c', 'd', 'e')
```

Para crear una tupla con un solo elemento, tienes que incluir una coma final:

```
>>> t1 = 'a',  
>>> type(t1)  
<class 'tuple'>
```

Un valor en paréntesis no es una tupla:

```
>>> t2 = ('a')  
>>> type(t2)  
<class 'str'>
```

Otra manera de crear una tupla es la función incorporada `tuple`. Sin argumentos, esta crea una tupla vacía:

```
>>> t = tuple()  
>>> t  
( )
```

Si el argumento es una secuencia (cadena, lista o tupla), el resultado es una tupla con los elementos de la secuencia:

```
>>> t = tuple('lupins')
>>> t
('l', 'u', 'p', 'i', 'n', 's')
```

Dado que `tuple` es el nombre de una función incorporada, deberías evitar usarlo como nombre de una variable.

La mayoría de los operadores de lista funcionan también en tuplas. El operador de corchetes indexa un elemento:

```
>>> t = ('a', 'b', 'c', 'd', 'e')
>>> t[0]
'a'
```

Y el operador de trozo selecciona un rango de elementos.

```
>>> t[1:3]
('b', 'c')
```

Sin embargo, si intentas modificar uno de los elementos de la tupla, obtienes un error:

```
>>> t[0] = 'A'
TypeError: object doesn't support item assignment
```

Dado que las tuplas son inmutables, no puedes modificar sus elementos. Pero puedes reemplazar una tupla con otra:

```
>>> t = ('A',) + t[1:]
>>> t
('A', 'b', 'c', 'd', 'e')
```

Esta sentencia crea una nueva tupla y luego hace que `t` se refiera a esta.

Los operadores relacionales funcionan con las tuplas y otras secuencias; Python comienza comparando el primer elemento de cada secuencia. Si son iguales, avanza a los siguientes elementos, y así sucesivamente, hasta que encuentre elementos que sean diferentes. Los elementos posteriores no se consideran (incluso si son realmente grandes).

```
>>> (0, 1, 2) < (0, 3, 4)
True
>>> (0, 1, 2000000) < (0, 3, 4)
True
```

## 12.2. Asignación de tupla

A menudo es útil intercambiar los valores de dos variables. Con asignaciones convencionales, tienes que utilizar una variable temporal. Por ejemplo, para intercambiar `a` y `b`:

```
>>> temp = a
>>> a = b
>>> b = temp
```

Esta solución es incómoda; la **asignación de tupla** es más elegante:

```
>>> a, b = b, a
```

El lado izquierdo es una tupla de variables; el lado derecho es una tupla de expresiones. Cada valor es asignado a su respectiva variable. Todas las expresiones en el lado derecho son evaluadas antes que cualquiera de las asignaciones.

La cantidad de variables en el lado izquierdo y la cantidad de valores del lado derecho tienen que ser la misma:

```
>>> a, b = 1, 2, 3
ValueError: too many values to unpack
```

De manera más general, el lado derecho puede ser cualquier tipo de secuencia (cadena, lista o tupla). Por ejemplo, para separar una dirección de email en nombre de usuario y dominio, podrías intentar:

```
>>> direccion = 'monty@python.org'
>>> nombre_usuario, dominio = direccion.split('@')
```

El valor de retorno de `split` es una lista con dos elementos: el primer elemento se asigna a `nombre_usuario`, el segundo a `dominio`.

```
>>> nombre_usuario
'monty'
>>> dominio
'python.org'
```

## 12.3. Tuplas como valores de retorno

Estrictamente hablando, una función puede devolver solo un valor de retorno, pero si el valor es una tupla, el efecto es el mismo que devolver múltiples valores. Por ejemplo, si quieres dividir dos enteros y calcular el cociente y el resto, es ineficiente calcular  $x//y$  y luego  $x\%y$ . Es mejor calcular ambos al mismo tiempo.

La función incorporada `divmod` toma dos argumentos y devuelve una tupla de dos valores: el cociente y el resto. Puedes almacenar el resultado como una tupla:

```
>>> t = divmod(7, 3)
>>> t
(2, 1)
```

O bien, utilizar asignación de tupla para almacenar los elementos por separado:

```
>>> cociente, resto = divmod(7, 3)
>>> cociente
2
>>> resto
1
```

Aquí hay un ejemplo de una función que devuelve una tupla:

```
def min_max(t):
    return min(t), max(t)
```

`max` y `min` son funciones incorporadas que encuentran los elementos más grande y más pequeño en una secuencia. `min_max` calcula ambos y devuelve una tupla de dos valores.

## 12.4. Tuplas de argumentos de longitud variable

Las funciones pueden tomar una cantidad variable de argumentos. Un nombre de parámetro que comienza con `*` hace una **reunión** de argumentos en una tupla. Por ejemplo, `printall` toma cualquier cantidad de argumentos y los imprime:

```
def printall(*args):
    print(args)
```

El parámetro de reunión puede tener cualquier nombre que quieras, pero `args` es convencional. Aquí se muestra cómo opera la función:

```
>>> printall(1, 2.0, '3')
(1, 2.0, '3')
```

El complemento de la reunión es la **dispersión**. Si tienes una secuencia de valores y quieres pasarlo a una función como múltiples argumentos, puedes utilizar el operador `*`. Por ejemplo, `divmod` toma exactamente dos argumentos; no funciona con una tupla:

```
>>> t = (7, 3)
>>> divmod(t)
TypeError: divmod expected 2 arguments, got 1
```

Sin embargo, si dispersas la tupla, funciona:

```
>>> divmod(*t)
(2, 1)
```

Muchas de las funciones incorporadas utilizan tuplas de argumentos de longitud variable. Por ejemplo, `max` y `min` pueden tomar cualquier cantidad de argumentos:

```
>>> max(1, 2, 3)
3
```

Pero `sum` no puede.

```
>>> sum(1, 2, 3)
TypeError: sum expected at most 2 arguments, got 3
```

Como ejercicio, escribe una función llamada `sumar_todos` que tome cualquier cantidad de argumentos y devuelva su suma.

## 12.5. Listas y tuplas

`zip` es una función incorporada que toma dos o más secuencias y las intercala. El nombre de la función se refiere a una cremallera (*zipper*), ya que esta intercala dos filas de dientes.

Este ejemplo le hace `zip` a una cadena y una lista:

```
>>> s = 'abc'
>>> t = [0, 1, 2]
>>> zip(s, t)
<zip object at 0x7f7d0a9e7c48>
```

El resultado es un **objeto zip** que sabe cómo iterar a través de los pares. El uso más común de `zip` es en un bucle `for`:

```
>>> for par in zip(s, t):
...     print(par)
...
('a', 0)
('b', 1)
('c', 2)
```

Un objeto `zip` es una especie de **iterador**, que es cualquier objeto que itera a través de una secuencia. Los iteradores son similares a las listas de alguna manera, pero a diferencia de las listas, no puedes utilizar un índice para seleccionar un elemento de un iterador.

Si quieres utilizar operadores de lista y métodos, puedes utilizar un objeto `zip` para crear una lista:

```
>>> list(zip(s, t))
[('a', 0), ('b', 1), ('c', 2)]
```

El resultado es una lista de tuplas; en este ejemplo, cada tupla contiene un carácter de la cadena y el elemento correspondiente de la lista.

Si las secuencias no tienen la misma longitud, el resultado tiene la longitud de la secuencia más corta.

```
>>> list(zip('Anne', 'Elk'))
[('A', 'E'), ('n', 'l'), ('n', 'k')]
```

Puedes utilizar asignación de tupla en un bucle for para recorrer una lista de tuplas:

```
t = [('a', 0), ('b', 1), ('c', 2)]
for letra, numero in t:
    print(numero, letra)
```

En cada paso por el bucle, Python selecciona la siguiente tupla en la lista y asigna los elementos a letra y numero. La salida de este bucle es:

```
0 a
1 b
2 c
```

Si combinas zip, for y asignación de tupla, obtienes una manera útil para recorrer dos (o más) secuencias al mismo tiempo. Por ejemplo, tiene\_coincidencia toma dos secuencias, t1 y t2, y devuelve True si hay un índice i tal que t1[i] == t2[i]:

```
def tiene_coincidencia(t1, t2):
    for x, y in zip(t1, t2):
        if x == y:
            return True
    return False
```

Si necesitas recorrer los elementos de una secuencia y sus índices, puedes utilizar la función incorporada enumerate:

```
for indice, elemento in enumerate('abc'):
    print(indice, elemento)
```

El resultado de enumerate es un objeto enumerate, que itera una secuencia de pares; cada par contiene un índice (comenzando desde 0) y un elemento de la secuencia dada. En este ejemplo, la salida es

```
0 a
1 b
2 c
```

otra vez.

## 12.6. Diccionarios y tuplas

Los diccionarios tienen un método llamado items que devuelve una secuencia de tuplas, donde cada tupla es un par clave-valor.

```
>>> d = {'a':0, 'b':1, 'c':2}
>>> t = d.items()
>>> t
dict_items([('c', 2), ('a', 0), ('b', 1)])
```

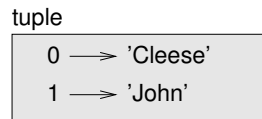


Figura 12.1: Diagrama de estado.

El resultado es un objeto `dict_items`, que es un iterador que itera los pares clave-valor. Puedes utilizarlo en un bucle `for` así:

```
>>> for clave, valor in d.items():
...     print(clave, valor)
...
c 2
a 0
b 1
```

Tal como esperarías de un diccionario, los ítems no están en un orden particular.

En sentido contrario, puedes utilizar una lista de tuplas para inicializar un nuevo diccionario:

```
>>> t = [('a', 0), ('c', 2), ('b', 1)]
>>> d = dict(t)
>>> d
{'a': 0, 'c': 2, 'b': 1}
```

Combinando `dict` con `zip` se produce una manera concisa de crear un diccionario:

```
>>> d = dict(zip('abc', range(3)))
>>> d
{'a': 0, 'c': 2, 'b': 1}
```

El método de diccionario `update` además toma una lista de tuplas y las agrega, como pares clave-valor, a un diccionario existente.

Es común utilizar tuplas como claves en diccionarios (principalmente porque no puedes utilizar listas). Por ejemplo, un directorio telefónico podría mapear de pares apellido-nombre a números telefónicos. Suponiendo que hemos definido apellido, nombre y numero, podríamos escribir:

```
directorio[apellido, nombre] = numero
```

La expresión en corchetes es una tupla. Podríamos utilizar asignación de tupla para recorrer este diccionario.

```
for apellido, nombre in directorio:
    print(nombre, apellido, directorio[apellido,nombre])
```

Este bucle recorre las claves en `directorio`, que son tuplas. Asigna los elementos de cada tupla a `apellido` y `nombre`, luego imprime el nombre completo y el número telefónico correspondiente.

Hay dos maneras de representar tuplas en un diagrama de estado. La versión más detallada muestra los índices y elementos tal como aparecen en una lista. Por ejemplo, la tupla `('Cleese', 'John')` se mostraría como en la Figura 12.1.

Pero en un diagrama más grande quizás quieras omitir los detalles. Por ejemplo, un diagrama del directorio telefónico podría mostrarse como en la Figura 12.2.



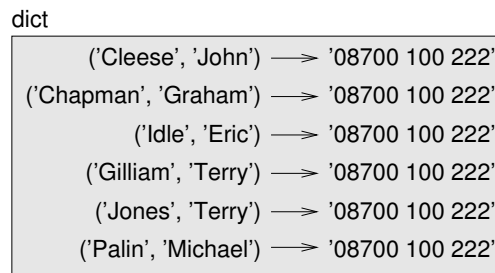


Figura 12.2: Diagrama de estado.

Aquí, las tuplas se muestran utilizando la notación de la sintaxis de Python. El número de teléfono del diagrama es la línea de reclamos de la BBC, así que por favor no llames.

## 12.7. Secuencias de secuencias

Me he enfocado en listas de tuplas, pero casi todos los ejemplos de este capítulo funcionan también con listas de listas, tuplas de tuplas y tuplas de listas. Para evitar enumerar las posibles combinaciones, a veces es más fácil hablar de secuencias de secuencias.

En muchos contextos, los diferentes tipos de secuencias (cadenas, listas y tuplas) se pueden utilizar indistintamente. Entonces, ¿cómo deberías escoger uno por sobre los otros?

Para comenzar con lo obvio, las cadenas son más limitadas que las otras secuencias porque los elementos tienen que ser caracteres. Además, son inmutables. Si necesitas la posibilidad de cambiar los caracteres en una cadena (en contraposición a crear una nueva cadena), quizás quieras utilizar una lista de caracteres en su lugar.

Las listas son más comunes que las tuplas, principalmente porque son mutables. Sin embargo, hay algunos casos donde podrías preferir tuplas:

1. En algunos contextos, como una sentencia `return`, es sintácticamente más simple crear una tupla que una lista.
2. Si quieres utilizar una secuencia como clave de diccionario, tienes que utilizar un tipo inmutable como una tupla o una cadena.
3. Si pasas una secuencia como argumento a una función, utilizar tuplas reduce las posibilidades de comportamiento inesperado debido a los alias.

Dado que las tuplas son inmutables, no proporcionan métodos como `sort` y `reverse`, que modifican listas existentes. Sin embargo, Python proporciona la función incorporada `sorted`, que toma cualquier secuencia y devuelve una lista nueva con los mismos elementos en orden, y `reversed`, que toma una secuencia y devuelve un iterador que recorre la lista en orden invertido.

## 12.8. Depuración

Las listas, diccionarios y tuplas son ejemplos de **estructuras de datos**; en este capítulo comenzamos a ver estructuras de datos combinadas, como listas de tuplas, o diccionarios

que contienen tuplas como claves y listas como valores. Las estructuras de datos combinadas son útiles, pero son propensas a lo que yo llamo **errores de forma**, es decir, errores causados cuando una estructura de datos tiene el tipo, tamaño o estructura incorrecta. Por ejemplo, si estás esperando una lista que contiene un entero y yo te doy un simple y viejo entero (no en una lista), no funcionará.

Para ayudar a depurar esta clase de errores, he escrito un módulo llamado `structshape` que proporciona una función, también llamada `structshape`, que toma cualquier tipo de estructura de datos como argumento y devuelve una cadena que resume su forma. Puedes descargarlo en <http://thinkpython2.com/code/structshape.py>

Aquí hay un resultado para una lista simple:

```
>>> from structshape import structshape
>>> t = [1, 2, 3]
>>> structshape(t)
'list of 3 int'
```

Un programa más elegante podría escribir “list of 3 ints”, pero fue más fácil no lidiar con los plurales. Aquí hay una lista de listas:

```
>>> t2 = [[1,2], [3,4], [5,6]]
>>> structshape(t2)
'list of 3 list of 2 int'
```

Si los elementos de la lista no son del mismo tipo, `structshape` los agrupa, en orden, por tipo:

```
>>> t3 = [1, 2, 3, 4.0, '5', '6', [7], [8], 9]
>>> structshape(t3)
'list of (3 int, float, 2 str, 2 list of int, int)'
```

Aquí hay una lista de tuplas:

```
>>> s = 'abc'
>>> lt = list(zip(t, s))
>>> structshape(lt)
'list of 3 tuple of (int, str)'
```

Y aquí hay un diccionario con 3 ítems que mapean enteros a cadenas.

```
>>> d = dict(lt)
>>> structshape(d)
'dict of 3 int->str'
```

Si tienes problemas al hacer seguimiento de tus estructuras de datos, `structshape` puede ayudar.

## 12.9. Glosario

**tupla:** Una secuencia inmutable de elementos.

**asignación de tupla:** Una asignación con una secuencia en el lado derecho y una tupla de variables en el lado izquierdo. El lado derecho es evaluado y luego sus elementos son asignados a las variables en el lado izquierdo.

**reunión:** Una operación que junta múltiples argumentos en una tupla.

**dispersión:** Una operación que hace que una secuencia se comporte como múltiples argumentos.

**objeto zip:** El resultado de llamar a la función incorporada `zip`; un objeto que itera a través de una secuencia de tuplas.

**iterador:** Un objeto que itera a través de una secuencia, pero que no proporciona operadores ni métodos de lista.

**estructura de datos:** Una colección de valores relacionados, a menudo organizada en listas, diccionarios, tuplas, etc.

**error de forma:** Un error causado debido a que un valor tiene la forma incorrecta, es decir, el tipo o tamaño incorrecto.

## 12.10. Ejercicios

**Ejercicio 12.1.** *Escribe una función llamada `mas_frecuente` que tome una cadena e imprima las letras en orden de frecuencia descendente. Encuentra ejemplos de texto en varios idiomas diferentes y ve cómo varía la frecuencia de letras entre los idiomas. Compara tus resultados con las tablas en [http://en.wikipedia.org/wiki/Letter\\_frequencies](http://en.wikipedia.org/wiki/Letter_frequencies). Solución: [http://thinkpython2.com/code/most\\_frequent.py](http://thinkpython2.com/code/most_frequent.py).*

**Ejercicio 12.2.** *¡Más anagramas!*

1. *Escribe un programa que lea una lista de palabras desde un archivo (ver Sección 9.1) e imprima todos los conjuntos de palabras que son anagramas.*

*Aquí hay un ejemplo de cómo se vería la salida:*

```
['deltas', 'desalt', 'lasted', 'salted', 'slated', 'staled']
['retainers', 'ternaries']
['generating', 'greatening']
['resmelts', 'smelters', 'termless']
```

*Pista: quizás quieras construir un diccionario que mapee de una colección de letras a una lista de palabras que se puedan escribir con esas letras. La pregunta es, ¿cómo puedes representar la colección de letras de manera que se pueda utilizar como clave?*

2. *Modifica el programa anterior para que imprima la lista de anagramas más grande primero, seguido de la segunda más grande, y así sucesivamente.*
3. *En Scrabble, un “bingo” es cuando juegas todas las siete fichas de tu atril, junto con una letra en el tablero, para formar una palabra de ocho letras. ¿Qué colección de 8 letras forma la mayor cantidad de bingos posible?*

*Solución: [http://thinkpython2.com/code/anagram\\_sets.py](http://thinkpython2.com/code/anagram_sets.py).*

**Ejercicio 12.3.** *Dos palabras forman un “par de metátesis” si puedes transformar una en la otra intercambiando dos letras; por ejemplo, “converse” y “conserve”. Escribe un programa que encuentre todos los pares de metátesis en el diccionario. Pista: no pruebes todos los pares de palabras ni pruebes todos los posibles intercambios. Solución: <http://thinkpython2.com/code/metathesis.py>. Crédito: Este ejercicio está inspirado por un ejemplo de <http://puzzlers.org>.*

**Ejercicio 12.4.** *Aquí hay otro Puzzler de Car Talk (<http://www.cartalk.com/content/puzzlers>):*

*¿Cuál es la palabra en inglés más larga que, a medida que eliminas sus letras una a la vez, sigue siendo una palabra en inglés válida?*

*A ver, las letras se pueden eliminar desde cualquier extremo, o del medio, pero no puedes reorganizar ninguna de las letras. Cada vez que retiras una letra, terminas con otra palabra en inglés. Si haces eso, eventualmente vas a terminar con una letra y esa también va a ser una palabra en inglés, una que se encuentra en el diccionario. Quiero saber: ¿cuál es la palabra más larga y cuantas letras tiene?*

*Voy a darte un pequeño ejemplo modesto: Sprite. ¿De acuerdo? Inicias con sprite, quitas una letra, una del interior de la palabra, te llevas la r, y nos quedamos con la palabra spite, luego quitamos la e del final, nos quedamos con spit, quitamos la s, nos quedamos con pit, it, y por último I.*

*Escribe un programa que encuentre todas las palabras que se pueden reducir de esta manera, y luego encuentra la más larga.*

*Este ejercicio es uno de los más desafiantes, así que aquí hay algunas sugerencias:*

- 1. Quizás quieras escribir una función que tome una palabra y obtenga una lista de todas las palabras que se pueden formar eliminando una letra. Estas son las “hijas” de la palabra.*
- 2. De manera recursiva, una palabra es reducible si cualquiera de sus hijas es reducible. Como caso base, puedes considerar la cadena vacía reducible.*
- 3. La lista de palabras que proporciono, words.txt, no contiene palabras de una sola letra. Entonces quizás quieras agregar “I”, “a” y la cadena vacía.*
- 4. Para mejorar el desempeño de tu programa, quizás quieras memoizar las palabras que se sabe que son reducibles.*

*Solución: <http://thinkpython2.com/code/reducible.py>.*

## Capítulo 13

# Estudio de caso: selección de estructura de datos

En este punto has aprendido sobre las estructuras de datos esenciales de Python, y has visto algunos de los algoritmos que los utilizan. Si te gustaría saber más sobre algoritmos, este podría ser un buen momento para leer el Apéndice B. Sin embargo, no tienes que leerlo antes de continuar; puedes leerlo cuando te interese.

Este capítulo presenta un estudio de caso con ejercicios que te hacen pensar sobre la elección de estructuras de datos y practicar su uso.

### 13.1. Análisis de frecuencia de palabras

Como siempre, deberías al menos intentar los ejercicios antes de que leas mis soluciones.

**Ejercicio 13.1.** *Escribe un programa que lea un archivo, separe cada línea en palabras, quite los espacios en blanco y la puntuación de las palabras, y las convierta en minúsculas.*

*Pista: El módulo `string` proporciona una cadena con nombre `whitespace`, que contiene los caracteres de espacio, tabulación, nueva línea, etc., y `punctuation` que contiene los caracteres de puntuación. Veamos si podemos hacer que Python diga groserías:*

```
>>> import string
>>> string.punctuation
'!"#$%&\'()*+,-./:;<=>?@[\\]^_`{|}~'
```

*Además, podrías considerar el uso de los métodos de cadena `strip`, `replace` y `translate`.*

**Ejercicio 13.2.** *Ve a Project Gutenberg (<http://gutenberg.org>) y descarga tu libro sin derechos de autor favorito en formato de texto plano.*

*Modifica tu programa del ejercicio anterior para que lea el libro que descargaste, se salte la información del encabezado al principio del archivo y procese el resto de las palabras como antes.*

*Luego, modifica el programa para que cuente la cantidad total de palabras en el libro y el número de veces que se utiliza cada palabra.*

*Imprime el número de palabras diferentes utilizadas en el libro. Compara libros diferentes de autores diferentes, escritos en épocas diferentes. ¿Qué autor utiliza el vocabulario más extenso?*

**Ejercicio 13.3.** *Modifica el programa del ejercicio anterior para que imprima las 20 palabras utilizadas con mayor frecuencia en el libro.*

**Ejercicio 13.4.** *Modifica el programa anterior para que lea una lista de palabras (ver Sección 9.1) y luego imprima todas las palabras del libro que no están en la lista de palabras. ¿Cuántas de ellas son errores tipográficos? ¿Cuántas de ellas son palabras comunes que deberían estar en la lista de palabras y cuántas de ellas son realmente oscuras?*

## 13.2. Números aleatorios

Dadas las mismas entradas, la mayoría de los programas de computador generan las mismas salidas cada vez, por lo que se dice que son **deterministas**. El determinismo es usualmente algo bueno, ya que esperamos que los mismos cálculos produzcan el mismo resultado. Para algunas aplicaciones, sin embargo, queremos que el computador sea impredecible. Los juegos son un ejemplo obvio, pero hay más.

Hacer un programa verdaderamente no determinista resulta difícil, pero hay maneras de hacer que al menos parezca no determinista. Una de ellas es utilizar algoritmos que generen números **pseudoaleatorios**. Los números pseudoaleatorios no son verdaderamente aleatorios porque se generan por una computación determinista, pero solo mirando a dichos números es casi imposible distinguirlos de los aleatorios.

El módulo `random` proporciona funciones que generan números pseudoaleatorios (que simplemente llamaré “aleatorios” desde aquí en adelante).

La función `random` devuelve un número de coma flotante aleatorio entre 0.0 y 1.0 (incluyendo 0.0 pero no 1.0). Cada vez que llamas a `random`, obtienes el siguiente número de una larga serie. Para ver una muestra, ejecuta este bucle:

```
import random

for i in range(10):
    x = random.random()
    print(x)
```

La función `randint` toma los parámetros `low` y `high` y devuelve un entero entre `low` y `high` (incluyendo a ambos).

```
>>> random.randint(5, 10)
5
>>> random.randint(5, 10)
9
```

Para escoger un elemento de una secuencia de manera aleatoria, puedes usar `choice`:

```
>>> t = [1, 2, 3]
>>> random.choice(t)
2
>>> random.choice(t)
3
```

El módulo `random` también proporciona funciones para generar valores aleatorios a partir de distribuciones continuas, incluyendo la gaussiana, exponencial, gamma y algunas más.

**Ejercicio 13.5.** *Escribe una función con nombre `escoger_de_hist` que tome un histograma como se definió en la Sección 11.2 y devuelva un valor aleatorio del histograma, esogido con probabilidad proporcional a la frecuencia. Por ejemplo, para este histograma:*

```
>>> t = ['a', 'a', 'b']
>>> hist = histograma(t)
>>> hist
{'a': 2, 'b': 1}
```

Tu función debería devolver 'a' con probabilidad 2/3 y 'b' con probabilidad 1/3.

### 13.3. Histograma de palabras

Deberías intentar los ejemplos anteriores antes de continuar. Puedes descargar mi solución en [http://thinkpython2.com/code/analyze\\_book1.py](http://thinkpython2.com/code/analyze_book1.py). Además, necesitarás <http://thinkpython2.com/code/emma.txt>.

Aquí hay un programa que lee un archivo y construye un histograma de las palabras en el archivo:

```
import string

def procesar_archivo(nombre_archivo):
    hist = dict()
    fp = open(nombre_archivo)
    for linea in fp:
        procesar_linea(linea, hist)
    return hist

def procesar_linea(linea, hist):
    linea = linea.replace('-', ' ')

    for palabra in linea.split():
        palabra = palabra.strip(string.punctuation + string.whitespace)
        palabra = palabra.lower()
        hist[palabra] = hist.get(palabra, 0) + 1

hist = procesar_archivo('emma.txt')
```

Este programa lee a *emma.txt*, que contiene el texto de *Emma* de Jane Austen.

`procesar_archivo` recorre las líneas del archivo, pasándolas una a la vez a `procesar_linea`. El histograma `hist` se utiliza como acumulador.

`procesar_linea` utiliza el método de cadena `replace` para reemplazar los guiones con espacios antes de utilizar `split` para separar la línea en una lista de cadenas. Recorre la lista de palabras y utiliza `strip` y `lower` para eliminar la puntuación y convertir a minúsculas. (Es una abreviatura decir que las cadenas se “convierten”; recuerda que las cadenas son inmutables, por lo que los métodos como `strip` y `lower` devuelven cadenas nuevas.)

Finalmente, `procesar_linea` actualiza el histograma creando un nuevo ítem o incrementando uno existente.

Para contar el número total de palabras en el archivo, podemos sumar las frecuencias del histograma:

```
def total_palabras(hist):
    return sum(hist.values())
```

El número de palabras diferentes es solo el número de ítems en el diccionario:

```
def palabras_diferentes(hist):  
    return len(hist)
```

Aquí hay algo de código para imprimir los resultados:

```
print('Número total de palabras:', total_palabras(hist))  
print('Número de palabras diferentes:', palabras_diferentes(hist))
```

Y los resultados:

```
Número total de palabras: 161080  
Número de palabras diferentes: 7214
```

## 13.4. Palabras más comunes

Para encontrar las palabras más comunes, podemos crear una lista de tuplas, donde cada tupla contenga una palabra y su frecuencia, y ordenarla.

La siguiente función toma un histograma y devuelve una lista de tuplas frecuencia-palabra:

```
def mas_comunes(hist):  
    t = []  
    for clave, valor in hist.items():  
        t.append((valor, clave))  
  
    t.sort(reverse=True)  
    return t
```

En cada tupla, la frecuencia aparece primero, por lo que la lista resultante está ordenada por frecuencia. Aquí hay un bucle que imprime las diez palabras más comunes:

```
t = mas_comunes(hist)  
print('Las palabras más comunes son:')  
for frec, palabra in t[:10]:  
    print(palabra, frec, sep='\t')
```

Utilizo el argumento de palabra clave `sep` para decirle a `print` que utilice un carácter de tabulación como “separador”, en lugar de un espacio, así la segunda columna está alineada. Estos son los resultados de *Emma*:

```
Las palabras más comunes son:  
to      5242  
the     5205  
and     4897  
of      4295  
i       3191  
a       3130  
it      2529  
her     2483  
was     2400  
she     2364
```

Este código se puede simplificar utilizando el parámetro `key` de la función `sort`. Si sientes curiosidad, puedes leer sobre este en <https://wiki.python.org/moin/HowTo/Sorting>.



## 13.5. Parámetros opcionales

Hemos visto funciones y métodos que toman argumentos opcionales. Es posible, además, escribir funciones definidas por el programador con argumentos opcionales. Por ejemplo, aquí hay una función que imprime las palabras más comunes de un histograma:

```
def imprime_mas_comunes(hist, num=10):
    t = mas_comunes(hist)
    print('Las palabras más comunes son:')
    for frec, palabra in t[:num]:
        print(palabra, frec, sep='\t')
```

El primer parámetro es obligatorio, el segundo es opcional. El **valor por defecto** de num es 10.

Si solo entregas un argumento:

```
imprimir_mas_comunes(hist)
```

num obtiene el valor por defecto. Si entregas dos argumentos:

```
imprimir_mas_comunes(hist, 20)
```

num obtiene el valor del argumento en su lugar. En otras palabras, el argumento opcional **anula** al valor por defecto.

Si una función tiene parámetros tanto obligatorios como opcionales, todos los parámetros obligatorios tienen que ir primero, seguido por los opcionales.

## 13.6. Diferencia de diccionarios

Encontrar las palabras del libro que no están en la lista de palabras de words.txt es un problema que podrías reconocer como diferencia de conjuntos, es decir, queremos encontrar todas las palabras de un conjunto (las palabras en el libro) que no están en el otro (las palabras en la lista).

diferencia toma dos diccionarios, d1 y d2, y devuelve un nuevo diccionario que contiene todas las claves de d1 que no están en d2. Dado que en realidad no nos importan los valores, los ponemos todos como None.

```
def diferencia(d1, d2):
    res = dict()
    for clave in d1:
        if clave not in d2:
            res[clave] = None
    return res
```

Para encontrar las palabras en el libro que no están en words.txt, podemos utilizar procesar\_archivo para construir un histograma para words.txt, y luego obtener la diferencia:

```
palabras = procesar_archivo('words.txt')
dif = diferencia(hist, palabras)
```

```
print("Palabras en el libro que no están en la lista de palabras:")
for palabra in dif:
    print(palabra, end=' ')
```

Aquí hay algunos de los resultados para *Emma*:

Palabras en el libro que no están en la lista de palabras:

```
rencontre jane's blanche woodhouses disingenuousness
friend's venice apartment ...
```

Algunas de esas palabras son nombres y posesivos. Otras, como “rencontre”, ya no son de uso común. Sin embargo, algunas son palabras comunes que realmente deberían estar en la lista!

**Ejercicio 13.6.** *Python proporciona una estructura de datos llamada set que provee muchas operaciones de conjunto comunes. Puedes leer sobre estas en la Sección 19.5, o leer la documentación en <http://docs.python.org/3/library/stdtypes.html#types-set>.*

*Escribe un programa que utilice la diferencia de conjuntos para encontrar palabras en el libro que no están en la lista. Solución: [http://thinkpython2.com/code/analyze\\_book2.py](http://thinkpython2.com/code/analyze_book2.py).*

## 13.7. Palabras aleatorias

Para escoger una palabra de forma aleatoria del histograma, el algoritmo más simple es construir una lista con múltiples copias de cada palabra, según la frecuencia observada, y luego escoger de la lista:

```
def palabra_aleatoria(h):
    t = []
    for palabra, frec in h.items():
        t.extend([palabra] * frec)

    return random.choice(t)
```

La expresión `[palabra] * frec` crea una lista con `frec` copias de la cadena `palabra`. El método `extend` es similar a `append`, excepto que el argumento es una secuencia.

Este algoritmo funciona, pero no es muy eficiente: cada vez que escoges una palabra aleatoria, reconstruye la lista, que es tan grande como el libro original. Una mejora obvia es construir la lista una vez y luego hacer múltiples selecciones, pero la lista es grande aún.

Una alternativa es:

1. Utilizar `keys` para obtener una lista de las palabras del libro.
2. Construir una lista que contenga la suma acumulativa de las frecuencias de las palabras (ver Ejercicio 10.2). El último ítem en esta lista es el número total de palabras en el libro:  $n$ .
3. Escoger un número de 1 a  $n$ . Utilizar búsqueda de bisección (ver Ejercicio 10.10) para encontrar el índice donde el número aleatorio sería insertado en la suma acumulativa.
4. Utilizar el índice para encontrar la palabra correspondiente en la lista de palabras.

**Ejercicio 13.7.** *Escribe un programa que utilice este algoritmo para escoger una palabra aleatoria del libro. Solución: [http://thinkpython2.com/code/analyze\\_book3.py](http://thinkpython2.com/code/analyze_book3.py).*

## 13.8. Análisis de Markov

Si escoges palabras del libro de manera aleatoria, puedes obtener una idea del vocabulario, pero probablemente no obtendrás una oración:

this the small regard harriet which knightley's it most things

Una serie de palabras aleatorias rara vez tiene sentido porque no hay relación entre palabras sucesivas. Por ejemplo, en una oración real esperarías que un artículo como “the” esté seguida por un adjetivo o un sustantivo, y probablemente no por un verbo o un adverbio.

Una manera de medir estas relaciones es el análisis de Markov, que caracteriza, para una secuencia de palabras dada, la probabilidad de las palabras que podrían venir después. Por ejemplo, la canción *Eric, the Half a Bee* comienza:

Half a bee, philosophically,  
Must, ipso facto, half not be.  
But half the bee has got to be  
Vis a vis, its entity. D'you see?

But can a bee be said to be  
Or not to be an entire bee  
When half the bee is not a bee  
Due to some ancient injury?

En este texto, la frase “half the” está siempre seguida por la palabra “bee”, pero la frase “the bee” podría estar seguida por “has” o “is”.

El resultado del análisis de Markov es un mapeo de cada prefijo (como “half the” y “the bee”) a todos los posibles sufijos (como “has” e “is”).

Dado este mapeo, puedes generar un texto aleatorio comenzando con cualquier prefijo y escogiendo de manera aleatoria en los posibles sufijos. Después, puedes combinar el final del prefijo y el nuevo sufijo para formar el nuevo prefijo, y repetir.

Por ejemplo, si comienzas con el prefijo “Half a”, entonces la siguiente palabra tiene que ser “bee”, porque el prefijo solo aparece una vez en el texto. El siguiente prefijo es “a bee”, por lo que el siguiente sufijo podría ser “philosophically”, “be” o “due”.

En este ejemplo, la longitud del prefijo es siempre dos, pero puedes hacer análisis de Markov con cualquier longitud de prefijo.

**Ejercicio 13.8. Análisis de Markov:**

1. Escribe un programa que lea un texto desde un archivo y realice análisis de Markov. El resultado podría ser un diccionario que mapee de prefijos a una colección de posibles sufijos. La colección podría ser una lista, tupla o diccionario; depende de ti hacer una elección apropiada. Puedes probar tu programa con un prefijo de largo dos, pero podrías escribir el programa de una manera en que resulte fácil intentar otras longitudes.
2. Agrega una función al programa anterior que genere texto aleatorio basado en el análisis de Markov. Aquí hay un ejemplo de Emma con prefijo de largo 2:

*He was very clever, be it sweetness or be angry, ashamed or only amused, at such a stroke. She had never thought of Hannah till you were never meant for me?I cannot make speeches, Emma: "he soon cut it all himself.*

*Para este ejemplo, déjé la puntuación unida a las palabras. El resultado es casi sintácticamente correcto, pero no del todo. Semánticamente, casi tiene sentido, pero no del todo.*

*¿Qué ocurre si aumentas la longitud del prefijo? ¿Tiene más sentido el texto aleatorio?*

3. Una vez que tu programa funcione, quizás quieras probar una mezcla: si combinas texto de dos o más libros, el texto aleatorio que generes mezclará el vocabulario y las frases de las fuentes de maneras interesantes.

*Crédito: Este estudio de caso está basado en un ejemplo de Kernighan and Pike, The Practice of Programming, Addison-Wesley, 1999.*

Deberías intentar este ejercicio antes de continuar; luego puedes descargar mi solución en <http://thinkpython2.com/code/markov.py>. Además, necesitarás <http://thinkpython2.com/code/emma.txt>.

## 13.9. Estructuras de datos

Utilizar análisis de Markov para generar texto aleatorio es divertido, pero también hay un punto en este ejercicio: la selección de la estructura de datos. En tu solución al ejercicio anterior, tuviste que escoger:

- Cómo representar los prefijos.
- Cómo representar la colección de posibles sufijos.
- Cómo representar el mapeo de cada prefijo a la colección de posibles sufijos.

El último es fácil: un diccionario es la elección obvia para mapear de claves a valores correspondientes.

Para los prefijos, las opciones más obvias son cadenas, lista de cadenas o tupla de cadenas.

Para los sufijos, una opción es una lista, otra es un histograma (diccionario).

¿Cómo deberías escoger? El primer paso es pensar en las operaciones que necesitarás implementar para cada estructura de datos. Para prefijos, necesitamos poder eliminar palabras del principio y agregar al final. Por ejemplo, si el prefijo actual es “Half a”, y la siguiente palabra es “bee”, necesitas poder formar el siguiente prefijo, “a bee”.

Tu primera elección podría ser una lista, dado que es fácil agregar y eliminar elementos, pero también necesitamos poder utilizar los prefijos y claves en un diccionario, así que eso descarta las listas. Con las tuplas, no puedes anexar o eliminar, pero puedes utilizar el operador suma para formar una nueva tupla:

```
def cambiar(prefijo, palabra):
    return prefijo[1:] + (palabra,)
```

cambiar toma una tupla de palabras, prefijo, y una cadena, palabra, y forma una nueva tupla que tiene todas las palabras en prefijo excepto la primera, y palabra agregada al final.

Para la colección de sufijos, las operaciones que necesitamos realizar incluyen agregar un nuevo sufijo (o aumentar la frecuencia de uno existente) y escoger un sufijo aleatorio.

Agregar un nuevo sufijo es igual de fácil con lista o histograma en cuanto a implementación. Escoger un elemento aleatorio de una lista es fácil; escoger del histograma es más difícil de hacer de manera eficiente (ver Ejercicio 13.7).

Hasta ahora hemos estado hablando principalmente sobre la facilidad de la implementación, pero hay otros factores a considerar al escoger estructuras de datos. Uno es el tiempo de ejecución. A veces hay una razón teórica para esperar que una estructura de datos sea más rápida que otra; por ejemplo, mencioné que el operador `in` es más rápido para diccionarios que para listas, al menos cuando el número de elementos es grande.

Sin embargo, a menudo no sabes de antemano cuál implementación será más rápida. Una opción es implementar ambas y ver cuál es mejor. Este enfoque se llama **evaluación comparativa** (en inglés, *benchmarking*). Una alternativa práctica es escoger la estructura de datos que sea la más fácil de implementar, y luego ver si es lo suficientemente rápida para la aplicación en cuestión. Si es así, no hay necesidad de seguir. Si no, hay herramientas, como el módulo `profile`, que puede identificar los lugares en un programa que toman la mayor parte del tiempo.

El otro factor a considerar es el espacio de almacenamiento. Por ejemplo, utilizar un histograma para la colección de sufijos podría ocupar menos espacio porque solo tienes que almacenar cada palabra una vez, sin importar cuántas veces aparezca en el texto. En algunos casos, ahorrar espacio puede también hacer que tu programa se ejecute más rápido, y en el caso extremo, tu programa podría no ejecutarse en absoluto si te quedas sin memoria. Sin embargo, para muchas aplicaciones el espacio es una consideración secundaria después del tiempo de ejecución.

Una última reflexión: en esta discusión, he insinuado que deberíamos utilizar una estructura de datos tanto para el análisis como para la generación. Pero dado que estas son fases separadas, sería posible también utilizar una estructura para el análisis y luego convertirla a otra estructura para la generación. Esto sería una ganancia neta si el tiempo ahorrado durante la generación excediera al tiempo ocupado en la conversión.

## 13.10. Depuración

Cuando estés depurando un programa, y especialmente si estás trabajando en un error de programación difícil, hay cinco cosas para probar:

**Lectura:** Examina tu código, léelo de nuevo a ti mismo y verifica que dice lo que querías decir.

**Ejecución:** Experimenta haciendo cambios y ejecutando versiones diferentes. A menudo, si muestras en pantalla lo correcto en el lugar correcto del programa, el problema se vuelve obvio, pero a veces tienes que construir andamiaje.

**Rumiación:** ¡Tómate un tiempo para pensar! ¿Qué tipo de error es: de sintaxis, de tiempo de ejecución o semántico? ¿Qué información puedes obtener a partir de los mensajes de error o de la salida del programa? ¿Qué tipo de error podría causar el problema que estás viendo? ¿Qué cambiaste últimamente, antes de que el problema apareciera?

**Patito de goma:** Si le explicas el problema a alguien más, a veces encuentras la respuesta antes de terminar la pregunta. A menudo no necesitas a la otra persona; podrías simplemente hablarle a un patito de goma. Y ese es el origen de la conocida estrategia

llamada **método de depuración del patito de goma** (en inglés, *rubber duck debugging*). No estoy inventando; ver [https://en.wikipedia.org/wiki/Rubber\\_duck\\_debugging](https://en.wikipedia.org/wiki/Rubber_duck_debugging).

**Retroceso:** En algún punto, lo mejor que se puede hacer es retroceder, deshacer los cambios recientes, hasta que regreses a un programa que funcione y que entiendas. Luego puedes comenzar a reconstruir.

Los programadores principiantes a veces se atascan en una de estas actividades y olvidan las otras. Cada actividad viene con su propio modo de fallo.

Por ejemplo, leer tu código podría ayudar si el problema es un error tipográfico, pero no si el problema es un malentendido conceptual. Si no entiendes lo que tu programa hace, puedes leerlo 100 veces y nunca ver el error, porque el error está en tu cabeza.

Ejecutar experimentos puede ayudar, especialmente si ejecutas pruebas pequeñas y simples. Pero si ejecutas experimentos sin pensar ni leer tu código, podrías caer en un patrón que yo llamo “programación de camino aleatorio”, que es el proceso de hacer cambios aleatorios hasta que el programa haga lo correcto. No hace falta decir que la programación de camino aleatorio puede tomar mucho tiempo.

Tienes que tomarte el tiempo de pensar. La depuración es como una ciencia experimental: deberías tener al menos una hipótesis acerca de cuál es el problema. Si hay dos o más posibilidades, intenta pensar en una prueba que eliminaría una de ellas.

Sin embargo, incluso las mejores técnicas de depuración fallarán si hay muchos errores, o si el código que intentas arreglar es muy grande y complicado. A veces la mejor opción es retroceder, simplificando el programa hasta que obtengas algo que funcione y que entiendas.

Los programadores principiantes son a menudo reacios a retroceder porque no pueden soportar eliminar una línea de código (incluso si es incorrecta). Si te hace sentir mejor, copia tu programa en otro archivo antes de comenzar a recortarlo. Luego puedes volver a copiar los pedazos uno a la vez.

Encontrar un error de programación difícil requiere lectura, ejecución, rumiación y a veces retroceso. Si te atascas en una de estas actividades, intenta las otras.

## 13.11. Glosario

**determinista:** Dicho de un programa que hace lo mismo cada vez que se ejecuta, dadas las mismas entradas.

**pseudoaleatorio:** Dicho de una secuencia de números que aparenta ser aleatorio, pero se genera por un programa determinista.

**valor por defecto:** El valor dado a un parámetro opcional si no se le entrega un argumento.

**anular:** Reemplazar un valor por defecto con un argumento.

**evaluación comparativa:** El proceso de escoger entre estructuras de datos implementando alternativas y probándolas en una muestra de posibles entradas.

**método de depuración del patito de goma:** Depurar explicando tu problema a un objeto inanimado tal como un patito de goma. Articular el problema puede ayudarte a resolverlo, incluso si el patito de goma no sabe Python.

## 13.12. Ejercicios

**Ejercicio 13.9.** El “rango” de una palabra es su posición en una lista de palabras ordenadas por frecuencia: la palabra más común tiene rango 1, la segunda más común tiene rango 2, etc.

La ley de Zipf describe una relación entre los rangos y frecuencias de palabras en lenguajes naturales (<http://en.wikipedia.org/wiki/Zipf's Law>). Específicamente, predice que la frecuencia,  $f$ , de cada palabra con rango  $r$  es:

$$f = cr^{-s}$$

donde  $s$  y  $c$  son parámetros que dependen del lenguaje y el texto. Si tomas el logaritmo de ambos lados de esta ecuación, obtienes:

$$\log f = \log c - s \log r$$

Entonces, si graficas  $\log f$  versus  $\log r$ , deberías obtener una línea recta con pendiente  $-s$  e intercepto  $\log c$ .

Escribe un programa que lea un texto de un archivo, cuente las frecuencias de palabras e imprima una línea para cada palabra, en orden de frecuencia descendiente, con  $\log f$  y  $\log r$ . Utiliza el programa de gráficos de tu elección para graficar los resultados y verificar si forman una línea recta. ¿Puedes estimar el valor de  $s$ ?

Solución: <http://thinkpython2.com/code/zipf.py>. Para ejecutar mi solución, necesitas el módulo de gráficos `matplotlib`. Si instalaste Anaconda, ya tienes `matplotlib`; de lo contrario, quizás tengas que instalarlo.





# Capítulo 14

## Archivos

Este capítulo presenta la idea de programas “persistentes” que mantienen los datos en almacenamiento permanente y muestra cómo utilizar diferentes tipos de almacenamiento permanente, tales como archivos y bases de datos.

### 14.1. Persistencia

La mayoría de los programas que hemos visto hasta ahora son transitorios en el sentido de que se ejecutan por un tiempo corto y producen alguna salida, pero cuando terminan sus datos desaparecen. Si ejecutas el programa de nuevo, comienza con una pizarra en blanco.

Otros programas son **persistentes**: se ejecutan por un tiempo largo (o todo el tiempo), mantienen al menos algunos de sus datos en almacenamiento permanente (un disco duro, por ejemplo) y, si se apagan y reinician, continúan donde estaban.

Ejemplos de programas persistentes son los sistemas operativos, que se ejecutan casi siempre que un computador está encendido, y los servidores web, que se ejecutan todo el tiempo, esperando solicitudes para entrar en la red.

Una de las maneras más simples que tienen los programas para mantener sus datos es leyendo y escribiendo archivos de texto. Ya hemos visto programas que leen archivos de texto; en este capítulo veremos programas que los escriban.

Una alternativa es almacenar el estado del programa en una base de datos. En este capítulo presentaré una base de datos simple y un módulo, `pickle`, que facilita el almacenamiento de datos del programa.

### 14.2. Leer y escribir

Un archivo de texto es una secuencia de caracteres almacenados en un medio permanente como un disco duro, memoria flash o CD-ROM. Vimos cómo abrir y leer un archivo en la Sección 9.1.

Para escribir un archivo, tienes que abrirlo con el modo `'w'` como segundo parámetro:

```
>>> fout = open('output.txt', 'w')
```

Si el archivo existe, abrirlo en modo escritura elimina los datos antiguos y comienza de nuevo, ¡así que ten cuidado! Si el archivo no existe, se crea uno nuevo.

`open` devuelve un objeto de archivo que proporciona métodos para trabajar con el archivo. El método `write` pone datos en el archivo.

```
>>> linea1 = "He aquí el junco,\n"
>>> fout.write(linea1)
18
```

El valor de retorno es la cantidad de caracteres que se escribieron. El objeto de archivo hace un seguimiento del lugar en donde está, por lo cual si llamas a `write` de nuevo, agrega los nuevos datos al final del archivo.

```
>>> linea2 = "emblema de nuestra tierra.\n"
>>> fout.write(linea2)
27
```

Cuando hayas terminado de escribir, deberías cerrar el archivo.

```
>>> fout.close()
```

Si no cierras el archivo, se cierra cuando el programa termina.

### 14.3. Operador de formato

El argumento de `write` tiene que ser una cadena, por lo cual si queremos poner valores en un archivo, tenemos que convertirlos a cadenas. La manera más fácil de hacer eso es con `str`:

```
>>> x = 52
>>> fout.write(str(x))
```

Una alternativa es utilizar el **operador de formato**: `%`. Cuando se aplica a enteros, `%` es el operador de módulo. Pero cuando el primer operando es una cadena, `%` es el operador de formato.

El primer operando es la **cadena de formato**, que contiene una o más **secuencias de formato**, las cuales especifican la manera en que se da formato al segundo operando. El resultado es una cadena.

Por ejemplo, la secuencia de formato `'%d'` significa que el segundo operando debería formatearse como un entero decimal:

```
>>> camellos = 42
>>> '%d' % camellos
'42'
```

El resultado es la cadena `'42'`, que no debe confundirse con el valor entero 42.

Una secuencia de formato puede aparecer en cualquier lugar de la cadena, así que puedes incrustar un valor en una oración:

```
>>> 'He visto %d camellos.' % camellos
'He visto 42 camellos.'
```

Si hay más de una secuencia de formato en la cadena, el segundo argumento tiene que ser una tupla. Cada secuencia de formato es emparejada con un elemento de la tupla, en orden.

El siguiente ejemplo utiliza '%d' para dar formato a un entero, '%g' para dar formato a un número de coma flotante y '%s' para dar formato a una cadena:

```
>>> 'En %d años he visto %g %s.' % (3, 0.1, 'camellos')
'En 3 años he visto 0.1 camellos.'
```

El número de elementos en la tupla tiene que coincidir con el número de secuencias de formato en la cadena. Además, los tipos de los elementos tienen que coincidir con las secuencias de formato:

```
>>> '%d %d %d' % (1, 2)
TypeError: not enough arguments for format string
>>> '%d' % 'dólares'
TypeError: %d format: a number is required, not str
```

En el primer ejemplo, no hay suficientes elementos; en el segundo, el elemento tiene tipo incorrecto.

Para más información sobre el operador de formato, ver <https://docs.python.org/3/library/stdtypes.html#printf-style-string-formatting>. Una alternativa más poderosa es el método de cadena `format`, del cual puedes leer en <https://docs.python.org/3/library/stdtypes.html#str.format>.

## 14.4. Nombres de archivo y rutas

Los archivos se organizan en **directorios** (también llamados “carpetas”). Cada programa que se ejecuta tiene un “directorio actual”, que es el directorio por defecto para la mayor parte de las operaciones. Por ejemplo, cuando abres un archivo para lectura, Python lo busca en el directorio actual.

El módulo `os` proporciona funciones para trabajar con archivos y directorios (“os” significa “operating system”). `os.getcwd` devuelve el nombre del directorio actual:

```
>>> import os
>>> cwd = os.getcwd()
>>> cwd
'/home/dinsdale'
```

`cwd` significa “current working directory”. El resultado en este ejemplo es `/home/dinsdale`, que es el directorio principal de un usuario con nombre `dinsdale`.

Una cadena como `'/home/dinsdale'` que identifica un archivo o un directorio se llama **ruta** (en inglés, *path*).

Un nombre de archivo simple, como `memo.txt`, también se considera una ruta, pero es una **ruta relativa** porque se relaciona con el directorio actual. Si el directorio actual es `/home/dinsdale`, el nombre de archivo `memo.txt` haría referencia a `/home/dinsdale/memo.txt`.

Una ruta que comienza con `/` no depende del directorio actual: se llama **ruta absoluta**. Para encontrar la ruta absoluta de un archivo, puedes utilizar `os.path.abspath`:

```
>>> os.path.abspath('memo.txt')
'/home/dinsdale/memo.txt'
```

os.path proporciona otras funciones para trabajar con nombres de archivo y rutas. Por ejemplo, os.path.exists verifica si un archivo o directorio existe:

```
>>> os.path.exists('memo.txt')
True
```

Si existe, os.path.isdir verifica si es un directorio:

```
>>> os.path.isdir('memo.txt')
False
>>> os.path.isdir('/home/dinsdale')
True
```

Del mismo modo, os.path.isfile verifica si es un archivo.

os.listdir devuelve una lista de los archivos (y otros directorios) en el directorio dado:

```
>>> os.listdir(cwd)
['music', 'photos', 'memo.txt']
```

Para demostrar estas funciones, el siguiente ejemplo “recorre” un directorio, imprime los nombres de todos los archivos y se llama a sí mismo de manera recursiva en todos los directorios.

```
def walk(nombre_dir):
    for nombre in os.listdir(nombre_dir):
        ruta = os.path.join(nombre_dir, nombre)

        if os.path.isfile(ruta):
            print(ruta)
        else:
            walk(ruta)
```

os.path.join toma un directorio y un archivo y los une en una ruta completa.

El módulo os proporciona una función llamada walk que es similar a esta pero más versátil. Como ejercicio, lee la documentación y utiliza esta función para imprimir los nombres de los archivos en un directorio dado y sus subdirectorios. Puedes descargar mi solución en <http://thinkpython2.com/code/walk.py>.

## 14.5. Capturar excepciones

Muchas cosas pueden salir mal cuando intentas leer y escribir archivos. Si intentas abrir un archivo que no existe, obtienes un FileNotFoundError:

```
>>> fin = open('archivo_malo')
FileNotFoundError: [Errno 2] No such file or directory: 'archivo_malo'
```

Si no tienes permisos de acceso a un archivo:

```
>>> fout = open('/etc/passwd', 'w')
PermissionError: [Errno 13] Permission denied: '/etc/passwd'
```

Y si intentas abrir un directorio para lectura, obtienes

```
>>> fin = open('/home')
IsADirectoryError: [Errno 21] Is a directory: '/home'
```

Para evitar estos errores, podrías utilizar funciones como `os.path.exists` y `os.path.isfile`, pero tomaría mucho tiempo y código verificar todas las posibilidades (si “Errno 21” indica algo, hay al menos 21 cosas que pueden salir mal).

Es mejor continuar y avanzar —y lidiar con los problemas, si ocurren— que es exactamente lo que hace la sentencia `try`. La sintaxis es similar a una sentencia `if...else`:

```
try:
    fin = open('archivo_malo')
except:
    print('Algo salió mal.')
```

Python comienza ejecutando la cláusula `try`. Si todo sale bien, se salta la cláusula `except` y continúa. Si ocurre una excepción, salta hacia afuera de la cláusula `try` y ejecuta la cláusula `except`.

Manejar una excepción con una sentencia `try` se llama **capturar** una excepción. En este ejemplo, la cláusula `except` imprime un mensaje de error que no es de mucha ayuda. En general, capturar una excepción te da una oportunidad de arreglar el problema, o intentar de nuevo, o al menos terminar el programa de manera elegante.

## 14.6. Bases de datos

Una **base de datos** es un archivo que está organizado para almacenar datos. Muchas bases de datos están organizadas como un diccionario en el sentido de que mapean de claves a valores. La diferencia más grande entre una base de datos y un diccionario es que la base de datos está en un disco (u otro almacenamiento permanente), por lo cual persiste después de que el programa termina.

El módulo `dbm` proporciona una interfaz para crear y actualizar archivos de base de datos. Como ejemplo, crearé una base de datos que contiene títulos para archivos de imagen.

Abrir una base de datos es similar a abrir otros archivos:

```
>>> import dbm
>>> db = dbm.open('títulos', 'c')
```

El modo `'c'` significa que la base de datos debería ser creada si no existe ya. El resultado es un objeto de base de datos que puede ser utilizado (para la mayoría de las operaciones) como un diccionario.

Cuando creas un nuevo ítem, `dbm` actualiza el archivo de base de datos.

```
>>> db['cleese.png'] = 'Foto de John Cleese.'
```

Cuando accedes a uno de los ítems, `dbm` lee el archivo:

```
>>> db['cleese.png']
b'Foto de John Cleese.'
```

El resultado es un **objeto de bytes**, que es la razón por la cual comienza con `b`. Un objeto de bytes es similar a una cadena en muchos sentidos. A medida que llegas más lejos en Python, la diferencia se vuelve importante, pero por ahora podemos ignorarla.

Si haces otra asignación a una clave existente, `dbm` reemplaza el valor antiguo:

```
>>> db['cleese.png'] = 'Foto de John Cleese haciendo un tonto paseo.'
>>> db['cleese.png']
b'Foto de John Cleese haciendo un tonto paseo.'
```

Algunos métodos de diccionario, como `keys` e `items`, no funcionan con objetos de base de datos. Pero la iteración con un bucle `for` funciona:

```
for clave in db.keys():
    print(clave, db[clave])
```

Al igual que los otros archivos, deberías cerrar la base de datos cuando termines:

```
>>> db.close()
```

## 14.7. Uso de pickle

Una limitación de `dbm` es que las claves y valores tienen que ser cadenas o bytes. Si intentas utilizar cualquier otro tipo, obtienes un error.

El módulo `pickle` puede ayudar. Este módulo traduce casi cualquier tipo de objeto en una cadena adecuada para almacenar en una base de datos y también traduce cadenas para que vuelvan a ser objetos.

`pickle.dumps` toma un objeto como parámetro y devuelve una representación de cadena (`dumps` es una abreviatura de “dump string”):

```
>>> import pickle
>>> t = [1, 2, 3]
>>> pickle.dumps(t)
b'\x80\x03]q\x00(K\x01K\x02K\x03e.'
```

El formato no es obvio para lectores humanos: está hecho para que `pickle` lo encuentre fácil de interpretar. `pickle.loads` (“load string”) reconstituye el objeto:

```
>>> t1 = [1, 2, 3]
>>> s = pickle.dumps(t1)
>>> t2 = pickle.loads(s)
>>> t2
[1, 2, 3]
```

Aunque el nuevo objeto tiene el mismo valor que el antiguo, no es (en general) el mismo objeto:

```
>>> t1 == t2
True
>>> t1 is t2
False
```

En otras palabras, “picklear” y luego “despicklear” tiene el mismo efecto que copiar el objeto.

Puedes utilizar `pickle` para almacenar objetos que no sean cadena en una base de datos. De hecho, esta combinación es tan común que ha sido encapsulada en un módulo llamado `shelve`.

## 14.8. Tuberías

La mayoría de los sistemas operativos proporcionan una interfaz de línea de comandos, también conocida como **shell**. Las shells generalmente proporcionan comandos para navegar en el sistema de archivos e iniciar aplicaciones. Por ejemplo, en Unix puedes cambiar directorios con `cd`, mostrar los contenidos de un directorio con `ls` e iniciar un navegador web escribiendo (por ejemplo) `firefox`.

Cualquier programa que puedes iniciar desde la shell puede también iniciarse desde Python utilizando un **objeto de tubería** (en inglés, *pipe object*), que representa un programa en ejecución.

Por ejemplo, el comando Unix `ls -l` normalmente muestra los contenidos del directorio actual en formato largo. Puedes ejecutar `ls` con `os.popen`<sup>1</sup>:

```
>>> cmd = 'ls -l'
>>> fp = os.popen(cmd)
```

El argumento es una cadena que contiene un comando de shell. El valor de retorno es un objeto que se comporta como un archivo abierto. Puedes leer la salida del proceso `ls` una línea a la vez con `readline` u obtener todo de una vez con `read`:

```
>>> res = fp.read()
```

Cuando termines, cierras la tubería como un archivo:

```
>>> stat = fp.close()
>>> print(stat)
None
```

El valor de retorno es el estado final del proceso `ls`; `None` significa que termina de manera normal (sin errores).

Por ejemplo, la mayoría de los sistemas Unix proporcionan un comando llamado `md5sum` que lee los contenidos de un archivo y calcula una “suma de verificación”. Puedes leer sobre MD5 en <http://en.wikipedia.org/wiki/Md5>. Este comando proporciona una manera eficiente de verificar que dos archivos tengan los mismos contenidos. La probabilidad de que diferentes contenidos entreguen la misma suma de verificación es muy pequeña (es decir, improbable que ocurra antes de que el universo colapse).

Puedes utilizar una tubería para ejecutar `md5sum` desde Python y obtener el resultado:

```
>>> nombre_archivo = 'book.tex'
>>> cmd = 'md5sum ' + nombre_archivo
>>> fp = os.popen(cmd)
>>> res = fp.read()
>>> stat = fp.close()
>>> print(res)
1e0033f0ed0656636de0d75144ba32e0  book.tex
>>> print(stat)
None
```

---

<sup>1</sup>`popen` ahora está obsoleto, lo cual significa que se supone que debemos dejar de utilizarla y comenzar a utilizar el módulo `subprocess`. Pero para casos simples, encuentro a `subprocess` más complicado que necesario. Entonces voy a seguir utilizando `popen` hasta que lo quiten.

## 14.9. Escribir módulos

Cualquier archivo que contiene código Python puede importarse como módulo. Por ejemplo, supongamos que tienes un archivo con nombre `wc.py` con el siguiente código:

```
def contar_lineas(nombre_archivo):
    contar = 0
    for linea in open(nombre_archivo):
        contar += 1
    return contar
```

```
print(contar_lineas('wc.py'))
```

Si ejecutas este programa, se lee a sí mismo e imprime el número de líneas en el archivo, el cual es 7. Puedes también importarlo así:

```
>>> import wc
7
```

Ahora tienes un objeto de módulo `wc`:

```
>>> wc
<module 'wc' from 'wc.py'>
```

El objeto de módulo proporciona `contar_lineas`:

```
>>> wc.contar_lineas('wc.py')
7
```

Entonces así es como escribes módulos en Python.

El único problema con este ejemplo es que, cuando importas el módulo, ejecuta el código de prueba de la parte final. Normalmente, cuando importas un módulo, este define nuevas funciones pero no las ejecuta.

Los programas que serán importados como módulos a menudo utilizan la siguiente forma:

```
if __name__ == '__main__':
    print(contar_lineas('wc.py'))
```

`__name__` es una variable incorporada que se establece cuando se inicia el programa. Si el programa se está ejecutando como un script, `__name__` tiene el valor `'__main__'`; en ese caso, el código de prueba se ejecuta. De lo contrario, si el módulo se está importando, se salta el código de prueba.

Como ejercicio, escribe este ejemplo en un archivo con nombre `wc.py` y ejecútalo como un script. Luego ejecuta el intérprete de Python y haz `import wc`. ¿Cuál es el valor de `__name__` cuando el módulo se está importando?

Advertencia: si importas un módulo que ya ha sido importado, Python no hace nada. No vuelve a leer el archivo, incluso si ha cambiado.

Si quieres volver a cargar un módulo, puedes utilizar la función incorporada `reload`, pero puede ser complicada, por lo cual lo más seguro es reiniciar el intérprete y luego importar el módulo de nuevo.



## 14.10. Depuración

Cuando lees y escribes archivos, podrías tener problemas con el espacio en blanco. Estos errores pueden ser difíciles de depurar porque los espacios, sangrías y nuevas líneas son normalmente invisibles:

```
>>> s = '1 2\t 3\n 4'
>>> print(s)
1 2 3
 4
```

La función incorporada `repr` puede ayudar. Toma cualquier objeto como argumento y devuelve una representación de cadena del objeto. Para las cadenas, representa los caracteres de espacio en blanco con secuencias de barras invertidas:

```
>>> print(repr(s))
'1 2\t 3\n 4'
```

Esto puede ser útil para depurar.

Otro problema que podrías encontrar es que sistemas diferentes utilizan caracteres diferentes para indicar el fin de una línea. Algunos sistemas utilizan una nueva línea, representada por `\n`. Otros utilizan un carácter “return”, representado por `\r`. Algunos utilizan ambos. Si mueves archivos entre sistemas diferentes, estas inconsistencias pueden causar problemas.

Para la mayoría de los sistemas, hay aplicaciones para convertir de un formato a otro. Puedes encontrarlas (y leer más sobre este tema) en <http://en.wikipedia.org/wiki/Newline>. O, por supuesto, puedes escribir una por tu cuenta.

## 14.11. Glosario

**persistente:** Dicho de un programa que se ejecuta indefinidamente y mantiene al menos alguno de sus datos en almacenamiento permanente.

**operador de formato:** Un operador, `%`, que toma una cadena de formato y una tupla y genera una cadena que incluye los elementos de la tupla con el formato especificado por la cadena de formato.

**cadena de formato:** Una cadena, utilizada con el operador de formato, que contiene secuencias de formato.

**secuencia de formato:** Una secuencia de caracteres en una cadena de formato, como `%d`, que especifica cómo debería ser el formato de un valor.

**archivo de texto:** Una secuencia de caracteres guardada en almacenamiento permanente, como en un disco duro.

**directorío:** Una colección de archivos que tiene un nombre, también llamado carpeta.

**ruta:** Una cadena que identifica un archivo.

**ruta relativa:** Una ruta que comienza desde el directorio actual.

**ruta absoluta:** Una ruta que comienza desde el directorio más alto en el sistema de archivos.

**capturar** : Evitar que una excepción termine un programa, utilizando las sentencias `try` y `except`.

**base de datos**: Un archivo cuyo contenido está organizado como un diccionario con claves y sus correspondientes valores.

**objeto de bytes**: Un objeto similar a una cadena.

**shell**: Un programa que permite a los usuarios escribir comandos y luego ejecutarlos iniciando otros programas.

**objeto de tubería**: Un objeto que representa un programa en ejecución, permitiendo a un programa de Python ejecutar comandos y leer los resultados.

## 14.12. Ejercicios

**Ejercicio 14.1.** *Escribe una función llamada `sed` que tome como argumentos una cadena de patrón, una cadena de reemplazo y dos nombres de archivo; debería leer el primer archivo y escribir los contenidos en el segundo archivo (creándolo si es necesario). Si la cadena de patrón aparece en algún lugar en el archivo, debería reemplazarse con la cadena de reemplazo.*

*Si ocurre un error mientras se abren, leen, escriben o cierran los archivos, tu programa debería capturar la excepción, imprimir un mensaje de error y salir. Solución: <http://thinkpython2.com/code/sed.py>.*

**Ejercicio 14.2.** *Si descargas mi solución al Ejercicio 12.2 de [http://thinkpython2.com/code/anagram\\_sets.py](http://thinkpython2.com/code/anagram_sets.py), verás que crea un diccionario que mapea de una cadena ordenada de letras a la lista de palabras que se pueden formar con esas letras. Por ejemplo, 'opst' mapea a la lista ['opts', 'post', 'pots', 'spot', 'stop', 'tops'].*

*Escribe un módulo que importe `anagram_sets` y proporcione dos nuevas funciones: `store_anagrams` debería almacenar el diccionario de anagrama en un “estante” (ver módulo `shelve`); `read_anagrams` debería buscar una palabra y devolver una lista de sus anagramas. Solución: [http://thinkpython2.com/code/anagram\\_db.py](http://thinkpython2.com/code/anagram_db.py).*

**Ejercicio 14.3.** *En una gran colección de archivos MP3, puede haber más de una copia de la misma canción, almacenados en directorios diferentes o con nombres de archivo diferentes. El objetivo de este ejercicio es buscar duplicados.*

1. *Escribe un programa que busque un directorio y todos sus subdirectorios, de manera recursiva, y devuelva una lista de rutas completas para todos los archivos con un sufijo dado (como `.mp3`). Pista: `os.path` proporciona varias funciones útiles para manipular nombres de archivo y de rutas.*
2. *Para reconocer duplicados, puedes utilizar `md5sum` para calcular una “suma de verificación” de cada archivo. Si dos archivos tienen la misma suma de verificación, probablemente tienen los mismos contenidos.*
3. *Para una doble verificación, puedes utilizar el comando Unix `diff`.*

*Solución: [http://thinkpython2.com/code/find\\_duplicates.py](http://thinkpython2.com/code/find_duplicates.py).*

## Capítulo 15

# Clases y objetos

En este punto sabes cómo utilizar funciones para organizar código y tipos incorporados para organizar datos. El siguiente paso es aprender “programación orientada a objetos”, que utiliza tipos definidos por el programador para organizar tanto código como datos. La programación orientada a objetos es un gran tema; tomará un par de capítulos para llegar allí.

Los ejemplos de código de este capítulo están disponibles en <http://thinkpython2.com/code/Point1.py>; las soluciones a los ejercicios están disponibles en [http://thinkpython2.com/code/Point1\\_soln.py](http://thinkpython2.com/code/Point1_soln.py).

### 15.1. Tipos definidos por el programador

Hemos utilizado muchos tipos incorporados de Python; ahora vamos a definir un tipo nuevo. Como ejemplo, crearemos un tipo llamado `Punto` que representa un punto en el espacio bidimensional.

En notación matemática, los puntos son a menudo escritos en paréntesis con una coma que separa las coordenadas. Por ejemplo,  $(0,0)$  representa el origen, y  $(x,y)$  representa el punto que está  $x$  unidades hacia la derecha e  $y$  unidades hacia arriba, a partir del origen.

Hay muchas maneras en las cuales podríamos representar puntos en Python:

- Podríamos almacenar las coordenadas de manera separada en dos variables,  $x$  e  $y$ .
- Podríamos almacenar las coordenadas como elementos en una lista o tupla.
- Podríamos crear un tipo nuevo para representar puntos como objetos.

Crear un tipo nuevo es más complicado que las otras opciones, pero tiene ventajas que pronto serán aparentes.

Un tipo definido por el programador también se llama **clase**. Una definición de clase se ve así:

```
class Punto:
    """Representa un punto en un espacio 2-D."""
```

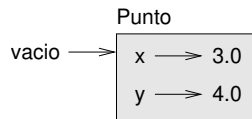


Figura 15.1: Diagrama de objeto.

El encabezado indica que la clase nueva se llama Punto. El cuerpo es un docstring que explica para qué es la clase. Puedes definir variables y métodos dentro de una definición de clase, pero volveremos a eso más adelante.

Definir una clase con nombre Punto crea un **objeto de clase**.

```
>>> Punto
<class '__main__.Punto'>
```

Dado que Punto se define en el nivel más alto, su “nombre completo” es `__main__.Punto`.

El objeto de clase es como una fábrica para crear objetos. Para crear un Punto, llamas a Punto como si fuera una función.

```
>>> vacio = Punto()
>>> vacio
<__main__.Punto object at 0xb7e9d3ac>
```

El valor de retorno es una referencia a un objeto Punto, que asignamos a vacio.

El acto de crear un objeto nuevo se llama **instanciación**, y el objeto es una **instancia** de la clase.

Cuando imprimes una instancia, Python te dice a qué clase pertenece y dónde se almacena en la memoria (el prefijo 0x significa que el siguiente número es un hexadecimal).

Cada objeto es una instancia de alguna clase, por tanto “objeto” e “instancia” son intercambiables. Sin embargo, en este capítulo utilizo “instancia” para indicar que estoy hablando de un tipo definido por el programador.

## 15.2. Atributos

Puedes asignar valores a una instancia utilizando notación de punto:

```
>>> vacio.x = 3.0
>>> vacio.y = 4.0
```

Esta sintaxis es similar a la sintaxis para seleccionar una variable de un módulo, tal como `math.pi` o `string.whitespace`. En este caso, sin embargo, estamos asignando valores a elementos que tienen nombre y pertenecen a un objeto. Estos elementos se llaman **atributos**.

La Figura 15.1 es un diagrama de estado que muestra el resultado de estas asignaciones. Un diagrama de estado que muestra un objeto con sus atributos se llama **diagrama de objeto**.

La variable vacio se refiere a un objeto Punto, que contiene dos atributos. Cada atributo se refiere a un número de coma flotante.

Puedes leer el valor de un atributo utilizando la misma sintaxis:

```
>>> vacio.y
4.0
>>> x = vacio.x
>>> x
3.0
```

La expresión `vacio.x` significa “Ve al objeto al cual `vacio` se refiere y obten el valor de `x`.” En este ejemplo, asignamos ese valor a una variable con nombre `x`. No hay conflicto entre la variable `x` y el atributo `x`.

Puedes utilizar la notación de punto como parte de una expresión. Por ejemplo:

```
>>> '(%g, %g)' % (vacio.x, vacio.y)
'(3.0, 4.0)'
>>> distancia = math.sqrt(vacio.x**2 + vacio.y**2)
>>> distancia
5.0
```

Puedes pasar una instancia como argumento en la manera usual. Por ejemplo:

```
def imprimir_punto(p):
    print('(%g, %g)' % (p.x, p.y))

imprimir_punto toma un punto como argumento y lo muestra en notación matemática.
Para invocarla, puedes pasar a vacio como argumento:
```

```
>>> imprimir_punto(vacio)
(3.0, 4.0)
```

Dentro de la función, `p` es un alias para `vacio`, por tanto si la función modifica a `p`, `vacio` cambia.

Como ejercicio, escribe una función llamada `distancia_entre_puntos` que tome dos Puntos como argumentos y devuelva la distancia entre ellos.

## 15.3. Rectángulos

A veces es obvio cuáles deberían ser los atributos de un objeto, pero otras veces tienes que tomar decisiones. Por ejemplo, imagina que estás diseñando una clase para representar rectángulos. ¿Qué atributos utilizarías para especificar la ubicación y tamaño de un rectángulo? Puedes ignorar el ángulo; para mantener las cosas simples, supongamos que el rectángulo es vertical u horizontal.

Hay al menos dos posibilidades:

- Podrías especificar una esquina del rectángulo (o el centro), la anchura y la altura.
- Podrías especificar dos esquinas opuestas.

En este punto es difícil decir si una alternativa es mejor que la otra, así que implementaremos la primera, solo como ejemplo.

Esta es la definición de la clase:

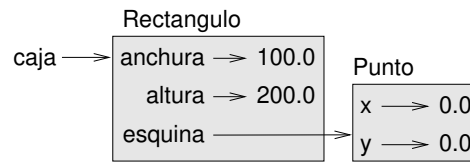


Figura 15.2: Diagrama de objeto.

```

class Rectangulo:
    """Representa un rectángulo.

    atributos: anchura, altura, esquina.
    """

```

El docstring contiene una lista de los atributos: anchura y altura son números; esquina es un objeto Punto que especifica la esquina inferior izquierda.

Para representar un rectángulo, tienes que instanciar un objeto Rectángulo y asignar valores a los atributos:

```

caja = Rectangulo()
caja.anchura = 100.0
caja.altura = 200.0
caja.esquina = Punto()
caja.esquina.x = 0.0
caja.esquina.y = 0.0

```

La expresión `caja.esquina.x` significa “Ve al objeto al cual `caja` se refiere y selecciona el atributo con nombre `esquina`; luego ve a ese objeto y selecciona el atributo con nombre `x`.”

La Figura 15.2 muestra el estado de este objeto. Un objeto que es un atributo de otro objeto está **incrustado**.

## 15.4. Instancias como valores de retorno

Las funciones pueden devolver instancias. Por ejemplo, `encontrar_centro` toma un `Rectangulo` como argumento y devuelve un `Punto` que contiene las coordenadas del centro del `Rectangulo`:

```

def encontrar_centro(rect):
    p = Punto()
    p.x = rect.esquina.x + rect.anchura/2
    p.y = rect.esquina.y + rect.altura/2
    return p

```

Aquí hay un ejemplo que pasa a `caja` como argumento y asigna el `Punto` resultante a `centro`:

```

>>> centro = encontrar_centro(caja)
>>> imprimir_punto(centro)
(50, 100)

```

## 15.5. Los objetos son mutables

Puedes cambiar el estado de un objeto haciendo una asignación a uno de sus atributos. Por ejemplo, para cambiar el tamaño de un rectángulo sin cambiar su posición, puedes modificar los valores de anchura y altura:

```
caja.anchura = caja.anchura + 50
caja.altura = caja.altura + 100
```

Puedes también escribir funciones que modifiquen objetos. Por ejemplo, `crecer_rectangulo` toma un objeto Rectángulo y dos números, `d_anchura` y `d_altura`, y suma los números a la anchura y altura del rectángulo:

```
def crecer_rectangulo(rect, d_anchura, d_altura):
    rect.anchura += d_anchura
    rect.altura += d_altura
```

Aquí hay un ejemplo que demuestra el efecto:

```
>>> caja.anchura, caja.altura
(150.0, 300.0)
>>> crecer_rectangulo(caja, 50, 100)
>>> caja.anchura, caja.altura
(200.0, 400.0)
```

Dentro de la función, `rect` es un alias para `caja`, por tanto cuando la función modifica a `rect`, `caja` cambia.

Como ejercicio, escribe una función con nombre `mover_rectangulo` que tome un Rectángulo y dos números con nombre `dx` y `dy`. Debería cambiar la ubicación del rectángulo sumando `dx` a la coordenada `x` de esquina y sumando `dy` a la coordenada `y` de esquina.

## 15.6. Copiar

Los alias pueden hacer que un programa sea difícil de leer porque los cambios en un lugar podrían tener efectos inesperados en otro lugar. Es difícil hacer un seguimiento de todas las variables que podrían referirse a un objeto dado.

Copiar un objeto es a menudo una alternativa a los alias. El módulo `copy` contiene una función llamada `copy` que puede duplicar cualquier objeto:

```
>>> p1 = Punto()
>>> p1.x = 3.0
>>> p1.y = 4.0
```

```
>>> import copy
>>> p2 = copy.copy(p1)
```

`p1` y `p2` contienen los mismos datos, pero no son el mismo Punto.

```
>>> imprimir_punto(p1)
(3, 4)
>>> imprimir_punto(p2)
(3, 4)
>>> p1 is p2
False
```

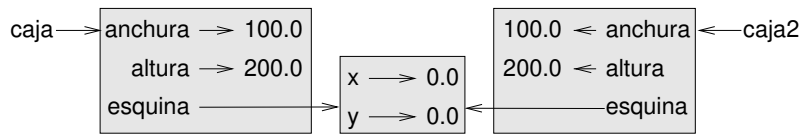


Figura 15.3: Diagrama de objeto.

```
>>> p1 == p2
False
```

El operador `is` indica que `p1` y `p2` no son el mismo objeto, que es lo que esperábamos. Sin embargo, tal vez hayas esperado que `==` entregue `True` porque estos puntos contienen los mismos datos. En ese caso, te decepcionará aprender que, para instancias, el comportamiento por defecto del operador `==` es el mismo que el operador `is`: verifica identidad de objeto, no equivalencia de objeto. Eso ocurre debido a que para tipos definidos por el programador, Python no sabe qué debería considerarse equivalente. Al menos, no todavía.

Si usas `copy.copy` para duplicar un Rectángulo, encontrarás que copia el objeto Rectángulo pero no el Punto incrustado.

```
>>> caja2 = copy.copy(caja)
>>> caja2 is caja
False
>>> caja2.esquina is caja.esquina
True
```

La Figura 15.3 muestra cómo se ve el diagrama de objeto. Esta operación se llama **copia superficial** porque copia al objeto y cualquier referencia que contenga, pero no los objetos incrustados.

Para la mayoría de las aplicaciones, esto no es lo que quieres. En este ejemplo, invocar a `crecer_rectangulo` en uno de los Rectángulos no afectaría al otro, ¡pero invocar a `mover_rectangulo` en cualquiera afectaría a ambos! Este comportamiento es confuso y propenso a errores.

Afortunadamente, el módulo `copy` proporciona un método con nombre `deepcopy` que copia no solo el objeto sino también los objetos a los cuales este se refiere, y los objetos a los cuales *estos* se refieren, y así sucesivamente. No te sorprenderá saber que esta operación se llama **copia profunda**.

```
>>> caja3 = copy.deepcopy(caja)
>>> caja3 is caja
False
>>> caja3.esquina is caja.esquina
False
```

`caja3` y `caja` son objetos completamente separados.

Como ejercicio, escribe una versión de `mover_rectangulo` que cree y devuelva un Rectángulo nuevo en lugar de modificar el antiguo.

## 15.7. Depuración

Cuando comienzas a trabajar con objetos, es probable que encuentres algunas excepciones nuevas. Si intentas acceder a un atributo que no existe, obtienes un `AttributeError`:



```
>>> p = Punto()
>>> p.x = 3
>>> p.y = 4
>>> p.z
AttributeError: Point instance has no attribute 'z'
```

Si no sabes bien de qué tipo es un objeto, puedes consultar:

```
>>> type(p)
<class '__main__.Punto'>
```

Puedes también utilizar `isinstance` para verificar si un objeto es una instancia de una clase:

```
>>> isinstance(p, Punto)
True
```

Si no sabes bien si un objeto tiene un atributo en particular, puedes utilizar la función incorporada `hasattr`:

```
>>> hasattr(p, 'x')
True
>>> hasattr(p, 'z')
False
```

El primer argumento puede ser cualquier objeto; el segundo argumento es una *cadena* que contiene el nombre del atributo.

Puedes también utilizar una sentencia `try` para ver si el objeto tiene los atributos que necesitas:

```
try:
    x = p.x
except AttributeError:
    x = 0
```

Este enfoque puede hacer más fácil escribir funciones que trabajen con tipos diferentes; se verá más sobre este tema en la Sección 17.9.

## 15.8. Glosario

**clase:** Un tipo definido por el programador. Una definición de clase crea un nuevo objeto de clase.

**objeto de clase:** Un objeto que contiene información acerca del tipo definido por el programador. El objeto de clase se puede utilizar para crear instancias del tipo.

**instancia:** Un objeto que pertenece a una clase.

**instanciar:** Crear un nuevo objeto.

**atributo:** Uno de los valores con nombre que están asociados a un objeto.

**objeto incrustado:** Un objeto que se almacena como atributo de otro objeto.

**copia superficial:** Copiar los contenidos de un objeto, incluyendo cualquier referencia a los objetos incrustados; implementada por la función `copy` del módulo `copy`.

**copia profunda:** Copiar los contenidos de un objeto así como cualquier objeto incrustado, y cualquier objeto incrustado en estos, y así sucesivamente; implementado por la función `deepcopy` del módulo `copy`.

**diagrama de objeto:** Un diagrama que muestra objetos, sus atributos y los valores de los atributos.

## 15.9. Ejercicios

**Ejercicio 15.1.** *Escribe una definición de una clase con nombre `Circulo` cuyos atributos sean `centro` y `radio`, donde `centro` es un objeto `Punto` y `radio` es un número.*

*Instancia un objeto `Circulo` que represente un círculo con su centro en (150,100) y radio 75.*

*Escribe una función con nombre `punto_en_circulo` que tome un `Circulo` y un `Punto`, y devuelva `True` si el `Punto` está dentro o en el borde del círculo.*

*Escribe una función con nombre `rect_en_circulo` que tome un `Circulo` y un `Rectángulo` y devuelva `True` si el `Rectángulo` está completamente dentro o en el borde del círculo.*

*Escribe una función con nombre `rect_circ_traslapan` que tome un `Circulo` y un `Rectángulo` y devuelva `True` si alguna de las esquinas del `Rectángulo` cae dentro del círculo. O como versión más desafiante, que devuelva `True` si cualquier parte del `Rectángulo` cae dentro del círculo.*

*Solución: <http://thinkpython2.com/code/Circle.py>.*

**Ejercicio 15.2.** *Escribe una función llamada `dibujar_rectangulo` que tome un objeto `Turtle` y un `Rectángulo` y utilice al `Turtle` para dibujar el `Rectángulo`. Ver Capítulo 4 para ejemplos que utilizan objetos `Turtle`.*

*Escribe una función llamada `dibujar_circulo` que tome un `Turtle` y un `Circulo` y dibuje el `Circulo`.*

*Solución: <http://thinkpython2.com/code/draw.py>.*

## Capítulo 16

# Clases y funciones

Ahora que sabemos cómo crear tipos nuevos, el siguiente paso es escribir funciones que tomen objetos definidos por el programador como parámetros y los devuelvan como resultados. En este capítulo presento también el “estilo de programación funcional” y dos nuevos planes de desarrollo de programas.

Los ejemplos de código de este capítulo están disponibles en <http://thinkpython2.com/code/Time1.py>. Las soluciones a los ejercicios están en [http://thinkpython2.com/code/Time1\\_soln.py](http://thinkpython2.com/code/Time1_soln.py).

### 16.1. Tiempo

Como otro ejemplo de tipo definido por el programador, definiremos una clase llamada `Tiempo` que registre la hora del día. La definición de la clase se ve así:

```
class Tiempo:
    """Representa la hora del día.

    atributos: hora, minuto, segundo
    """
```

Podemos crear un nuevo objeto `Tiempo` y asignar atributos para horas, minutos y segundos:

```
tiempo = Tiempo()
tiempo.hora = 11
tiempo.minuto = 59
tiempo.segundo = 30
```

El diagrama de estado para el objeto `Tiempo` se ve como en la Figura 16.1.

Como ejercicio, escribe una función llamada `imprimir_tiempo` que tome un objeto `Tiempo` y lo imprima en la forma `hora:minuto:segundo`. Pista: la secuencia de formato `'%.2d'` imprime un entero utilizando al menos dos dígitos, incluyendo un cero a la izquierda si es necesario.

Escribe una función booleana llamada `esta_despues` que tome dos objetos `Tiempo`, `t1` y `t2`, y devuelva `True` si `t1` va cronológicamente después de `t2` y `False` en caso contrario. Desafío: no utilices una sentencia `if`.

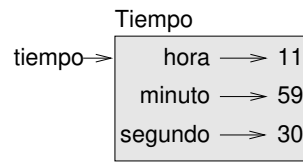


Figura 16.1: Diagrama de objeto.

## 16.2. Funciones puras

En las siguientes secciones, escribiremos dos funciones que suman valores de tiempo. Estas demuestran dos tipos de funciones: funciones puras y modificadores. Demuestran también un plan de desarrollo que yo llamo **prototipo y parche**, que es una manera de abordar un problema complejo comenzando con un prototipo simple y lidiando con las complicaciones de manera incremental.

Aquí hay un prototipo simple de `sumar_tiempo`:

```
def sumar_tiempo(t1, t2):
    suma = Tiempo()
    suma.hora = t1.hora + t2.hora
    suma.minuto = t1.minuto + t2.minuto
    suma.segundo = t1.segundo + t2.segundo
    return suma
```

La función crea un nuevo objeto `Tiempo`, inicializa sus atributos y devuelve una referencia al nuevo objeto. Esto se llama una **función pura** porque no modifica ninguno de los objetos que se le pasan como argumentos y no tiene un efecto, como mostrar un valor u obtener entrada del usuario, además de devolver un valor.

Para probar esta función, crearé dos objetos `Tiempo`: `comienzo` contiene el tiempo de inicio de una película, como *Monty Python and the Holy Grail*, y `duracion` contiene el tiempo de duración de la película, que es una hora 35 minutos.

`sumar_tiempo` averigua cuándo terminará la película.

```
>>> comienzo = Tiempo()
>>> comienzo.hora = 9
>>> comienzo.minuto = 45
>>> comienzo.segundo = 0

>>> duracion = Tiempo()
>>> duracion.hora = 1
>>> duracion.minuto = 35
>>> duracion.segundo = 0

>>> termino = sumar_tiempo(comienzo, duracion)
>>> imprimir_tiempo(termino)
10:80:00
```

El resultado, 10:80:00, tal vez no sea lo que esperas. El problema es que esta función no lidia con los casos donde el número de segundos o minutos suma más de sesenta. Cuando eso ocurre, tenemos que “acarrear” los segundos extra a la columna de minutos o los minutos extra a la columna de horas.

Aquí hay una versión mejorada:

```
def sumar_tiempo(t1, t2):
    suma = Tiempo()
    suma.hora = t1.hora + t2.hora
    suma.minuto = t1.minuto + t2.minuto
    suma.segundo = t1.segundo + t2.segundo

    if suma.segundo >= 60:
        suma.segundo -= 60
        suma.minuto += 1

    if suma.minuto >= 60:
        suma.minuto -= 60
        suma.hora += 1

    return suma
```

Aunque esta función es correcta, está comenzando a ponerse grande. Después veremos una alternativa más corta.

## 16.3. Modificadores

A veces es útil para una función modificar los objetos que obtiene como parámetros. En ese caso, los cambios son visibles para la llamadora. Las funciones que trabajan de esta manera se llaman **modificadores**.

aumentar, que agrega un número dado de segundos al objeto Tiempo, se puede escribir de manera natural como modificador. Aquí hay un borrador:

```
def aumentar(tiempo, segundos):
    tiempo.segundo += segundos

    if tiempo.segundo >= 60:
        tiempo.segundo -= 60
        tiempo.minuto += 1

    if tiempo.minuto >= 60:
        tiempo.minuto -= 60
        tiempo.hora += 1
```

La primera línea realiza la operación básica; el resto se ocupa de los casos especiales que vimos antes.

¿Esta función es correcta? ¿Qué ocurre si segundos es mucho más grande que sesenta?

En ese caso, no es suficiente acarrear una vez; tenemos que seguir haciéndolo hasta que tiempo.segundo sea menor que sesenta. Una solución es reemplazar las sentencias if con sentencias while. Eso haría que la función sea correcta, pero no muy eficiente. Como ejercicio, escribe una versión correcta de aumentar que no contenga ningún ciclo.

Cualquier cosa que se pueda hacer con modificadores también se puede hacer con funciones puras. De hecho, algunos lenguajes de programación solo permiten funciones puras.

Existe evidencia de que los programas que utilizan funciones puras son más rápidos de desarrollar y menos propensos a errores que los programas que utilizan modificadores. Sin embargo, los modificadores son convenientes en ocasiones, y los programas funcionales tienden a ser menos eficientes.

En general, recomiendo que escribas funciones puras siempre que sea razonable y recurras a los modificadores solo si hay una ventaja convincente. Este enfoque podría ser llamado **estilo de programación funcional**.

Como ejercicio, escribe una versión “pura” de `augmentar` que cree y devuelva un nuevo objeto `Tiempo` en lugar de modificar el parámetro.

## 16.4. Prototipos versus planificación

El plan de desarrollo que estoy demostrando se llama “prototipo y parche”. Para cada función, escribí un prototipo que realiza los cálculos básicos y luego lo probé, parchando errores en el camino.

Este enfoque puede ser efectivo, especialmente si todavía no tienes un entendimiento profundo del problema. Sin embargo, las correcciones incrementales pueden generar código innecesariamente complicado —dado que lidia con muchos casos especiales— y no confiable —dado que es difícil saber si has encontrado todos los errores.

Una alternativa es el **desarrollo diseñado**, en el cual la visión de alto nivel del problema puede hacer mucho más fácil la programación. En este caso, la visión es que un objeto `Tiempo` es en realidad un número de tres dígitos en base 60 (ver <http://en.wikipedia.org/wiki/Sexagesimal>). El atributo `segundo` es la “columna de unidades”, el atributo `minuto` es la “columna de sesentenas” y el atributo `hora` es la “columna de centenas de treinta y seis”.

Cuando escribimos `sumar_tiempo` y `augmentar`, efectivamente estábamos haciendo suma en base 60, motivo por el cual tuvimos que acarrear de una columna a la siguiente.

Esta observación sugiere otro enfoque al problema completo: podemos convertir objetos `Tiempo` a enteros y tomar ventaja del hecho de que el computador sabe cómo hacer aritmética con enteros.

Aquí hay una función que convierte `Tiempos` a enteros:

```
def tiempo_a_int(tiempo):
    minutos = tiempo.hora * 60 + tiempo.minuto
    segundos = minutos * 60 + tiempo.segundo
    return segundos
```

Y aquí hay una función que convierte un entero a `Tiempo` (recuerda que `divmod` divide el primer argumento por el segundo y devuelve el cociente y el resto como una tupla).

```
def int_a_tiempo(segundos):
    tiempo = Tiempo()
    minutos, tiempo.segundo = divmod(segundos, 60)
    tiempo.hora, tiempo.minuto = divmod(minutos, 60)
    return tiempo
```

Quizás tengas que pensar un poco, y ejecutar algunas pruebas, para convencerte de que estas funciones son correctas. Una manera de probarlas es verificar que `tiempo_a_int(int_a_tiempo(x)) == x` para muchos valores de `x`. Este es un ejemplo de prueba de consistencia.

Una vez que te convenzas de que son correctas, puedes utilizarlas para reescribir `sumar_tiempo`:

```
def sumar_tiempo(t1, t2):
    segundos = tiempo_a_int(t1) + tiempo_a_int(t2)
    return int_a_tiempo(segundos)
```

Esta versión es más corta que la original, y más fácil de verificar. Como ejercicio, reescribe `aumentar` utilizando `tiempo_a_int` e `int_a_tiempo`.

En algunas formas, convertir de base 60 a base 10 y viceversa es más difícil que solo tratar con tiempos. La conversión de base es más abstracta; nuestra intuición para lidiar con valores de tiempo es mejor.

Sin embargo, si tenemos la visión para tratar tiempos como números en base 60 y nos dedicamos a escribir las funciones de conversión (`tiempo_a_int` e `int_a_tiempo`), obtenemos un programa más corto, más fácil de leer y depurar, y más confiable.

Es más fácil también añadir características más adelante. Por ejemplo, imagina restar dos Tiempos para encontrar la duración entre ellos. El enfoque ingenuo sería implementar resta con préstamo. Utilizando funciones de conversión sería más fácil y con más probabilidades de ser correcto.

Irónicamente, a veces hacer que un programa sea más difícil (o más general) lo hace más fácil (porque hay menos casos especiales y menos oportunidades de error).

## 16.5. Depuración

Un objeto `Tiempo` está bien formado si los valores de `minuto` y `segundo` están entre 0 y 60 (incluyendo a 0 pero no a 60) y si `hora` es positivo. `hora` y `minuto` deberían ser valores enteros, pero podríamos permitir que `segundo` tenga una parte de fracción.

Requisitos como estos se llaman **invariantes** porque deberían ser siempre verdaderos. Visto de manera diferente, si no son verdaderos es porque algo salió mal.

Escribir código para verificar invariantes puede ayudar a detectar errores y encontrar sus causas. Por ejemplo, quizás tengas una función como `tiempo_valido` que tome un objeto `Tiempo` y devuelva `False` si viola un invariante:

```
def tiempo_valido(tiempo):
    if tiempo.hora < 0 or tiempo.minuto < 0 or tiempo.segundo < 0:
        return False
    if tiempo.minuto >= 60 or tiempo.segundo >= 60:
        return False
    return True
```

Al principio de cada función podrías verificar los argumentos para asegurarte de que son válidos:

```
def sumar_tiempo(t1, t2):
    if not tiempo_valido(t1) or not tiempo_valido(t2):
        raise ValueError('objeto Tiempo no válido en sumar_tiempo')
    segundos = tiempo_a_int(t1) + tiempo_a_int(t2)
    return int_a_tiempo(segundos)
```

O bien podrías utilizar una **sentencia assert**, que verifica un invariante dado y levanta una excepción si este falla:

```
def sumar_tiempo(t1, t2):
    assert tiempo_valido(t1) and tiempo_valido(t2)
    segundos = tiempo_a_int(t1) + tiempo_a_int(t2)
    return int_a_tiempo(segundos)
```

Las sentencias `assert` son útiles porque distinguen código que funciona en condiciones normales de código que verifica errores.

## 16.6. Glosario

**prototipo y parche:** Un plan de desarrollo que involucra escribir un borrador de un programa, probarlo y corregir errores a medida que se encuentran.

**desarrollo diseñado:** Un plan de desarrollo que involucra una visión de alto nivel del problema y más planificación que el desarrollo incremental o el desarrollo de prototipo.

**función pura:** Una función que no modifica ninguno de los objetos que recibe como argumentos. La mayoría de las funciones puras son productivas.

**modificador:** Una función que cambia uno o más de los objetos que recibe como argumentos. La mayoría de los modificadores son funciones nulas, es decir, devuelven `None`.

**estilo de programación funcional:** Un estilo de diseño de programa en el cual la mayoría de las funciones son puras.

**invariante:** Una condición que debería ser siempre verdadera durante la ejecución de un programa.

**sentencia `assert`:** Una sentencia que verifica una condición y levanta una excepción si esta falla.

## 16.7. Ejercicios

Los ejemplos de código de este capítulo están disponibles en <http://thinkpython2.com/code/Time1.py>; las soluciones a los ejercicios están disponibles en [http://thinkpython2.com/code/Time1\\_soln.py](http://thinkpython2.com/code/Time1_soln.py).

**Ejercicio 16.1.** *Escribe una función llamada `mul_tiempo` que tome un objeto `Tiempo` y un número y devuelva un nuevo objeto `Tiempo` que contenga el producto del `Tiempo` original y el número.*

*Luego, utiliza `mul_tiempo` para escribir una función que tome un objeto `Tiempo` que represente el tiempo de término en una carrera, y un número que represente la distancia, y devuelva un objeto `Tiempo` que represente el ritmo de carrera promedio (tiempo por cada milla).*



**Ejercicio 16.2.** El módulo `datetime` proporciona objetos `time` que son similares a los objetos `Tiempo` de este capítulo, pero proporcionan un abundante conjunto de métodos y operadores. Lee la documentación en <http://docs.python.org/3/library/datetime.html>.

1. Utiliza el módulo `datetime` para escribir un programa que obtenga la fecha actual e imprima el día de la semana.
2. Escribe un programa que tome un día de nacimiento como entrada e imprima la edad del usuario y el número de días, horas y segundos que faltan para el siguiente cumpleaños.
3. Para dos personas nacidas en días diferentes, hay un día en que una tiene el doble de edad que la otra. Ese es su Día Doble. Escribe un programa que tome dos días de nacimiento y calcule su Día Doble.
4. Para ponerlo un poco más desafiante, escribe una versión más general que calcule el día en que una persona es  $n$  veces mayor que la otra.

Solución: <http://thinkpython2.com/code/double.py>



# Capítulo 17

## Clases y métodos

Aunque estamos utilizando algunas de las características orientadas a objetos de Python, los programas de los últimos dos capítulos no están realmente orientados a objetos debido a que no representan las relaciones entre los tipos definidos por el programador y las funciones que operan en estos. El siguiente paso es transformar esas funciones en métodos que hagan explícitas las relaciones.

Los ejemplos de código de este capítulo están disponibles en <http://thinkpython2.com/code/Time2.py>, y las soluciones a los ejercicios están en [http://thinkpython2.com/code/Point2\\_soln.py](http://thinkpython2.com/code/Point2_soln.py).

### 17.1. Características orientadas a objetos

Python es un **lenguaje de programación orientado a objetos**, lo cual significa que proporciona características que admiten programación orientada a objetos, que tiene las siguientes características que la definen:

- Los programas incluyen definiciones de clases y métodos.
- La mayoría de los cálculos están expresados en términos de operaciones sobre objetos.
- Los objetos a menudo representan cosas del mundo real, y los métodos a menudo corresponden a las maneras en las cuales interactúan las cosas del mundo real.

Por ejemplo, la clase `Tiempo` definida en el Capítulo 16 corresponde a la manera en que las personas registran la hora del día, y las funciones que definimos corresponden a los tipos de cosas que las personas hacen con las horas del día. De manera similar, las clases `Punto` y `Rectángulo` en el Capítulo 15 corresponden a los conceptos matemáticos de punto y rectángulo.

Hasta aquí, no hemos tomado ventaja de las características que Python proporciona para admitir programación orientada a objetos. Estas características no son estrictamente necesarias: la mayoría de estas proporciona una sintaxis alternativa para cosas que ya hemos

hecho. Sin embargo, en muchos casos, la alternativa es más concisa y comunica la estructura del programa de manera más precisa.

Por ejemplo, en `Time1.py` no hay conexión obvia entre la definición de clase y las definiciones de funciones que siguen. Con algo de revisión, es evidente que cada función toma al menos un objeto `Tiempo` como argumento.

Esta observación es la motivación para los **métodos**; un método es una función que está asociada a una clase en particular. Hemos visto métodos para cadenas, listas, diccionarios y tuplas. En este capítulo, definiremos métodos para tipos definidos por el programador.

Los métodos son semánticamente lo mismo que las funciones, pero hay dos diferencias sintácticas:

- Los métodos se definen dentro de una definición de clase para hacer explícita la relación entre la clase y el método.
- La sintaxis para invocar a un método es diferente a la sintaxis para llamar a una función.

En las siguientes secciones, tomaremos las funciones de los dos capítulos anteriores y los transformaremos en métodos. Esta transformación es puramente mecánica: puedes hacerla siguiendo una secuencia de pasos. Si te acostumbras a convertir de una forma a la otra, podrás escoger la mejor forma para lo que sea que estés haciendo.

## 17.2. Imprimir objetos

En el Capítulo 16, definimos una clase con nombre `Tiempo` y en la Sección 16.1, escribiste una función con nombre `imprimir_tiempo`:

```
class Tiempo:
    """Representa la hora del día."""

def imprimir_tiempo(tiempo):
    print('%02d:%02d:%02d' % (tiempo.hora, tiempo.minuto, tiempo.segundo))
```

Para llamar a esta función, tienes que pasar el objeto `Tiempo` como argumento:

```
>>> comienzo = Tiempo()
>>> comienzo.hora = 9
>>> comienzo.minuto = 45
>>> comienzo.segundo = 00
>>> imprimir_tiempo(comienzo)
09:45:00
```

Para convertir `imprimir_tiempo` a método, todo lo que tenemos que hacer es mover la definición de función al interior de la definición de clase. Nota el cambio en la sangría.

```
class Tiempo:
    def imprimir_tiempo(tiempo):
        print('%02d:%02d:%02d' % (tiempo.hora, tiempo.minuto, tiempo.segundo))
```

Ahora hay dos maneras de llamar a `imprimir_tiempo`. La primera manera (y menos común) es utilizar sintaxis de función:

```
>>> Tiempo.imprimir_tiempo(comienzo)
09:45:00
```

En este uso de notación de punto, `Tiempo` es el nombre de la clase e `imprimir_tiempo` es el nombre del método. `comienzo` se pasa como parámetro.

La segunda manera (y más concisa) es utilizar la sintaxis de método:

```
>>> comienzo.imprimir_tiempo()
09:45:00
```

En este uso de notación de punto, `imprimir_tiempo` es el nombre del método (nuevamente) y `comienzo` es el objeto en el cual se invoca al método, el cual se llama **sujeto**. Tal como el sujeto de una oración es de lo que trata la oración, el sujeto de una invocación a método es de lo que trata el método.

Dentro del método, el sujeto se asigna al primer parámetro, por tanto en este caso `comienzo` se asigna a `tiempo`.

Por convención, el primer parámetro de un método se llama `self`, por lo cual sería más común escribir `imprimir_tiempo` así:

```
class Tiempo:
    def imprimir_tiempo(self):
        print('%02d:%02d:%02d' % (self.hora, self.minuto, self.segundo))
```

La razón para esta convención es una metáfora implícita:

- La sintaxis para una llamada a función, `imprimir_tiempo(comienzo)`, sugiere que la función es el agente activo. Dice algo como, “¡Oye `imprimir_tiempo`! Aquí hay un objeto para que imprimas.”
- En la programación orientada a objetos, los objetos son los agentes activos. Una invocación a método como `comienzo.imprimir_tiempo()` dice “¡Oye `comienzo`! Por favor imprímeme.”

Este cambio de perspectiva quizás sea más cortés, pero su utilidad no es obvia. En los ejemplos que hemos visto hasta ahora, podría no serlo. Sin embargo, a veces cambiar de funciones a objetos de manera responsable hace posible escribir funciones (o métodos) más versátiles, y hace más fácil mantener y reutilizar código.

Como ejercicio, reescribe `tiempo_a_int` (de la Sección 16.4) como método. Quizás te tientes a reescribir `int_a_tiempo` como método también, pero eso realmente no tiene sentido porque no habría objeto donde invocarlo.

## 17.3. Otro ejemplo

Aquí hay una versión de `aumentar` (de la Sección 16.3) reescrita como método:

```
# dentro de class Tiempo:

def aumentar(self, segundos):
    segundos += self.tiempo_a_int()
    return int_a_tiempo(segundos)
```

Esta versión supone que `tiempo_a_int` está escrito como método. Además, notar que esta es una función pura, no un modificador.

Así es como invocarías a `aumentar`:

```
>>> comienzo.imprimir_tiempo()
09:45:00
>>> termino = comienzo.aumentar(1337)
>>> termino.imprimir_tiempo()
10:07:17
```

El sujeto, `comienzo`, se asigna al primer parámetro, `self`. El argumento, `1337`, se asigna al segundo parámetro, `segundos`.

Este mecanismo puede ser confuso, especialmente si cometes un error. Por ejemplo, si invocas a `aumentar` con dos argumentos, obtienes:

```
>>> termino = comienzo.aumentar(1337, 460)
TypeError: aumentar() takes 2 positional arguments but 3 were given
```

El mensaje de error es confuso al inicio, debido a que hay solo dos argumentos en paréntesis. Sin embargo, el sujeto también se considera como argumento, por lo cual todos juntos son tres.

Por cierto, un **argumento posicional** es un argumento que no tiene un nombre de parámetro, es decir, no es un argumento de palabra clave. En esta llamada a función:

```
dibujar(loro, jaula, muerto=True)
```

`loro` y `jaula` son posicionales, y `muerto` es un argumento de palabra clave.

## 17.4. Un ejemplo más complicado

Reescribir `esta_despues` (de la Sección 16.1) es un poco más complicado porque toma dos objetos `Tiempo` como parámetros. En este caso, lo convencional es ponerle el nombre `self` al primer parámetro y `other` al segundo parámetro:

```
# dentro de class Tiempo:
```

```
    def esta_despues(self, other):
        return self.tiempo_a_int() > other.tiempo_a_int()
```

Para utilizar este método, tienes que invocarlo en un objeto y pasar el otro como argumento:

```
>>> termino.esta_despues(comienzo)
True
```

Lo bonito de esta sintaxis es que se lee casi textual: “¿término está después de comienzo?”

## 17.5. El método `init`

El método `init` (abreviatura de “initialization”) es un método especial que se invoca cuando se instancia un objeto. Su nombre completo es `__init__` (dos caracteres de guión bajo, seguido de `init`, y luego dos guiones bajos más). Un método `init` para la clase `Tiempo` se vería así:

# dentro de class Tiempo:

```
def __init__(self, hora=0, minuto=0, segundo=0):
    self.hora = hora
    self.minuto = minuto
    self.segundo = segundo
```

Es común que los parámetros de `__init__` tengan los mismos nombres que los atributos. La sentencia

```
self.hora = hora
```

almacena el valor del parámetro `hora` como un atributo de `self`.

Los parámetros son opcionales, por lo cual si llamas a `Tiempo` sin argumentos, obtienes los valores por defecto.

```
>>> tiempo = Tiempo()
>>> tiempo.imprimir_tiempo()
00:00:00
```

Si entregas un argumento, anula a `hora`:

```
>>> tiempo = Tiempo(9)
>>> tiempo.imprimir_tiempo()
09:00:00
```

Si entregas dos argumentos, anulan a `hora` y `minuto`.

```
>>> tiempo = Tiempo(9, 45)
>>> tiempo.imprimir_tiempo()
09:45:00
```

Y si entregas tres argumentos, anulan a los tres valores por defecto.

Como ejercicio, escribe un método `init` para la clase `Punto` que tome a `x` y `y` como argumentos opcionales y los asigne a los atributos correspondientes.

## 17.6. El método `__str__`

`__str__` es un método especial, al igual que `__init__`, que se supone que devuelve una representación de un objeto en forma de cadena.

Por ejemplo, aquí hay un método `str` para los objetos `Tiempo`:

# dentro de class Tiempo:

```
def __str__(self):
    return '%.2d:%.2d:%.2d' % (self.hora, self.minuto, self.segundo)
```

Cuando utilizas `print` en un objeto, Python invoca al método `str`:

```
>>> tiempo = Tiempo(9, 45)
>>> print(tiempo)
09:45:00
```

Cuando escribo una clase nueva, casi siempre comienzo escribiendo a `__init__`, que hace más fácil instanciar objetos, y `__str__`, que es útil para depurar.

Como ejercicio, escribe un método `str` para la clase `Punto`. Crea un objeto `Punto` e imprímelo.

## 17.7. Sobrecarga de operador

Definiendo otros métodos especiales, puedes especificar el comportamiento de operadores en tipos definidos por el programador. Por ejemplo, si defines un método con nombre `__add__` para la clase `Tiempo`, puedes utilizar el operador `+` en objetos `Tiempo`.

Así es como podría verse la definición:

```
# dentro de class Tiempo:
```

```
def __add__(self, other):
    segundos = self.tiempo_a_int() + other.tiempo_a_int()
    return int_a_tiempo(segundos)
```

Y así es como podrías utilizarlo:

```
>>> comienzo = Tiempo(9, 45)
>>> duracion = Tiempo(1, 35)
>>> print(comienzo + duracion)
11:20:00
```

Cuando aplicas el operador `+` a objetos `Tiempo`, Python invoca a `__add__`. Cuando imprimes el resultado, Python invoca a `__str__`. ¡Entonces están ocurriendo muchas cosas entre bastidores!

Cambiar el comportamiento de un operador para que funcione con tipos definidos por el programador se llama **sobrecarga de operador**. Para cada operador en Python hay un método especial, como `__add__`, que le corresponde. Para más detalles, ver <http://docs.python.org/3/reference/datamodel.html#specialnames>.

Como ejercicio, escribe un método `add` para la clase `Punto`.

## 17.8. Despacho basado en tipo

En la sección anterior sumamos dos objetos `Tiempo`, pero quizás quieras también sumar un entero a un objeto `Tiempo`. Lo siguiente es una versión de `__add__` que verifica el tipo de `other` e invoca a `sumar_tiempo` o `aumentar`:

```
# dentro de class Tiempo:
```

```
def __add__(self, other):
    if isinstance(other, Tiempo):
        return self.sumar_tiempo(other)
    else:
        return self.aumentar(other)

def sumar_tiempo(self, other):
    segundos = self.tiempo_a_int() + other.tiempo_a_int()
    return int_a_tiempo(segundos)

def aumentar(self, segundos):
    segundos += self.tiempo_a_int()
    return int_a_tiempo(segundos)
```



La función incorporada `isinstance` toma un valor y un objeto de clase, y devuelve `True` si el valor es una instancia de la clase.

Si `other` es un objeto `Tiempo`, `__add__` invoca a `sumar_tiempo`. En caso contrario, supone que el parámetro es un número e invoca a `aumentar`. Esta operación se llama **despacho basado en tipo** porque despacha el cálculo a diferentes métodos basándose en el tipo de los argumentos.

Aquí hay ejemplos que utilizan el operador `+` con tipos diferentes:

```
>>> comienzo = Tiempo(9, 45)
>>> duracion = Tiempo(1, 35)
>>> print(comienzo + duracion)
11:20:00
>>> print(comienzo + 1337)
10:07:17
```

Desafortunadamente, esta implementación de la suma no es conmutativa. Si el entero es el primer operando, obtienes

```
>>> print(1337 + comienzo)
TypeError: unsupported operand type(s) for +: 'int' and 'instance'
```

El problema es que, en lugar de pedirle al objeto `Tiempo` que sume un entero, Python le está pidiendo a un entero que sume un objeto `Tiempo`, y no sabe cómo hacerlo. Sin embargo, hay una solución ingeniosa para este problema: el método especial `__radd__`, que significa “right-side add”. Este método se invoca cuando un objeto `Tiempo` aparece en el lado derecho del operador `+`. Esta es la definición:

```
# dentro de class Tiempo:

    def __radd__(self, other):
        return self.__add__(other)
```

Y así es como se utiliza:

```
>>> print(1337 + comienzo)
10:07:17
```

Como ejercicio, escribe un método `add` para `Puntos` que funcione tanto con un objeto `Punto` como con una tupla:

- Si el segundo operando es un `Punto`, el método debería devolver un `Punto` nuevo cuya coordenada  $x$  es la suma de las coordenadas  $x$  de los operandos, y lo mismo para las coordenadas  $y$ .
- Si el segundo operando es una tupla, el método debería sumar el primer elemento de la tupla a la coordenada  $x$  y el segundo elemento a la coordenada  $y$ , y devolver un `Punto` nuevo con el resultado.

## 17.9. Polimorfismo

El despacho basado en tipo es útil si es necesario, pero (afortunadamente) no siempre es necesario. A menudo puedes evitarlo escribiendo funciones que trabajen de manera correcta con argumentos de tipo diferente.

Muchas de las funciones que escribimos para cadenas también funcionan para otros tipos de secuencia. Por ejemplo, en la Sección 11.2 utilizamos `histograma` para contar el número de veces que aparece cada letra en una palabra.

```
def histograma(s):
    d = dict()
    for c in s:
        if c not in d:
            d[c] = 1
        else:
            d[c] = d[c] + 1
    return d
```

Esta función también se puede utilizar con listas, tuplas e incluso diccionarios, siempre que los elementos de `s` sean hashables, por lo cual se pueden utilizar como claves en `d`.

```
>>> t = ['spam', 'egg', 'spam', 'spam', 'bacon', 'spam']
>>> histograma(t)
{'bacon': 1, 'egg': 1, 'spam': 4}
```

Las funciones que se pueden utilizar con varios tipos se llaman **polimórficas**. Los polimorfismos pueden facilitar la reutilización de código. Por ejemplo, la función incorporada `sum`, que suma los elementos de una secuencia, funciona siempre que los elementos de la secuencia admitan la suma.

Dado que los objetos `Tiempo` proporcionan un método `add`, funcionan con `sum`:

```
>>> t1 = Tiempo(7, 43)
>>> t2 = Tiempo(7, 41)
>>> t3 = Tiempo(7, 37)
>>> total = sum([t1, t2, t3])
>>> print(total)
23:01:00
```

En general, si todas las operaciones dentro de una función se pueden utilizar con un tipo dado, la función se puede utilizar con ese tipo.

Los mejores polimorfismos son los involuntarios, donde descubres que una función que ya escribiste se puede aplicar a un tipo para el cual nunca planeaste.

## 17.10. Depuración

Es legal añadir atributos a los objetos en cualquier punto de la ejecución de un programa, pero si tienes objetos con el mismo tipo que no tienen los mismos atributos, es fácil cometer errores. Se considera una buena idea inicializar todo lo de un atributo de un objeto en el método `init`.

Si no sabes bien si un objeto tiene un atributo en particular, puedes utilizar la función incorporada `hasattr` (ver Sección 15.7).

Otra manera de acceder a los atributos es la función incorporada `vars`, que toma un objeto y devuelve un diccionario que mapea de los nombres de atributos (como cadenas) a sus valores:

```
>>> p = Punto(3, 4)
>>> vars(p)
{'y': 4, 'x': 3}
```

Para fines de depuración, quizás encuentres útil tener esta función a mano:

```
def imprimir_atributos(obj):
    for attr in vars(obj):
        print(attr, getattr(obj, attr))
```

`imprimir_atributos` recorre el diccionario e imprime cada nombre de atributo y su valor correspondiente.

La función incorporada `getattr` toma un objeto y un nombre de atributo (como cadena) y devuelve el valor del atributo.

## 17.11. Interfaz e implementación

Uno de los objetivos del diseño orientado a objetos es hacer que el software sea más mantenible, lo cual significa que puedes mantener el programa funcionando cuando otras partes del sistema cambian, y modificar el programa para cumplir con nuevos requisitos.

Un principio de diseño que ayuda a alcanzar ese objetivo es mantener las interfaces separadas de las implementaciones. Para objetos, eso significa que los métodos que proporciona una clase no deberían depender de la manera en que los atributos estén representados.

Por ejemplo, en este capítulo desarrollamos una clase que representa una hora del día. Los métodos proporcionados por esta clase incluyen a `tiempo_a_int`, `esta_despues` y `sumar_tiempo`.

Podríamos implementar esos métodos de muchas maneras. Los detalles de la implementación dependen de cómo representemos al tiempo. En este capítulo, los atributos de un objeto `Tiempo` son `hora`, `minuto` y `segundo`.

Como alternativa, podíamos reemplazar estos atributos con un único entero que represente al número de segundos desde la medianoche. Esta implementación haría que algunos métodos, como `esta_despues`, sean más fáciles de escribir, pero haría que otros métodos sean más difíciles.

Después de que implementes una clase nueva, quizás descubras una mejor implementación. Si otras partes del programa están utilizando tu clase, cambiar la interfaz podría consumir tiempo y ser propenso a errores.

Sin embargo, si diseñaste la interfaz con cuidado, puedes cambiar la implementación sin cambiar la interfaz, lo cual significa que otras partes del programa no tienen que cambiar.

## 17.12. Glosario

**lenguaje orientado a objetos:** Un lenguaje que proporciona características, tales como métodos y tipos definidos por el programador, que facilitan la programación orientada a objetos.

**programación orientada a objetos:** Un estilo de programación en el cual los datos y las operaciones que los manipulan se organizan en clases y métodos.

**método:** Una función que se define dentro de una definición de clase y se invoca en instancias de esa clase.

**sujeto:** El objeto en el cual se invoca a un método.

**argumento posicional:** Un argumento que no incluye un nombre de parámetro, por tanto no es un argumento de palabra clave.

**sobrecarga de operador:** Cambiar el comportamiento de un operador como + para que funcione con un tipo definido por el programador.

**despacho basado en tipo:** Un patrón de programación que verifica el tipo de un operando e invoca a funciones diferentes para tipos diferentes.

**polimórfico:** Dicho de una función que puede trabajar con más de un tipo.

### 17.13. Ejercicios

**Ejercicio 17.1.** Descarga el código de este capítulo en <http://thinkpython2.com/code/Time2.py>. Cambia los atributos de `Time` para que sea un único entero que represente los segundos desde la media noche. Luego, modifica los métodos (y la función `int_to_time`) para que funcionen con la nueva implementación. No deberías tener que modificar el código de prueba en `main`. Cuando termines, la salida debería ser la misma que antes. Solución: [http://thinkpython2.com/code/Time2\\_soln.py](http://thinkpython2.com/code/Time2_soln.py).

**Ejercicio 17.2.** Este ejercicio es un cuento con moraleja acerca de uno de los errores en Python más comunes y más difíciles de encontrar. Escribe una definición de una clase con nombre `Kangaroo` con los siguientes métodos:

1. Un método `__init__` que inicialice un atributo con nombre `pouch_contents` (contenido de la bolsa) a una lista vacía.
2. Un método con nombre `put_in_pouch` (poner en la bolsa) que tome un objeto de cualquier tipo y lo añada a `pouch_contents`.
3. Un método `__str__` que devuelva una representación de cadena del objeto `Kangaroo` y los contenidos de la bolsa.

Prueba tu código creando dos objetos `Kangaroo`, asignándolos a variables con nombres `kanga` y `roo`, y luego añadiendo `roo` al contenido de la bolsa de `kanga`.

Descarga <http://thinkpython2.com/code/BadKangaroo.py>. Contiene una solución al problema anterior con un gran y horrible error. Encuentra y corrige el error.

Si te estancas, puedes descargar <http://thinkpython2.com/code/GoodKangaroo.py>, que explica el problema y demuestra una solución.

# Capítulo 18

## Herencia

La característica de un lenguaje que se asocia con más frecuencia a la programación orientada a objetos es la **herencia**. La herencia es la posibilidad de definir una clase nueva que sea una versión modificada de una clase existente. En este capítulo demuestro la herencia utilizando clases que representan cartas de juego, barajas de cartas y manos de póker.

Si no juegas póker, puedes leer sobre este en <http://en.wikipedia.org/wiki/Poker>, pero no tienes que hacerlo; te diré lo que necesitas saber para los ejercicios.

Los ejemplos de código de este capítulo están disponibles en <http://thinkpython2.com/code/Card.py>.

### 18.1. Objetos Carta

Hay cincuenta y dos cartas en una baraja, cada una perteneciente a uno de los cuatro palos y uno de los trece rangos. Los palos son Picas, Corazones, Diamantes y Tréboles (en orden descendiente en el bridge). Los rangos son As, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, Jota, Reina y Rey. Dependiendo del juego que estés jugando, el valor de un As puede ser mayor al de un Rey o menor que 2.

Si queremos definir un objeto nuevo que represente una carta, los atributos que debería tener son obvios: rango y palo. Lo que no es obvio es qué tipo de atributos deberían ser. Una posibilidad es utilizar cadenas que contengan palabras como 'Picas' para palos y 'Reina' para rangos. Un problema que tiene esta implementación es que no sería fácil comparar cartas para ver cuál tiene un rango o palo con más valor.

Una alternativa es utilizar enteros para **codificar** los rangos y palos. En este contexto, “codificar” significa que vamos a definir un mapeo entre números y palos, o entre números y rangos. Este tipo de codificación no está destinado a ser secreto (eso sería “cifrado”).

Por ejemplo, esta tabla muestra los palos y sus correspondientes códigos enteros:

Picas	↦	3
Corazones	↦	2
Diamantes	↦	1
Tréboles	↦	0

Este código facilita la comparación entre cartas: dado que los palos con mayor valor maapean a números mayores, podemos comparar palos comparando sus códigos.

El mapeo para los rangos es bastante obvio: cada uno de los rangos de número maapean al entero correspondiente, y para cartas de figura:

```
Jota    ↦ 11
Reina   ↦ 12
Rey     ↦ 13
```

Utilizo el símbolo  $\mapsto$  para que quede claro que estos mapeos no son parte del programa en Python. Son parte del diseño del programa, pero no aparecen explícitamente en el código.

La definición de clase para Carta se ve así:

```
class Carta:
    """Representa una carta de juego estándar."""

    def __init__(self, palo=0, rango=2):
        self.palo = palo
        self.rango = rango
```

Como siempre, el método `init` toma un parámetro opcional para cada atributo. La carta por defecto es el 2 de Tréboles.

Para crear una Carta, llamas a Carta con el palo y el rango de la carta que quieres.

```
reina_de_diamantes = Carta(1, 12)
```

## 18.2. Atributos de clase

Para imprimir objetos Carta de una manera que las personas puedan leer fácilmente, necesitamos un mapeo de códigos enteros a los rangos y palos correspondientes. Una manera natural de hacer eso es con listas de cadenas. Podemos asignar estas listas a **atributos de clase**:

# dentro de class Carta:

```
nombres_de_palo = ['Tréboles', 'Diamantes', 'Corazones', 'Picas']
nombres_de_rango = [None, 'As', '2', '3', '4', '5', '6', '7',
                    '8', '9', '10', 'Jota', 'Reina', 'Rey']

def __str__(self):
    return '%s de %s' % (Carta.nombres_de_rango[self.rango],
                        Carta.nombres_de_palo[self.palo])
```

Variables como `nombres_de_palo` y `nombres_de_rango`, que se definen dentro de una clase pero fuera de cualquier método, se llaman atributos de clase porque están asociados al objeto de clase Carta.

Este término los distingue de variables como `palo` y `rango`, que se llaman **atributos de instancia** porque están asociados a una instancia particular.

Para ambos tipos de atributo, se accede utilizando notación de punto. Por ejemplo, en `__str__`, `self` es un objeto Carta y `self.rango` es su rango. De manera similar, Carta es un objeto de clase y `Carta.nombres_de_rango` es una lista de cadenas asociadas a la clase.

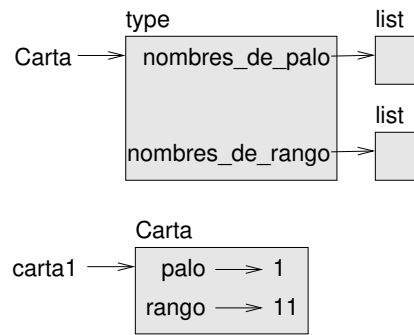


Figura 18.1: Diagrama de objeto.

Cada carta tiene su propio palo y rango, pero hay solo una copia de `nombres_de_palo` y `nombres_de_rango`.

Poniendo todos los elementos juntos, la expresión `Carta.nombres_de_rango[self.rango]` significa “utiliza el atributo `rango` del objeto `self` como índice dentro de la lista `nombres_de_rango` de la clase `Carta`, y selecciona la cadena correspondiente.”

El primer elemento de `nombres_de_rango` es `None` porque no hay carta con rango cero. Incluyendo a `None` como guardián de lugar, obtenemos un mapeo con la genial propiedad de que el índice 2 mapea a la cadena `'2'`, y así sucesivamente. Para evitar este ajuste, podríamos haber utilizado un diccionario en lugar de una lista.

Con los métodos que hemos visto hasta ahora, podemos crear e imprimir cartas:

```
>>> carta1 = Carta(2, 11)
>>> print(carta1)
Jota de Corazones
```

La Figura 18.1 es un diagrama del objeto de clase `Carta` y una instancia de `Carta`. `Carta` es un objeto de clase; su tipo es `type`. `carta1` es una instancia de `Carta`, por lo cual su tipo es `Carta`. Para ahorrar espacio, no dibujé los contenidos de `nombres_de_palo` y `nombres_de_rango`.

### 18.3. Comparar cartas

Para tipos incorporados, hay operadores relacionales (`<`, `>`, `==`, etc.) que comparan valores y determinan si uno es mayor, menor o igual al otro. Para tipos definidos por el programador, podemos anular el comportamiento de los operadores incorporados con un método cuyo nombre es `__lt__`, que significa “menor que” (*less than*).

`__lt__` toma dos parámetros, `self` y `other`, y devuelve `True` si `self` es estrictamente menor que `other`.

El orden correcto para las cartas no es obvio. Por ejemplo, ¿cuál es mejor, el 3 de Tréboles o el 2 de Diamantes? Uno tiene un rango mayor, pero el otro tiene un palo con más valor. Para comparar cartas, tienes que decidir si el rango o el palo es más importante.

La respuesta podría depender del juego que estás jugando, pero para mantener las cosas simples, haremos la elección arbitraria de que el palo es más importante, así que todas las Picas superan a todos los Diamantes, y así sucesivamente.

Con eso decidido, podemos escribir `__lt__`:

# dentro de class Carta:

```
def __lt__(self, other):
    # verifica los palos
    if self.palo < other.palo: return True
    if self.palo > other.palo: return False

    # los palos son iguales... verifica los rangos
    return self.rango < other.rango
```

Puedes escribir esto de manera más concisa utilizando comparación de tuplas:

# dentro de class Carta:

```
def __lt__(self, other):
    t1 = self.palo, self.rango
    t2 = other.palo, other.rango
    return t1 < t2
```

Como ejercicio, escribe un método `__lt__` para objetos Tiempo. Puedes utilizar comparación de tuplas, pero quizás también consideres comparar enteros.

## 18.4. Barajas

Ahora que tenemos Cartas, el siguiente paso es definir Barajas. Dado que una baraja está compuesta de cartas, es natural que cada Baraja contenga una lista de cartas como atributo.

Lo siguiente es una definición de clase para Baraja. El método `init` crea el atributo `cartas` y genera el conjunto estándar de cincuenta y dos cartas:

class Baraja:

```
def __init__(self):
    self.cartas = []
    for palo in range(4):
        for rango in range(1, 14):
            carta = Carta(palo, rango)
            self.cartas.append(carta)
```

La manera más fácil de llenar la baraja es con un bucle anidado. El bucle externo enumera los palos de 0 a 3. El bucle interior enumera los rangos de 1 a 13. Cada iteración crea una Carta nueva con el palo y el rango actuales, y la anexa a `self.cartas`.

## 18.5. Imprimir la baraja

Aquí hay un método `__str__` para Baraja:

# dentro de class Baraja:

```
def __str__(self):
    res = []
```



```

    for carta in self.cartas:
        res.append(str(carta))
    return '\n'.join(res)

```

Este método demuestra una manera eficiente de acumular una cadena grande: construir una lista de cadenas y luego utilizar el método de cadena `join`. La función incorporada `str` invoca el método `__str__` en cada carta y devuelve la representación de cadena.

Dado que invocamos a `join` en un carácter de nueva línea, las cartas están separadas por caracteres de nueva línea. Así es como se ve el resultado:

```

>>> baraja = Baraja()
>>> print(baraja)
As de Tréboles
2 de Tréboles
3 de Tréboles
...
10 de Picas
Jota de Picas
Reina de Picas
Rey de Picas

```

Si bien el resultado aparece en 52 líneas, es una única cadena larga que contiene caracteres de nueva línea.

## 18.6. Agregar, quitar, barajar y ordenar

Para repartir cartas, nos gustaría un método que quite una carta de la baraja y la entregue como valor de retorno. El método de lista `pop` proporciona una manera conveniente de hacer eso:

```

# dentro de class Baraja:

    def quitar_carta(self):
        return self.cartas.pop()

```

Dado que `pop` quita la *última* carta en la lista, estamos repartiendo desde el fondo de la baraja.

Para agregar una carta, podemos utilizar el método de lista `append`:

```

# dentro de class Baraja:

    def agregar_carta(self, carta):
        self.cartas.append(carta)

```

Un método como este que utiliza otro método sin hacer mucho trabajo a veces se llama **enchapado** (en inglés, *veneer*). La metáfora viene de la carpintería, donde un enchapado es una capa delgada de madera de buena calidad pegada a la superficie de un pedazo de madera más barato, para mejorar la apariencia.

En este caso `agregar_carta` es un método “delgado” que expresa una operación de lista en términos apropiados para barajas. Este mejora la apariencia, o interfaz, de la implementación.

Como otro ejemplo, podemos escribir un método de Baraja con nombre `barajar` utilizando la función `shuffle` del módulo `random`:

# dentro de class Baraja:

```
def barajar(self):
    random.shuffle(self.cartas)
```

No olvides importar a random.

Como ejercicio, escribe un método de Baraja con nombre ordenar que utilice el método de lista sort para ordenar las cartas en una Baraja. sort utiliza el método `__lt__` que definimos para determinar el orden.

## 18.7. Herencia

La herencia es la posibilidad de definir una clase nueva que sea una versión modificada de una clase existente. Como ejemplo, digamos que queremos una clase que represente una “mano”, es decir, las cartas sostenidas por un jugador. Una mano es similar a una baraja: ambas están compuestas de una colección de cartas, y ambas requieren operaciones como agregar y quitar cartas.

Una mano es también diferente de una baraja: hay operaciones para manos que no tienen sentido para una baraja. Por ejemplo, en el póker podríamos comparar dos manos para ver cuál gana. En el bridge, podríamos calcular el puntaje de una mano para hacer un canto.

Estas relaciones entre clases —similares, pero diferentes— dan lugar a la herencia. Para definir una clase nueva que herede de una clase existente, pones el nombre de la clase existente en paréntesis:

```
class Mano(Baraja):
    """Representa una mano de cartas de juego."""
```

Esta definición indica que Mano hereda de Baraja; eso significa que podemos utilizar métodos como `quitar_carta` y `agregar_carta` en Manos de igual manera que en Barajas.

Cuando una clase nueva hereda de una existente, la existente se llama **padre** y la clase nueva se llama **hija**.

En este ejemplo, Mano hereda a `__init__` de Baraja, pero en realidad no hace lo que queremos: en lugar de llenar la mano con 52 cartas nuevas, el método `init` para Manos debería inicializar cartas con una lista vacía.

Si proporcionamos un método `init` en la clase Mano, este anula el de la clase Baraja:

# dentro de class Mano:

```
def __init__(self, etiqueta=''):
    self.cartas = []
    self.etiqueta = etiqueta
```

Cuando creas una Mano, Python invoca este método `init`, no el de Baraja.

```
>>> mano = Mano('nueva mano')
>>> mano.cartas
[]
>>> mano.etiqueta
'nueva mano'
```

Los otros métodos se heredan de Baraja, así que podemos utilizar a `quitar_carta` y `agregar_carta` para repartir una carta:

```
>>> baraja = Baraja()
>>> carta = baraja.quitar_carta()
>>> mano.agregar_carta(carta)
>>> print(mano)
Rey de Picas
```

Un siguiente paso natural es encapsular este código en un método llamado `mover_cartas`:

# dentro de class Baraja:

```
def mover_cartas(self, mano, num):
    for i in range(num):
        mano.agregar_carta(self.quitar_carta())
```

`mover_cartas` toma dos argumentos, un objeto `Mano` y el número de cartas a repartir. Modifica tanto a `self` como a `mano`, y devuelve `None`.

En algunos juegos, las cartas se mueven de una mano a otra, o de una mano de vuelta a la baraja. Puedes utilizar a `mover_cartas` para cualquiera de estas operaciones: `self` puede ser una `Baraja` o una `Mano`, y `mano`, a pesar del nombre, puede ser también una `Baraja`.

La herencia es una característica útil. Algunos programas que serían repetitivos sin la herencia se pueden reescribir de manera más elegante con esta. La herencia puede facilitar la reutilización de código, dado que puedes personalizar el comportamiento de las clases padres sin tener que modificarlas. En algunos casos, la estructura de la herencia refleja la estructura natural del problema, lo cual hace al diseño más fácil de entender.

Por otra parte, la herencia puede hacer a los programas difíciles de leer. Cuando se invoca a un método, a veces no está claro dónde encontrar su definición. El código relevante puede estar distribuido en varios módulos. Además, muchas de las cosas que se pueden hacer utilizando herencia se pueden hacer igual de bien o mejor sin esta.

## 18.8. Diagramas de clase

Hasta ahora hemos visto diagramas de pila, que muestran el estado de un programa, y diagramas de objeto, que muestran los atributos de un objeto y sus valores. Estos diagramas representan un instante en la ejecución de un programa, por tanto cambian a medida que el programa avanza.

Además, son altamente detallados; para algunos propósitos, muy detallados. Un diagrama de clase es una representación más abstracta de la estructura de un programa. En lugar de mostrar objetos individuales, muestra clases y las relaciones entre estas.

Hay varios tipos de relaciones entre clases:

- Los objetos en una clase podrían contener referencias a objetos en otra clase. Por ejemplo, cada `Rectángulo` contiene una referencia a un `Punto`, y cada `Baraja` contiene referencias a muchas `Cartas`. Este tipo de relaciones se llama **HAS-A** (*tiene un*), como en “un `Rectángulo` tiene un `Punto`.”
- Una clase podría heredar de otra. Esta relación se llama **IS-A** (*es un*), como en “una `Mano` es un tipo de `Baraja`.”

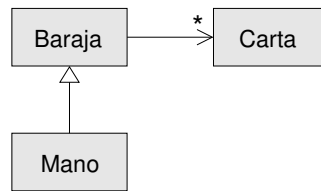


Figura 18.2: Diagrama de clase.

- Una clase podría depender de otra en el sentido de que objetos de una clase tomen objetos de la segunda clase como parámetros, o utilizar objetos de la segunda clase como parte de una computación. Este tipo de relación se llama **dependencia**.

Un **diagrama de clase** es una representación gráfica de estas relaciones. Por ejemplo, la Figura 18.2 muestra las relaciones entre Carta, Baraja y Mano.

La flecha con una cabeza triangular hueca representa una relación IS-A; en este caso indica que Mano hereda de Baraja.

La flecha con una cabeza estándar representa una relación HAS-A; en este caso una Baraja tiene referencias a objetos Carta.

El asterisco (\*) cerca de la cabeza de la flecha tiene una **multiplicidad**; esto indica cuántas Cartas tiene una Baraja. Una multiplicidad puede ser un número simple, como 52, un rango, como 5..7 o un asterisco, que indica que una Baraja puede tener cualquier número de Cartas.

No hay dependencias en este diagrama. Normalmente se mostrarían con una flecha punteada. O bien si hay muchas dependencias, a veces se omiten.

Un diagrama más detallado podría mostrar que una Baraja contiene en realidad una *lista* de Cartas, pero los tipos incorporados como list y dict generalmente no se incluyen en los diagramas de clase.

## 18.9. Depuración

La herencia puede dificultar la depuración porque cuando invocas a un método en un objeto, podría ser difícil averiguar qué método será invocado.

Supongamos que estás escribiendo una función que trabaja con objetos Mano. Te gustaría trabajar con todos los tipos de Mano, como ManoPóker, ManoBridge, etc. Si invocas a un método como barajar, quizás obtengas el que se definió en Baraja, pero si alguna de las subclases anula este método, obtendrás esa versión en su lugar. Este comportamiento es generalmente algo bueno, pero puede ser confuso.

Cada vez que tengas inseguridad acerca del flujo de ejecución a través de tu programa, la solución más simple es agregar sentencias print al principio de métodos relevantes. Si Baraja.barajar imprime un mensaje que diga algo como Ejecutando Baraja.barajar, entonces se sigue el flujo de ejecución a medida que el programa avanza.

Como alternativa, podrías utilizar esta función, que toma un objeto y un nombre de método (como cadena) y devuelve la clase que proporciona la definición del método:

```
def encontrar_clase_definitoria(obj, nombre_metodo):
    for tipo in type(obj).mro():
        if nombre_metodo in tipo.__dict__:
            return tipo
```

Aquí hay un ejemplo:

```
>>> mano = Mano()
>>> encontrar_clase_definitoria(mano, 'barajar')
<class '__main__.Baraja'>
```

Entonces el método `barajar` para esta `Mano` es la que está en `Baraja`.

`encontrar_clase_definitoria` utiliza el método `mro` para obtener la lista de objetos de clase (tipos) en los cuales serán buscados los métodos. “MRO” significa “orden de resolución de método” (en inglés, *method resolution order*), que es la secuencia de clases que Python busca para “resolver” un nombre de método.

Aquí hay una sugerencia de diseño: cuando anulas un método, la interfaz del nuevo método debería ser la misma que el antiguo. Debería tomar los mismos parámetros, devolver el mismo tipo y cumplir las mismas precondiciones y postcondiciones. Si sigues esta regla, encontrarás que cualquier función diseñada para trabajar con una instancia de una clase padre, como `Baraja`, funcionará también con instancias de clases hijas, como `Mano` y `ManoPóker`.

Si violas esta regla, que se llama “principio de sustitución de Liskov”, tu código colapsará como (lo siento) un castillo de cartas.

## 18.10. Encapsulamiento de datos

Los capítulos anteriores demuestran un plan de desarrollo que podríamos llamar “diseño orientado a objetos”. Identificamos objetos que necesitábamos —como `Punto`, `Rectángulo` y `Tiempo`— y clases definidas para representarlos. En cada caso, hay una correspondencia obvia entre el objeto y alguna entidad del mundo real (o al menos de un mundo matemático).

Sin embargo, a veces es menos obvio qué objetos necesitas y cómo deberían interactuar. En ese caso, necesitas un plan de desarrollo diferente. De la misma manera en que descubrimos interfaces de función encapsulando y generalizando, podemos descubrir interfaces de clase a través del **encapsulamiento de datos**.

El análisis de Markov, de la Sección 13.8, proporciona un buen ejemplo. Si descargas mi código en <http://thinkpython2.com/code/markov.py>, verás que utiliza dos variables globales —`suffix_map` y `prefix`— que se leen y escriben desde varias funciones.

```
suffix_map = {}
prefix = ()
```

Dado que estas variables son globales, solo podemos ejecutar un análisis a la vez. Si leemos dos textos, sus prefijos y sufijos se agregarían a la misma estructura de datos (lo que lo convierte en un interesante texto generado).

Para ejecutar múltiples análisis, y mantenerlos separados, podemos encapsular el estado de cada análisis en un objeto. Así es como se ve eso:

```
class Markov:
```

```
    def __init__(self):
        self.suffix_map = {}
        self.prefix = ()
```

Luego, transformamos las funciones en métodos. Por ejemplo, aquí está `process_word`:

```
    def process_word(self, word, order=2):
        if len(self.prefix) < order:
            self.prefix += (word,)
            return

        try:
            self.suffix_map[self.prefix].append(word)
        except KeyError:
            # si no hay entrada para este prefijo, crear una
            self.suffix_map[self.prefix] = [word]

        self.prefix = shift(self.prefix, word)
```

Transformar un programa como este —cambiar el diseño sin cambiar el comportamiento— es otro ejemplo de refactorización (ver Sección 4.7).

Este ejemplo sugiere un plan de desarrollo para diseñar objetos y métodos:

1. Comienza escribiendo funciones que lean y escriban variables globales (cuando sea necesario).
2. Una vez que hagas funcionar el programa, busca asociaciones entre variables globales y las funciones que las utilizan.
3. Encapsula variables relacionadas como atributos de un objeto.
4. Transforma las funciones asociadas en métodos de una clase nueva.

Como ejercicio, descarga mi código de Markov en <http://thinkpython2.com/code/markov.py>, y sigue los pasos descritos anteriormente para encapsular las variables globales como atributos de una clase nueva llamada `Markov`. Solución: <http://thinkpython2.com/code/markov2.py>.

## 18.11. Glosario

**codificar:** Representar un conjunto de valores utilizando otro conjunto de valores, construyendo un mapeo entre ambos.

**atributo de clase:** Un atributo asociado a un objeto de clase. Los atributos de clase se definen dentro de una definición de clase pero afuera de cualquier método.

**atributo de instancia:** Un atributo asociado a una instancia de una clase.

**enchapado:** Un método o función que proporciona una interfaz diferente a otra función sin hacer muchas computaciones.

**herencia:** La posibilidad de definir una clase nueva que sea una versión modificada de una clase definida anteriormente.

**clase padre:** La clase desde la cual una clase hija hereda.

**clase hija:** Una clase nueva creada a través de herencia de una clase existente; también llamada “subclase”.

**relación IS-A:** Una relación entre una clase hija y su clase padre.

**relación HAS-A:** Una relación entre dos clases donde instancias de una clase contienen referencias a instancias de la otra.

**dependencia:** Una relación entre dos clases donde instancias de una clase utilizan instancias de otra clase, pero no las almacenan como atributos.

**diagrama de clase:** Un diagrama que muestra las clases en un programa y las relaciones entre estas.

**multiplicidad:** Una notación en un diagrama de clase que muestra, para una relación HAS-A, cuántas referencias a instancias de otra clase hay.

**encapsulamiento de datos:** Un plan de desarrollo de programa que involucra a un prototipo que utiliza variables globales y una versión final que convierte las variables globales en atributos de instancia.

## 18.12. Ejercicios

**Ejercicio 18.1.** *Para el siguiente programa, dibuja un diagrama de clase UML que muestre estas clases y las relaciones entre estas.*

```
class PingPongPadre:
    pass

class Ping(PingPongPadre):
    def __init__(self, pong):
        self.pong = pong

class Pong(PingPongPadre):
    def __init__(self, pings=None):
        if pings is None:
            self.pings = []
        else:
            self.pings = pings

    def agregar_ping(self, ping):
        self.pings.append(ping)

pong = Pong()
ping = Ping(pong)
pong.agregar_ping(ping)
```

**Ejercicio 18.2.** Escribe un método de Baraja llamado `repartir_manos` que tome dos parámetros, el número de manos y el número de cartas por cada mano. Debería crear el número apropiado de objetos `Mano`, repartir el número apropiado de cartas por cada `Mano` y devolver una lista de `Manos`.

**Ejercicio 18.3.** Lo siguiente son las posibles manos en el póker, en orden creciente de valor y decreciente de probabilidad:

**pareja:** dos cartas con el mismo rango

**doble pareja:** dos pares de cartas con el mismo rango

**trío:** tres cartas con el mismo rango

**escalera:** cinco cartas con rangos en secuencia (los ases pueden ser altos o bajos, por lo cual `As-2-3-4-5` es una escalera y `10-Jota-Reina-Rey-As` también lo es, pero `Reina-Rey-As-2-3` no lo es.)

**color:** cinco cartas con el mismo palo

**full:** tres cartas con un rango, dos cartas con otro

**póker:** cuatro cartas con el mismo rango

**escalera de color:** cinco cartas en secuencia (como ya se definió) y con el mismo palo

El objetivo de estos ejercicios es estimar la probabilidad de extraer estas diferentes manos.

1. Descarga los siguientes archivos en <http://thinkpython2.com/code/>:  
`Card.py` : Una versión completa de las clases `Carta (Card)`, `Baraja (Deck)` y `Mano (Hand)` de este capítulo.  
`PokerHand.py` : Una implementación incompleta de una clase que representa una mano de póker, y algo de código que la prueba.
2. Si ejecutas `PokerHand.py`, reparte siete manos de póker de 7 cartas y verifica si alguna de estas contiene una jugada “color”. Lee este código con cuidado antes de continuar.
3. Agrega métodos a `PokerHand.py` con nombre `tiene_pareja`, `tiene_doblepareja`, etc. que devuelva `True` o `False` según si la mano cumple o no los criterios relevantes. Tu código debería funcionar de manera correcta para “manos” que contengan cualquier número de cartas (aunque 5 y 7 son los tamaños más comunes).
4. Escribe un método con nombre `clasificar` que averigüe la clasificación de mayor valor para una mano y ponga el atributo `etiqueta` según corresponda. Por ejemplo, una mano de 7 cartas podría contener un “color” y una “pareja”; debería etiquetarse “color”.
5. Cuando te convenzas de que tus métodos de clasificación funcionan, el siguiente paso es estimar las probabilidades de varias cartas. Escribe una función en `PokerHand.py` que baraje una baraja de cartas, la divida en manos, clasifique las manos y cuente el número de veces que aparecen varias clasificaciones.
6. Imprime una tabla con las clasificaciones y sus probabilidades. Ejecuta tu programa con números más y más grandes de manos hasta que los valores de salida converjan a un grado de exactitud razonable. Compara tus resultado con los valores en [http://en.wikipedia.org/wiki/Hand\\_rankings](http://en.wikipedia.org/wiki/Hand_rankings).

Solución: <http://thinkpython2.com/code/PokerHandSoln.py>.



# Capítulo 19

## Trucos extra

Uno de mis objetivos para este libro ha sido enseñarte la menor cantidad de Python posible. Cuando había dos maneras de hacer algo, escogí una y evité mencionar la otra. O a veces puse la segunda dentro de un ejercicio.

Ahora quiero volver a ver algunas de estas cosas buenas que dejé atrás. Python proporciona un número de características que no son realmente necesarias —puedes escribir buen código sin estas— pero con estas a veces puedes escribir código más conciso, legible o eficiente, y a veces las tres cosas a la vez.

### 19.1. Expresiones condicionales

Vimos las sentencias condicionales en la Sección 5.4. Las sentencias condicionales se utilizan a menudo para escoger uno de dos valores, por ejemplo:

```
if x > 0:
    y = math.log(x)
else:
    y = float('nan')
```

Esta sentencia verifica si `x` es positivo. Si lo es, calcula `math.log`. Si no, `math.log` levantaría un `ValueError`. Para evitar detener el programa, generamos un “NaN”, que es un valor de coma flotante especial que representa “Not a Number”.

Podemos escribir esta sentencia de manera más concisa utilizando una **expresión condicional**:

```
y = math.log(x) if x > 0 else float('nan')
```

Puedes leer esta línea casi como si estuviera en inglés: “y es log-x si x es mayor que 0; de lo contrario es NaN”.

Las funciones recursivas a veces se pueden reescribir utilizando expresiones condicionales. Por ejemplo, aquí hay una versión recursiva de `factorial`:

```
def factorial(n):
    if n == 0:
        return 1
```

```

    else:
        return n * factorial(n-1)

```

Podemos reescribirla así:

```

def factorial(n):
    return 1 if n == 0 else n * factorial(n-1)

```

Otro uso de las expresiones condicionales es al manejar argumentos opcionales. Por ejemplo, aquí está el método `init` de `GoodKangaroo` (ver Ejercicio 17.2):

```

def __init__(self, name, contents=None):
    self.name = name
    if contents == None:
        contents = []
    self.pouch_contents = contents

```

Podemos reescribirla así:

```

def __init__(self, name, contents=None):
    self.name = name
    self.pouch_contents = [] if contents == None else contents

```

En general, puedes reemplazar una sentencia condicional con una expresión condicional si ambas ramas contienen expresiones simples que se devuelven o asignan a la misma variable.

## 19.2. Comprensiones de lista

En la Sección 10.7 vimos los patrones de mapa y filtro. Por ejemplo, esta función toma una lista de cadenas, mapea el método de cadena `capitalize` a los elementos y devuelve una nueva lista de cadenas:

```

def todas_con_mayuscula(t):
    res = []
    for s in t:
        res.append(s.capitalize())
    return res

```

Podemos escribir esto de manera más concisa utilizando una **comprensión de lista**:

```

def todas_con_mayuscula(t):
    return [s.capitalize() for s in t]

```

Los operadores de corchetes indican que estamos construyendo una lista nueva. La expresión dentro de los corchetes especifica los elementos de la lista, y la cláusula `for` indica qué secuencia estamos recorriendo.

La sintaxis de una comprensión de lista es un poco incómoda porque la variable del bucle, `s` en este ejemplo, aparece en la expresión antes de llegar a la definición.

Las comprensiones de lista también se pueden utilizar para filtrar. Por ejemplo, esta función selecciona solo los elementos de `t` que están en mayúsculas y devuelve una lista nueva:

```

def solo_mayusculas(t):
    res = []
    for s in t:
        if s.isupper():
            res.append(s)
    return res

```

Podemos reescribirla utilizando una comprensión de lista

```
def solo_mayusculas(t):  
    return [s for s in t if s.isupper()]
```

Las comprensiones de lista son concisas y fáciles de leer, al menos para expresiones simples. Y generalmente son más rápidas que el equivalente para bucles, a veces mucho más rápidas. Así que si sientes molestia conmigo por no mencionarlas antes, lo entiendo.

Sin embargo, en mi defensa, las comprensiones de lista son difíciles de depurar porque no puedes poner una sentencia `print` dentro del bucle. Sugiero que los utilices solo si el cálculo es lo suficientemente simple para que sea probable que lo hagas bien al primer intento. Y para principiantes eso significa nunca.

## 19.3. Expresiones generadoras

Las **expresiones generadoras** son similares a las comprensiones de lista, pero con paréntesis en lugar de corchetes:

```
>>> g = (x**2 for x in range(5))  
>>> g  
<generator object <genexpr> at 0x7f4c45a786c0>
```

El resultado es un objeto generador que sabe cómo iterar a través de una secuencia de valores. Sin embargo, a diferencia de una comprensión de lista, este no calcula todos los valores de una vez: espera hasta ser consultado. La función incorporada `next` obtiene el siguiente valor del generador:

```
>>> next(g)  
0  
>>> next(g)  
1
```

Cuando llegas al final de la secuencia, `next` levanta una excepción `StopIteration`. Puedes también utilizar un bucle `for` para iterar a través de los valores:

```
>>> for val in g:  
...     print(val)  
4  
9  
16
```

El objeto generador hace un seguimiento de dónde está en la secuencia, por lo cual el bucle `for` retoma donde `next` lo dejó. Una vez que el generador se acaba, continúa para levantar `StopIteration`:

```
>>> next(g)  
StopIteration
```

Las expresiones generadoras son a menudo utilizadas con funciones como `sum`, `max` y `min`:

```
>>> sum(x**2 for x in range(5))  
30
```

## 19.4. any y all

Python proporciona una función incorporada, `any`, que toma una secuencia de valores booleanos y devuelve `True` si alguno de los valores es `True`. Funciona en las listas:

```
>>> any([False, False, True])
True
```

Pero se utiliza a menudo con expresiones generadoras:

```
>>> any(letter == 't' for letter in 'monty')
True
```

Ese ejemplo no es muy útil porque hace lo mismo que el operador `in`. Sin embargo, podríamos utilizar `any` para reescribir alguna de las funciones de búsqueda que escribimos en la Sección 9.3. Por ejemplo, podríamos escribir `excluye` así:

```
def excluye(palabra, prohibidas):
    return not any(letra in prohibidas for letra in palabra)
```

La función se lee casi como en inglés, “palabra excluye prohibidas si no hay alguna letra prohibida en palabra.”

Utilizar `any` con una expresión generadora es eficiente porque se detiene inmediatamente si encuentra un valor `True`, por lo cual no tiene que evaluar la secuencia completa.

Python proporciona otra función incorporada, `all`, que devuelve `True` si cada elemento de la secuencia es `True`. Como ejercicio, utiliza `all` para reescribir `usa_todas` de la Sección 9.3.

## 19.5. Conjuntos (set)

En la Sección 13.6 utilicé diccionarios para encontrar las palabras que aparecen en un documento pero no en una lista de palabras. La función que escribí toma a `d1`, que contiene las palabras del documento como claves, y a `d2`, que contiene la lista de palabras. Este devuelve un diccionario que contiene las claves de `d1` que no están en `d2`.

```
def diferencia(d1, d2):
    res = dict()
    for clave in d1:
        if clave not in d2:
            res[clave] = None
    return res
```

En todos estos diccionarios, los valores son `None` porque nunca los utilizamos. Como resultado, desperdiciamos algo de espacio de almacenamiento.

Python proporciona otro tipo incorporado, llamado `set` (conjunto), que se comporta como una colección de claves de diccionario sin valores. Añadir elementos a un conjunto es rápido; en consecuencia, lo es la verificación de pertenencia. Además, los conjuntos proporcionan métodos y operadores para calcular operaciones de conjunto comunes.

Por ejemplo, la resta de conjuntos está disponible como método llamado `difference` o como operador, `-`. Entonces, podemos reescribir la función `diferencia` así:

```
def diferencia(d1, d2):
    return set(d1) - set(d2)
```

El resultado es un conjunto en lugar de un diccionario, pero para operaciones como la iteración, el comportamiento es el mismo.

Algunos de los ejercicios de este libro se pueden hacer de manera concisa y eficiente con conjuntos. Por ejemplo, aquí hay una solución a `tiene_duplicados`, del Ejercicio 10.7, que utiliza un diccionario:

```
def tiene_duplicados(t):
    d = {}
    for x in t:
        if x in d:
            return True
        d[x] = True
    return False
```

Cuando un elemento aparece por primera vez, se agrega al diccionario. Si el mismo elemento aparece otra vez, la función devuelve `True`.

Utilizando conjuntos, podemos escribir la misma función así:

```
def tiene_duplicados(t):
    return len(set(t)) < len(t)
```

Un elemento puede aparecer en un conjunto una sola vez, por lo cual si un elemento en `t` aparece más de una vez, el conjunto será más pequeño que `t`. Si no hay duplicados, el conjunto será del mismo tamaño que `t`.

Podemos también utilizar conjuntos para hacer algunos de los ejercicios del Capítulo 9. Por ejemplo, aquí hay una versión de `usa_solo` con un bucle:

```
def usa_solo(palabra, disponibles):
    for letra in palabra:
        if letra not in disponibles:
            return False
    return True
```

`usa_solo` verifica si todas las letras en `palabra` están en `disponibles`. Podemos reescribirla así:

```
def usa_solo(palabra, disponibles):
    return set(palabra) <= set(disponibles)
```

El operador `<=` verifica si un conjunto es subconjunto de otro, incluyendo la posibilidad de que sean iguales, lo cual es verdadero si todas las letras en `palabra` aparecen en `disponibles`.

Como ejercicio, reescribe `excluye` utilizando conjuntos.

## 19.6. Contadores (Counter)

Un contador (Counter) es como un conjunto, excepto que si un elemento aparece más de una vez, el contador hace un seguimiento de cuántas veces aparece. Si la idea matemática de **multiconjunto** se te hace familiar, un contador es una manera natural de representar un multiconjunto.

Counter está definido en un módulo estándar llamado `collections`, por lo cual tienes que importarlo. Puedes inicializar un contador con una cadena, lista, o cualquier otra cosa que soporte iteraciones:

```
>>> from collections import Counter
>>> contar = Counter('parrot')
>>> contar
Counter({'r': 2, 't': 1, 'o': 1, 'p': 1, 'a': 1})
```

Los contadores se comportan como diccionarios en muchas maneras: mapean de cada clave al número de veces que esta aparece. Al igual que en los diccionarios, las claves tienen que ser hashables.

A diferencia de los diccionarios, los contadores no elevan una excepción si accedes a un elemento que no aparece. En su lugar, devuelven 0:

```
>>> contar['d']
0
```

Podemos utilizar contadores para reescribir `es_anagrama` del Ejercicio 10.6:

```
def es_anagrama(palabra1, palabra2):
    return Counter(palabra1) == Counter(palabra2)
```

Si dos palabras son anagramas, contienen la misma cantidad de letras con la mismas cuentas, por tanto son equivalentes.

Los contadores proporcionan métodos y operadores para realizar operaciones como las de los conjuntos, incluyendo la suma, resta, unión e intersección. Además, proporcionan un método que a menudo es útil, `most_common`, que devuelve una lista de pares valor-frecuencia, ordenados desde el más común al menos común:

```
>>> contar = Counter('parrot')
>>> for valor, frecuencia in contar.most_common(3):
...     print(valor, frecuencia)
r 2
p 1
a 1
```

## 19.7. defaultdict

El módulo `collections` también proporciona a `defaultdict`, que es como un diccionario excepto que si accedes a una clave que no existe, este puede generar un valor nuevo sobre la marcha.

Cuando creas un `defaultdict`, proporcionas una función que se utiliza para crear valores nuevos. Una función utilizada para crear objetos a veces es llamada una **fábrica**. Las funciones incorporadas que crean listas, conjuntos y otros tipos se pueden utilizar como fábricas:

```
>>> from collections import defaultdict
>>> d = defaultdict(list)
```

Notar que el argumento es `list`, que es un objeto de clase, no `list()`, que es una lista nueva. La función que proporcionas no es llamada a menos que accedas a una clave que no existe.

```
>>> t = d['clave nueva']
>>> t
[]
```

La lista nueva, la cual llamamos `t`, también es añadida al diccionario. Por lo tanto, si modificamos `t`, el cambio aparece en `d`:

```
>>> t.append('valor nuevo')
>>> d
defaultdict(<class 'list'>, {'clave nueva': ['valor nuevo']})
```

Si estás creando un diccionario de listas, a menudo puedes escribir código más simple utilizando `defaultdict`. En mi solución al Ejercicio 12.2, que puedes obtener en [http://thinkpython2.com/code/anagram\\_sets.py](http://thinkpython2.com/code/anagram_sets.py), creo un diccionario que mapea de una cadena de letras ordenada a la lista de palabras que se pueden escribir con esas letras. Por ejemplo, 'opst' mapea a la lista ['opts', 'post', 'pots', 'spot', 'stop', 'tops'].

Este es el código original:

```
def all_anagrams(filename):
    d = {}
    for line in open(filename):
        word = line.strip().lower()
        t = signature(word)
        if t not in d:
            d[t] = [word]
        else:
            d[t].append(word)
    return d
```

Esto se puede simplificar utilizando `setdefault`, que tal vez utilizaste en el Ejercicio 11.2:

```
def all_anagrams(filename):
    d = {}
    for line in open(filename):
        word = line.strip().lower()
        t = signature(word)
        d.setdefault(t, []).append(word)
    return d
```

Esta solución tiene el inconveniente de que crea una nueva lista cada vez, independiente de si es necesaria. Para las listas, eso no es un gran problema, pero si la función fábrica es complicada, podría serlo.

Podemos evitar este problema y simplificar el código utilizando un `defaultdict`:

```
def all_anagrams(filename):
    d = defaultdict(list)
    for line in open(filename):
        word = line.strip().lower()
        t = signature(word)
        d[t].append(word)
    return d
```

Mi solución al Ejercicio 18.3, que puedes descargar en <http://thinkpython2.com/code/PokerHandSoln.py>, utiliza `setdefault` en la función `has_straightflush`. Esta solución tiene el inconveniente de crear un objeto `Hand` en cada paso del bucle, cuando es necesaria y cuando no. Como ejercicio, reescribela utilizando un `defaultdict`.

## 19.8. Tuplas con nombre (namedtuple)

Muchos objetos simples son básicamente colecciones de valores relacionados. Por ejemplo, el objeto Punto definido en el Capítulo 15 contiene dos números, *x* e *y*. Cuando defines una clase como esta, generalmente comienzas con un método `init` y un método `str`:

```
class Punto:

    def __init__(self, x=0, y=0):
        self.x = x
        self.y = y

    def __str__(self):
        return '(%g, %g)' % (self.x, self.y)
```

Esto es mucho código para transmitir una cantidad pequeña de información. Python proporciona una manera más concisa de decir lo mismo:

```
from collections import namedtuple
Punto = namedtuple('Punto', ['x', 'y'])
```

El primer argumento es el nombre de la clase que quieres crear. El segundo es una lista de atributos que los objetos Punto debieran tener, en forma de cadenas. El valor de retorno de `namedtuple` es un objeto de clase:

```
>>> Punto
<class '__main__.Punto'>
```

Punto automáticamente proporciona métodos como `__init__` y `__str__`, así que no tienes que escribirlos.

Para crear un objeto Punto, utilizas la clase Punto como una función:

```
>>> p = Punto(1, 2)
>>> p
Punto(x=1, y=2)
```

El método `init` asigna argumentos a atributos utilizando nombres que proporcionas. El método `str` imprime una representación del objeto Punto y sus atributos.

Puedes acceder a los elementos de la tupla con nombre, escribiendo sus nombres:

```
>>> p.x, p.y
(1, 2)
```

Sin embargo, puedes también tratar a una tupla con nombre como una tupla:

```
>>> p[0], p[1]
(1, 2)
```

```
>>> x, y = p
>>> x, y
(1, 2)
```

Las tuplas con nombre proporcionan una manera rápida de definir clases simples. El inconveniente es que las clases simples no siempre permanecen simples. Tal vez decidas más tarde que quieres agregar métodos a una tupla con nombre. En ese caso, podrías definir una clase nueva que tome herencia de la tupla con nombre:

```
class SuperPunto(Punto):
    # agregar más métodos aquí
```

O bien podrías cambiar a una definición de clase convencional.



## 19.9. Reunir argumentos de palabra clave

En la Sección 12.4, vimos cómo escribir una función que reúne sus argumentos en una tupla:

```
def imprimir_todo(*args):
    print(args)
```

Puedes llamar a esta función con cualquier número de argumentos posicionales (es decir, argumentos que no tienen palabra clave):

```
>>> imprimir_todo(1, 2.0, '3')
(1, 2.0, '3')
```

Sin embargo, el operador `*` no reúne a los argumentos de palabra clave:

```
>>> imprimir_todo(1, 2.0, tercero='3')
TypeError: imprimir_todo() got an unexpected keyword argument 'tercero'
```

Para reunir argumentos de palabra clave, puedes utilizar el operador `**`:

```
def imprimir_todo(*args, **kwargs):
    print(args, kwargs)
```

Puedes llamar al parámetro de reunión de palabras clave como quieras, pero `kwargs` es una elección común (del inglés, *keyword arguments*). El resultado es un diccionario que mapea palabras clave a valores:

```
>>> imprimir_todo(1, 2.0, tercero='3')
(1, 2.0) {'tercero': '3'}
```

Si tienes un diccionario de palabras clave y valores, puedes utilizar el operador de dispersión `**` para llamar a una función:

```
>>> d = dict(x=1, y=2)
>>> Punto(**d)
Punto(x=1, y=2)
```

Sin el operador de dispersión, la función trataría a `d` como un argumento posicional único, por lo cual asignaría `d` a `x` y reclamaría porque no hay nada para asignar a `y`:

```
>>> d = dict(x=1, y=2)
>>> Punto(d)
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: __new__() missing 1 required positional argument: 'y'
```

Cuando estás trabajando con funciones que tienen un número grande de parámetros, a menudo es útil crear y pasar diccionarios que especifiquen las opciones utilizadas de manera frecuente.

## 19.10. Glosario

**expresión condicional:** Una expresión que tiene uno de dos valores, dependiendo de una condición.

**comprensión de lista:** Una expresión con un bucle `for` en corchetes que produce una lista nueva.

**expresión generadora:** Una expresión con un bucle `for` en paréntesis que produce un objeto generador.

**multiconjunto:** Una entidad matemática que representa un mapeo entre los elementos de un conjunto y el número de veces que estos aparecen.

**fábrica:** Una función, generalmente pasada como parámetro, utilizada para crear objetos.

## 19.11. Ejercicios

**Ejercicio 19.1.** *Lo siguiente es una función que calcula el coeficiente binomial de manera recursiva.*

```
def coeficiente_binomial(n, k):  
    """Calcula el coeficiente binomial "n sobre k".  
  
    n: número de ensayos  
    k: número de éxitos  
  
    devuelve: int  
    """  
    if k == 0:  
        return 1  
    if n == 0:  
        return 0  
  
    res = coeficiente_binomial(n-1, k) + coeficiente_binomial(n-1, k-1)  
    return res
```

*Reescribe el cuerpo de la función utilizando expresiones condicionales anidadas.*

*Nota: esta función no es muy eficiente porque termina calculando los mismos valores una y otra vez. Podrías hacerla más eficiente memoizando (ver Sección 11.6). Sin embargo, encontrarás que es más difícil memoizar si la escribes utilizando expresiones condicionales.*

# Apéndice A

## Depuración

Cuando estés depurando, deberías distinguir entre los diferentes tipos de errores con el fin de rastrearlos de manera más rápida:

- Los errores de sintaxis son descubiertos por el intérprete cuando está traduciendo el código fuente a código byte. Indican que hay algo mal en la estructura del programa. Ejemplo: omitir el signo de dos puntos al final de una sentencia `def` genera el mensaje algo redundante `SyntaxError: invalid syntax`.
- Los errores de tiempo de ejecución son producidos por el intérprete si algo va mal mientras el programa se está ejecutando. La mayoría de los mensajes de error de tiempo de ejecución incluyen información acerca de dónde ocurrió el error y qué funciones se estaban ejecutando. Ejemplo: una recursividad infinita eventualmente causa el error de tiempo de ejecución `"maximum recursion depth exceeded"`.
- Los errores semánticos son problemas que tiene un programa que se ejecuta sin producir mensajes de error pero sin hacer lo correcto. Ejemplo: una expresión puede que no sea evaluada en el orden que esperas, entregando un resultado incorrecto.

El primer paso en la depuración es averiguar con qué tipo de error estás lidiando. Aunque las siguientes secciones están organizadas por tipo de error, algunas técnicas son aplicables en más de una situación.

### A.1. Errores de sintaxis

Los errores de sintaxis son generalmente fáciles de arreglar una vez que averiguas cuáles son. Desafortunadamente, los mensajes de error a menudo no son útiles. Los mensajes más comunes son `SyntaxError: invalid syntax` y `SyntaxError: invalid token`, de los cuales ninguno es muy informativo.

Por otra parte, el mensaje sí te dice el lugar del programa donde ocurrió el problema. En realidad, te dice dónde Python notó un problema, que no necesariamente es donde está el error. A veces el error está antes de la ubicación del mensaje de error, a menudo en la línea precedente.

Si estás construyendo el programa de manera incremental, deberías tener una buena idea acerca de dónde está el error. Estará en la última línea que agregaste.

Si estás copiando código de un libro, comienza comparando tu código con el código del libro de manera muy cuidadosa. Revisa cada carácter. Al mismo tiempo, recuerda que el libro podría estar mal, por tanto si ves algo que parece un error de sintaxis, puede serlo.

Aquí hay algunas maneras de evitar los errores de sintaxis más comunes:

1. Asegúrate de que no estás utilizando una palabra clave de Python para un nombre de variable.
2. Verifica que tienes un signo de dos puntos al final del encabezado de cada sentencia compuesta, incluyendo las sentencias `for`, `while`, `if` y `def`.
3. Asegúrate de que todas las cadenas en el código tengan comillas coincidentes. Asegúrate de que todas las comillas son “comillas rectas”, no “comillas tipográficas”.
4. Si tienes cadenas multilínea con comillas triples (simples o dobles), asegúrate de que has terminado la cadena de manera apropiada. Una cadena sin terminar puede causar un error `invalid token` al final de tu programa, o puede tratar la siguiente parte del programa como una cadena hasta que llega a la siguiente cadena. En el segundo caso, ¡podría no producir ningún mensaje de error!
5. Un operador de apertura no cerrado —`(`, `{` o `[`— hace que Python continúe con la línea siguiente como parte de la sentencia actual. Generalmente, ocurre un error casi inmediatamente en la línea siguiente.
6. Revisa el clásico `=` en lugar de `==` dentro de un condicional.
7. Revisa la sangría para asegurarte de que esté alineada como se supone que debe estar. Python puede manejar el espacio y la tabulación, pero si los mezclas puede causar problemas. La mejor manera de evitar este problema es utilizar un editor de texto que sepa sobre Python y genere sangría consistente.
8. Si tienes caracteres no ASCII en el código (incluyendo cadenas y comentarios), podría causar un problema, aunque Python 3 generalmente maneja caracteres no ASCII. Ten cuidado si pegas texto de una página web u otra fuente.

Si nada funciona, pasa a la siguiente sección...

### A.1.1. Sigo haciendo cambios y no hay diferencia.

Si el intérprete dice que hay un error y tú no lo ves, podría ser porque tú y el intérprete no están mirando el mismo código. Revisa tu entorno de programación para asegurarte de que el programa que estás editando es el que Python está intentando ejecutar.

Si no sabes bien, intenta poniendo un error de sintaxis obvio y deliberado al principio del programa. Ahora ejecútalo de nuevo. Si el intérprete no encuentra el nuevo error, no estás ejecutando el código nuevo.

Hay algunos posibles culpables:

- Editaste el archivo y olvidaste guardar los cambios antes de ejecutarlo de nuevo. Algunos entornos de programación hacen esto por ti, pero otros no.
- Cambiaste el nombre del archivo, pero todavía estás ejecutando el nombre antiguo.
- Algo en tu entorno de desarrollo está configurado de manera incorrecta.
- Si estás escribiendo un módulo y utilizando `import`, asegúrate de que no le das a tu módulo el mismo nombre que uno de los módulos estándar de Python.
- Si estás utilizando `import` para leer un módulo, recuerda que tienes que reiniciar el intérprete o utilizar `reload` para leer un archivo modificado. Si importas el módulo de nuevo, no hace nada.

Si te atascas y no puedes averiguar qué está pasando, una manera de abordarlo es comenzar de nuevo con un nuevo programa como “Hola, mundo” y asegurarte de que puedes obtener un programa conocido para ejecutar. Luego agrega gradualmente los pedazos del programa original al nuevo programa.

## A.2. Errores de tiempo de ejecución

Una vez que tu programa está sintácticamente correcto, Python puede leerlo y al menos comenzar a ejecutarlo. ¿Qué podría salir mal?

### A.2.1. Mi programa no hace absolutamente nada.

Este problema es más común cuando tu archivo se compone de funciones y clases pero en realidad no invoca una función para comenzar la ejecución. Esto puede ser intencional si solo planeas importar este módulo para proporcionar clases y funciones.

Si no es intencional, asegúrate de que hay una llamada a función en el programa, y asegúrate de que el flujo de ejecución lo alcanza (ver “Flujo de ejecución” más adelante).

### A.2.2. Mi programa se congela.

Si un programa se detiene y parece que no hace nada, está “congelado”. A menudo eso significa que está atrapado en un bucle infinito o una recursividad infinita.

- Si hay un bucle en particular del cual sospechas que es el problema, agrega una sentencia `print` inmediatamente antes del bucle que diga “entrando al bucle” y otro inmediatamente después que diga “saliendo del bucle”.

Ejecuta el programa. Si obtienes el primer mensaje y no el segundo, tienes un bucle infinito. Ve a la sección “Bucle infinito” de más adelante.

- La mayor parte del tiempo, una recursividad infinita causará que el programa se ejecute por un momento y luego produzca un error “RuntimeError: Maximum recursion depth exceeded”. Si eso ocurre, ve a la sección “Recursividad infinita” de más adelante.

Si no obtienes este error pero sospechas que hay un problema con una función recursiva o método recursivo, todavía puedes utilizar las técnicas de la sección “Recursividad infinita”.

- Si ninguno de esos pasos funciona, comienza a probar otros bucles y otras funciones y métodos recursivos.
- Si eso no funciona, entonces es posible que no entiendas el flujo de ejecución de tu programa. Ve a la sección “Flujo de ejecución” de más adelante.

### Bucle infinito

Si crees que tienes un bucle infinito y crees que sabes qué bucle está causando el problema, agrega una sentencia `print` al final del bucle que imprima los valores de las variables en la condición y el valor de la condición.

Por ejemplo:

```
while x > 0 and y < 0 :  
    # hacer algo a x  
    # hacer algo a y  
  
    print('x: ', x)  
    print('y: ', y)  
    print("condición: ", (x > 0 and y < 0))
```

Ahora cuando ejecutes el programa, verás tres líneas de salida cada vez que se pase por el bucle. En el último paso por el bucle, la condición debería ser `False`. Si el bucle continúa, podrás ver los valores de `x` y `y`, y podrías averiguar por qué no se están actualizando correctamente.

### Recursividad infinita

La mayoría de las veces, la recursividad infinita causa que el programa se ejecute por un momento y luego produzca un error `Maximum recursion depth exceeded`.

Si sospechas que una función está causando una recursividad infinita, asegúrate de que haya un caso base. Debería haber alguna condición que cause que la función devuelva algo sin hacer una invocación recursiva. Si no, necesitas volver a pensar el algoritmo e identificar un caso base.

Si hay un caso base pero el programa no parece estar alcanzándolo, agrega una sentencia `print` al principio de la función que imprima los parámetros. Ahora cuando ejecutes el programa, verás algunas líneas de salida cada vez que se invoca a la función, y verás los valores de los parámetros. Si los parámetros no se están moviendo hacia el caso base, obtendrás algunas ideas sobre por qué no ocurre.

### Flujo de ejecución

Si no sabes bien cómo se está moviendo el flujo de ejecución a través de tu programa, agrega sentencias `print` al principio de cada función con un mensaje como “entrando a la función `foo`”, donde `foo` es el nombre de la función.

Ahora cuando ejecutes el programa, imprimirá una señal de cada función que se invoque.

### A.2.3. Cuando ejecuto el programa obtengo una excepción.

Si algo va mal durante el tiempo de ejecución, Python imprime un mensaje que incluye el nombre de la excepción, la línea del programa donde ocurrió el problema y un rastreo.

El rastreo identifica la función que se está ejecutando actualmente y luego la función que la llamó, y luego la función que llamo a *aquella*, y así sucesivamente. En otras palabras, rastrea la secuencia de llamadas a función que te llevaron a donde estás, incluyendo el número de línea en tu archivo donde ocurrió cada llamada.

El primer paso es examinar el lugar del programa donde ocurrió el error y ver si puedes averiguar lo que sucedió. Estos son algunos de los errores de tiempo de ejecución más comunes:

**NameError:** Estás intentando utilizar una variable que no existe en el entorno actual. Revisa si el nombre está bien escrito, o al menos de manera consistente. Y recuerda que las variables locales son locales: no puedes referirte a estas desde afuera de la función donde se definieron.

**TypeError:** Hay varias causas posibles:

- Estás intentando utilizar un valor de manera inapropiada. Ejemplo: indexar una cadena, lista o tupla con algo que no es un entero.
- Hay una discordancia entre los ítems en una cadena de formato y los ítems pasados para una conversión. Eso puede ocurrir si el número de ítems no coincide o si se pidió una conversión no válida.
- Estás pasando el número equivocado de argumentos a una función. Para los métodos, mira la definición del método y verifica que el primer parámetro es `self`. Luego, mira la invocación al método; asegúrate de que estás invocando al método en un objeto con el tipo correcto y proporcionando los otros argumentos de manera correcta.

**KeyError:** Estás intentando acceder a un elemento de un diccionario utilizando una clave que el diccionario no contiene. Si las claves son cadenas, recuerda que las mayúsculas importan.

**AttributeError:** Estás intentando acceder a un atributo o método que no existe. ¡Revisa la ortografía! Puedes utilizar la función incorporada `vars` para hacer una lista de los atributos que sí existen.

Si un `AttributeError` indica que un objeto tiene `NoneType`, eso significa que es `None`. Entonces el problema no es el nombre de atributo, sino el objeto.

La razón por la cual el objeto es `None` podría ser que olvidaste devolver un valor desde una función; si llegas al final de una función poniendo una sentencia `return`, devuelve `None`. Otra causa común es utilizar el resultado de un método de lista, como `sort`, que devuelve `None`.

**IndexError:** El índice que estás utilizando para acceder a una lista, cadena o tupla es mayor que su longitud menos uno. Inmediatamente antes del lugar del error, agrega una sentencia `print` para mostrar en pantalla el valor del índice y la longitud de la secuencia. ¿Tiene la secuencia el tamaño correcto? ¿Tiene el índice el valor correcto?

El depurador de Python (`pdb`, *Python debugger*) es útil para rastrear excepciones porque te permite examinar el estado del programa inmediatamente antes del error. Puedes leer sobre `pdb` en <https://docs.python.org/3/library/pdb.html>.

#### A.2.4. Agregué tantas sentencias `print` que me inundé con la salida.

Uno de los problemas al utilizar sentencias `print` para depurar es que puedes terminar enterrándote en la salida. Hay dos maneras de proceder: simplificar la salida o simplificar el programa.

Para simplificar la salida, puedes eliminar o poner como comentarios las sentencias `print` que no están ayudando, o combinarlas, o dar formato a la salida para que sea más fácil de entender.

Para simplificar el programa, hay varias cosas que puedes hacer. Primero, reduce la escala del problema en el cual está trabajando el programa. Por ejemplo, si estás buscando una lista, busca una lista *pequeña*. Si el programa toma entrada del usuario, dale la entrada más simple que cause el problema.

Segundo, limpia el programa. Elimina el código muerto y reorganiza el programa para hacerlo tan fácil de leer como sea posible. Por ejemplo, si sospechas que el problema está en una parte profundamente anidada del programa, intenta reescribir esa parte con una estructura más simple. Si sospechas de una función grande, intenta separarla en funciones más pequeñas y probarlas de manera separada.

A menudo el proceso de encontrar el caso de prueba mínimo te guía al error. Si encuentras que un programa funciona en una situación pero no en otra, eso te da una pista sobre qué está pasando.

Del mismo modo, reescribir un pedazo de código puede ayudarte a encontrar errores sutiles. Si haces un cambio que crees que no debería afectar al programa, y sí afecta, eso te puede dar una pista.

### A.3. Errores semánticos

De alguna manera, los errores semánticos son los más difíciles de depurar, porque el intérprete no proporciona información sobre qué está mal. Solo tú sabes lo que se supone que debe hacer el programa.

El primer paso es hacer una conexión entre el texto del programa y el comportamiento que ves. Necesitas una hipótesis sobre qué está haciendo realmente el programa. Una de las cosas que hace que eso sea difícil es que los computadores funcionan muy rápido.

A menudo desearás poder ralentizar el programa a velocidad humana, y con algunos depuradores puedes hacerlo. Pero el tiempo que toma insertar unas pocas sentencias `print` bien ubicadas es a menudo corto comparado con el de configurar el depurador, insertar y eliminar puntos de interrupción, y avanzar “paso a paso” en el programa hasta donde ocurre el error.

#### A.3.1. Mi programa no funciona.

Deberías hacerte estas preguntas:

- ¿Hay algo que se supone que el programa debe hacer pero que no parece estar ocurriendo? Encuentra la sección del código que realiza esa función y asegúrate de que se está ejecutando cuando crees que debería.



- ¿Ocurre algo que no debería? Encuentra código en tu programa que realiza esa función y ve si se está ejecutando cuando no debería.
- ¿Hay una sección de código produciendo un efecto que no es lo que esperabas? Asegúrate de que entiendes el código en cuestión, especialmente si involucra funciones o métodos de otros módulos de Python. Lee la documentación para las funciones que llamas. Pruébalas escribiendo casos de prueba simples y verificando los resultados.

Para programar, necesitas un modelo mental de cómo funcionan los programas. Si escribes un programa que no hace lo que esperas, muchas veces el problema no está en el programa: está en tu modelo mental.

La mejor manera de corregir tu modelo mental es separar el programa en sus componentes (generalmente las funciones y métodos) y probar cada componente de manera independiente. Una vez que encuentres la discrepancia entre tu modelo y la realidad, puedes resolver el problema.

Por supuesto, deberías estar construyendo y probando componentes a medida que desarrollas el programa. Si encuentras un problema, debería haber solo una pequeña cantidad de código nuevo que no se sabe si es correcto.

### A.3.2. Tengo una expresión grande y fea, y no hace lo que yo espero.

Escribir expresiones complejas está bien mientras sean legibles, pero pueden ser difíciles de depurar. Muchas veces es una buena idea separar una expresión compleja en una serie de asignaciones a variables temporales.

Por ejemplo:

```
self.hands[i].addCard(self.hands[self.findNeighbor(i)].popCard())
```

Esto se puede reescribir como:

```
neighbor = self.findNeighbor(i)
pickedCard = self.hands[neighbor].popCard()
self.hands[i].addCard(pickedCard)
```

La versión explícita es más fácil de leer porque los nombres de variable proporcionan documentación adicional, y es más fácil depurar porque puedes verificar los tipos de las variables intermedias y mostrar sus valores en pantalla.

Otro problema que puede ocurrir con las expresiones grandes es que el orden de evaluación puede que no sea lo que esperas. Por ejemplo, si estás traduciendo la expresión  $\frac{x}{2\pi}$  a Python, podrías escribir:

```
y = x / 2 * math.pi
```

Eso no es correcto porque la multiplicación y la división tienen la misma prioridad y se evalúan de izquierda a derecha. Entonces esta expresión calcula  $x\pi/2$ .

Una buena manera de depurar expresiones es agregar paréntesis para hacer que el orden de evaluación sea explícito:

```
y = x / (2 * math.pi)
```

Siempre que no sepas bien del orden de evaluación, utiliza paréntesis. No solo estará correcto el programa (en el sentido de hacer lo que pretendías), también será más legible para otras personas que no han memorizado el orden de las operaciones.

### A.3.3. Tengo una función que no devuelve lo que yo espero.

Si tienes una sentencia `return` con una expresión compleja, no tienes la posibilidad de imprimir el resultado antes de devolverlo. De nuevo, puedes utilizar una variable temporal. Por ejemplo, en lugar de:

```
return self.hands[i].removeMatches()

podrías escribir:

count = self.hands[i].removeMatches()
return count
```

Ahora tienes la oportunidad de mostrar en pantalla el valor de `count` antes de devolverlo.

### A.3.4. De verdad me atasqué y necesito ayuda.

Primero, intenta alejarte del computador por algunos minutos. Los computadores emiten ondas que afectan al cerebro, causando estos síntomas:

- Frustración e ira.
- Creencias supersticiosas (“el computador me odia”) y pensamiento mágico (“el programa solo funciona cuando uso mi gorra hacia atrás”).
- Programación de camino aleatorio (el intento de programar escribiendo cada programa posible y escoger el que hace lo correcto).

Si te encuentras sufriendo alguno de estos síntomas, levántate y ve a dar un paseo. Cuando te hayas tranquilizado, piensa en el programa. ¿Qué está haciendo? ¿Cuáles son algunas posibles causas de aquel comportamiento? ¿Cuándo fue la última vez que tuviste un programa eficaz y qué hiciste después?

A veces solo toma tiempo encontrar un error de programación. A menudo encuentro errores cuando estoy lejos del computador y dejo vagar a mi mente. Algunos de los mejores lugares para encontrar errores son los trenes, las duchas y en la cama, justo antes de dormirte.

### A.3.5. No, realmente necesito ayuda.

Sucede. Incluso los mejores programadores se atascan ocasionalmente. A veces trabajas en un programa tan largo que no puedes ver el error. Necesitas otro punto de vista.

Antes de traer a alguien más, asegúrate de tener todo preparado. Tu programa debería ser tan simple como sea posible, y deberías estar trabajando en la entrada más pequeña que causa el error. Deberías tener sentencias `print` en los lugares apropiados (y la salida que producen debería ser comprensible). Deberías entender el problema lo suficientemente bien como para describirlo de manera concisa.

Cuando traigas a alguien para que te ayude, asegúrate de darle la información que necesita:

- Si hay un mensaje de error, ¿cuál es y qué parte del programa indica?
- ¿Qué fue lo último que hiciste antes de que ocurriera este error? ¿Cuáles fueron las últimas líneas de código que escribiste o cuál es el nuevo caso de prueba que falla?

- ¿Qué has intentado hasta ahora y qué has aprendido?

Cuando encuentres el error, tómate un segundo para pensar sobre qué podrías haber hecho para encontrarlo de manera más rápida. La próxima vez que veas algo similar, serás capaz de encontrar el error con más rapidez.

Recuerda, la meta no solo es hacer que el programa funcione. La meta es aprender cómo hacer que el programa funcione.



## Apéndice B

# Análisis de algoritmos

Este apéndice es un extracto de *Think Complexity*, por Allen B. Downey, también publicado por O'Reilly Media (2012). Cuando hayas terminado con este libro, quizás quieras continuar con aquel.

El **análisis de algoritmos** es una rama de las ciencias de la computación que estudia el rendimiento de los algoritmos, especialmente su tiempo de ejecución y requerimientos de espacio. Ver [http://en.wikipedia.org/wiki/Analysis\\_of\\_algorithms](http://en.wikipedia.org/wiki/Analysis_of_algorithms).

El objetivo práctico del análisis de algoritmos es predecir el rendimiento de diferentes algoritmos con el fin de guiar decisiones de diseño.

Durante la campaña presidencial de los Estados Unidos de 2008, al candidato Barack Obama le pidieron que realizara un análisis improvisado cuando visitó Google. El director ejecutivo Eric Schmidt le preguntó en broma por “la manera más eficiente para ordenar un millón de enteros de 32 bit.” Obama aparentemente se había dado un tropezón, porque rápidamente respondió: “Pienso que el ordenamiento de burbuja sería la manera incorrecta de proceder.” Ver [http://www.youtube.com/watch?v=k4RRi\\_ntQc8](http://www.youtube.com/watch?v=k4RRi_ntQc8).

Esto es verdad: el ordenamiento de burbuja (en inglés, *bubble sort*) es conceptualmente simple pero lento para bases de datos grandes. La respuesta que Schmidt probablemente estaba buscando es “ordenamiento radix” ([http://en.wikipedia.org/wiki/Radix\\_sort](http://en.wikipedia.org/wiki/Radix_sort))<sup>1</sup>.

El objetivo del análisis de algoritmos es hacer comparaciones significativas entre algoritmos, pero hay algunos problemas:

- El rendimiento relativo de los algoritmos podría depender de características del hardware, por lo cual un algoritmo podría ser más rápido en la Máquina A y otro en la Máquina B. La solución general a este problema es especificar un **modelo de máquina** y analizar el número de pasos, u operaciones, que un algoritmo requiere según un modelo de máquina dado.

---

<sup>1</sup>Pero si tienes una pregunta como esta en una entrevista, pienso que una mejor respuesta es, “La manera más rápida de ordenar un millón de enteros es utilizar cualquier función de ordenamiento que sea proporcionada por el lenguaje que estoy utilizando. Su rendimiento es suficientemente bueno para la gran mayoría de las aplicaciones, pero si resulta que mi aplicación fue muy lenta, utilizaría un analizador de rendimiento para ver dónde fue utilizado el tiempo. Si pareciera que un algoritmo de ordenamiento más rápido tendría un efecto importante en el rendimiento, entonces buscaría una buena implementación del ordenamiento radix.”

- El rendimiento relativo podría depender de los detalles del conjunto de datos. Por ejemplo, algunos algoritmos de ordenamiento se ejecutan de manera más rápida si los datos ya están parcialmente ordenados; otros algoritmos se ejecutan de manera más lenta en este caso. Una manera común de evitar este problema es analizar el **peor de los casos**. A veces es útil analizar el rendimiento del caso promedio, pero eso es generalmente más difícil, y el conjunto de casos sobre el cual se establece el promedio podría no ser obvio.
- El rendimiento relativo depende también del tamaño del problema. Un algoritmo de ordenamiento que es rápido para listas pequeñas podría ser lento para listas largas. La solución usual a este problema es expresar el tiempo de ejecución (o número de operaciones) como una función del tamaño del problema, y agrupar funciones en categorías dependiendo de qué tan rápido crecen a medida que el tamaño del problema aumenta.

Lo bueno de este tipo de comparaciones es que asegura una clasificación simple de los algoritmos. Por ejemplo, si sé que el tiempo de ejecución del Algoritmo A tiende a ser proporcional al tamaño de la entrada,  $n$ , y el algoritmo B tiende a ser proporcional a  $n^2$ , entonces espero que A sea más rápido que B, al menos para valores grandes de  $n$ .

Este tipo de análisis viene con algunas advertencias, pero llegaremos a eso más adelante.

## B.1. Orden de crecimiento

Supongamos que has analizado dos algoritmos y has expresado sus tiempos de ejecución en términos del tamaño de la entrada: al algoritmo A le toma  $100n + 1$  pasos resolver un problema con tamaño  $n$ ; al algoritmo B le toma  $n^2 + n + 1$  pasos.

La siguiente tabla muestra el tiempo de ejecución de estos algoritmos para diferentes tamaños de problema:

Tamaño de entrada	Tiempo de ejecución del algoritmo A	Tiempo de ejecución del algoritmo B
10	1 001	111
100	10 001	10 101
1 000	100 001	1 001 001
10 000	1 000 001	100 010 001

Cuando  $n = 10$ , el algoritmo A se ve bastante mal; toma casi 10 veces más que el algoritmo B. Pero para  $n = 100$  son casi lo mismo, y para valores más grandes A es mucho mejor.

La razón fundamental es que, para valores grandes de  $n$ , cualquier función que contiene el término  $n^2$  crecerá más rápido que una función cuyo término principal es  $n$ . El **término principal** es el término con el exponente más alto.

Para el algoritmo A, el término principal tiene un coeficiente grande, 100, que es el motivo por el cual B es mejor que A para  $n$  pequeño. Pero a pesar de los coeficientes, siempre habrá algún valor de  $n$  donde  $an^2 > bn$ , para cualquier valor de  $a$  y  $b$ .

El mismo argumento se aplica a los términos no principales. Incluso si el tiempo de ejecución del algoritmo A fuera  $n + 1000000$ , seguiría siendo mejor que el algoritmo B para  $n$  suficientemente grande.

En general, esperamos que un algoritmo con un término principal más pequeño sea un mejor algoritmo para problemas grandes, pero para problemas más pequeños puede haber un **punto de cruce** donde otro algoritmo es mejor. La ubicación del punto de cruce depende de los detalles de los algoritmos, las entradas y el hardware, por lo cual usualmente se ignora para propósitos de análisis algorítmico. Pero eso no significa que puedes olvidarlo.

Si dos algoritmos tienen el mismo término de orden principal, es difícil decir cuál es mejor; nuevamente, la respuesta depende de los detalles. Entonces para análisis algorítmico, las funciones con el mismo término principal se consideran equivalentes, incluso si tienen coeficientes diferentes.

Un **orden de crecimiento** es un conjunto de funciones cuyo comportamiento de crecimiento se considera equivalente. Por ejemplo,  $2n$ ,  $100n$  y  $n + 1$  pertenecen al mismo orden de crecimiento, el cual se escribe  $O(n)$  en **notación O grande** (en inglés, *Big-Oh*) y a menudo llamada **lineal** porque cada función de dicho conjunto crece de manera lineal con  $n$ .

Todas las funciones con término principal  $n^2$  pertenecen a  $O(n^2)$ : se llaman **cuadráticas**.

La siguiente tabla muestra algunos de los órdenes de crecimiento que aparecen más comúnmente en el análisis algorítmico, en orden creciente de ineficiencia.

Orden de crecimiento	Nombre
$O(1)$	constante
$O(\log_b n)$	logarítmica (para cualquier $b$ )
$O(n)$	lineal
$O(n \log_b n)$	linealítmica
$O(n^2)$	cuadrática
$O(n^3)$	cúbica
$O(c^n)$	exponencial (para cualquier $c$ )

Para los términos logarítmicos, la base del logaritmo no importa: cambiar las bases es equivalente a multiplicar por una constante, la cual no cambia el orden de crecimiento. De igual manera, todas las funciones exponenciales pertenecen al mismo orden de crecimiento, independiente de la base del exponente. Las funciones exponenciales crecen de manera muy rápida, por lo cual los algoritmos exponenciales solo son útiles para problemas pequeños.

**Ejercicio B.1.** Lee la página de Wikipedia sobre la notación O grande en [http://en.wikipedia.org/wiki/Big\\_O\\_notation](http://en.wikipedia.org/wiki/Big_O_notation) y responde las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el orden de crecimiento de  $n^3 + n^2$ ? ¿Qué pasa con  $1000000n^3 + n^2$ ? ¿Qué pasa con  $n^3 + 1000000n^2$ ?
2. ¿Cuál es el orden de crecimiento de  $(n^2 + n) \cdot (n + 1)$ ? Antes de que empieces a multiplicar, recuerda que solo necesitas el término principal.
3. Si  $f$  está en  $O(g)$ , para una función  $g$  no especificada, ¿qué podemos decir de  $af + b$ , donde  $a$  y  $b$  son constantes?
4. Si  $f_1$  y  $f_2$  están en  $O(g)$ , ¿qué podemos decir de  $f_1 + f_2$ ?
5. Si  $f_1$  está en  $O(g)$  y  $f_2$  está en  $O(h)$ , ¿qué podemos decir de  $f_1 + f_2$ ?
6. Si  $f_1$  está en  $O(g)$  y  $f_2$  es  $O(h)$ , ¿qué podemos decir de  $f_1 \cdot f_2$ ?

Los programadores que se preocupan del rendimiento a menudo encuentran este tipo de análisis difícil de tragar. Ellos tienen un punto: a veces los coeficientes y los términos no principales hacen una diferencia real. A veces los detalles del hardware, el lenguaje de programación y las características de la entrada hacen una gran diferencia. Y para problemas pequeños, el orden de crecimiento es irrelevante.

Pero si tienes en cuenta esas consideraciones, el análisis algorítmico es una herramienta útil. Al menos para problemas grandes, el “mejor” algoritmo es generalmente mejor, y a veces es *mucho* mejor. La diferencia entre dos algoritmos con el mismo orden de crecimiento es generalmente un factor constante, ¡pero la diferencia entre un buen algoritmo y un mal algoritmo no tiene límites!

## B.2. Análisis de operaciones básicas de Python

En Python, la mayoría de las operaciones aritméticas son de tiempo constante; la multiplicación generalmente toma más tiempo que la adición y sustracción, y la división toma aún más, pero estos tiempos de ejecución no dependen de la magnitud de los operandos. Los enteros muy grandes son una excepción: en ese caso el tiempo de ejecución aumenta con el número de dígitos.

Las operaciones de indexado —leer o escribir elementos en una secuencia o diccionario— también son de tiempo constante, independiente del tamaño de la estructura de datos.

Un bucle `for` que recorre una secuencia o diccionario es generalmente lineal, siempre y cuando todas las operaciones en el cuerpo del bucle sean de tiempo constante. Por ejemplo, sumar los elementos de una lista es lineal:

```
total = 0
for x in t:
    total += x
```

La función incorporada `sum` también es lineal porque hace lo mismo, pero tiende a ser más rápida porque es una implementación más eficiente; en el lenguaje del análisis algorítmico, tiene un coeficiente principal más pequeño.

Como regla general, si el cuerpo de un bucle está en  $O(n^a)$  entonces el bucle completo está en  $O(n^{a+1})$ . La excepción es cuando puedes mostrar que el bucle se interrumpe después de un número constante de iteraciones. Si un bucle se ejecuta  $k$  veces independiente de  $n$ , entonces el bucle está en  $O(n^a)$ , incluso para  $k$  grande.

Multiplicar por  $k$  no cambia el orden de crecimiento, ni tampoco dividir. Entonces, si el cuerpo de un bucle está en  $O(n^a)$  y se ejecuta  $n/k$  veces, el bucle está en  $O(n^{a+1})$ , incluso para  $k$  grande.

La mayoría de las operaciones de cadena y de tupla son lineales, excepto `index` y `len`, que es de tiempo constante. Las funciones incorporadas `min` y `max` son lineales. El tiempo de ejecución de una operación de trozo es proporcional a la longitud de la salida, pero independiente del tamaño de la entrada.

La concatenación de cadenas es lineal: el tiempo de ejecución depende de la suma de las longitudes de los operandos.



Todos los métodos de cadena son lineales, pero si las longitudes de las cadenas están acotadas por una constante —por ejemplo, operaciones en caracteres individuales— se consideran de tiempo constante. El método de cadena `join` es lineal: el tiempo de ejecución depende de la longitud total de las cadenas.

La mayoría de los métodos de lista son lineales, pero hay algunas excepciones:

- Agregar un elemento al final de una lista es de tiempo constante en promedio; cuando se queda sin espacio, ocasionalmente es copiada a una ubicación más grande, pero el tiempo total para  $n$  operaciones es  $O(n)$ , por lo cual el tiempo promedio para cada operación es  $O(1)$ .
- Eliminar un elemento del final de una lista es de tiempo constante.
- El ordenamiento es  $O(n \log n)$ .

La mayoría de las operaciones y métodos de diccionario son de tiempo constante, pero hay algunas excepciones:

- El tiempo de ejecución de `update` es proporcional al tamaño del diccionario que se pasa como parámetro, no del diccionario que está siendo actualizado.
- `keys`, `values` e `items` son de tiempo constante porque devuelven iteradores. Pero si recorres un bucle con los iteradores, el bucle será lineal.

El rendimiento de los diccionarios es uno de los milagros menores de las ciencias de la computación. Veremos cómo funcionan en la Sección B.4.

**Ejercicio B.2.** Lee la página de Wikipedia sobre algoritmos de ordenamiento en [http://en.wikipedia.org/wiki/Sorting\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/Sorting_algorithm) y responde las siguientes preguntas:

1. ¿Qué es un “ordenamiento de comparación”? ¿Cuál es el mejor orden de crecimiento del peor de los casos para un ordenamiento de comparación? ¿Cuál es el orden de crecimiento del peor de los casos para cualquier algoritmo de ordenamiento?
2. ¿Cuál es el orden de crecimiento del ordenamiento de burbuja, y por qué Barack Obama piensa que es “la manera incorrecta de proceder”?
3. ¿Cuál es el orden de crecimiento del ordenamiento radix? ¿Qué precondiciones necesitamos para utilizarlo?
4. ¿Qué es un ordenamiento estable y por qué podría importar en la práctica?
5. ¿Cuál es el peor algoritmo de ordenamiento (y cuál es su nombre)?
6. ¿Qué algoritmo de ordenamiento utiliza la librería de C? ¿Qué algoritmo de ordenamiento utiliza Python? ¿Son estos algoritmos estables? Quizás tengas que utilizar Google para encontrar estas respuestas.
7. Muchos de los algoritmos de ordenamiento diferentes al de comparación son lineales, entonces ¿por qué Python utiliza un algoritmo de comparación  $O(n \log n)$ ?

### B.3. Análisis de algoritmos de búsqueda

Una **búsqueda** es un algoritmo que toma una colección y un ítem objetivo y determina si el objetivo está en la colección, a menudo devolviendo el índice del objetivo.

El algoritmo de búsqueda más simple es la “búsqueda lineal”, que recorre los ítems de la colección en orden, deteniéndose si encuentra al objetivo. En el peor de los casos tiene que recorrer toda la colección, por lo cual el tiempo de ejecución es lineal.

El operador `in` para secuencias utiliza una búsqueda lineal; los métodos de cadena como `find` y `count` también.

Si los elementos de la secuencia están en orden, puedes utilizar una **búsqueda de bisección**, que es  $O(\log n)$ . La búsqueda de bisección es similar al algoritmo que podrías utilizar para buscar una palabra en un diccionario (un diccionario de papel, no la estructura de datos). En lugar de comenzar del principio y revisar cada ítem en orden, comienzas con el ítem en el medio y verificas si la palabra que buscas viene antes o después. Si viene antes, entonces buscas en la primera mitad de la secuencia. De lo contrario, buscas la segunda mitad. De cualquier manera, disminuyes el número de ítems restantes a la mitad.

Si la secuencia tiene 1.000.000 de ítems, tomará cerca de 20 pasos encontrar la palabra o concluir que no está. Entonces, eso es cerca de 50.000 veces más rápido que una búsqueda lineal.

La búsqueda de bisección puede ser mucho más rápida que una búsqueda lineal, pero requiere que la secuencia esté en orden, lo cual podría requerir trabajo extra.

Hay otra estructura de datos, llamada **tabla hash** (en inglés, *hashtable*) que es incluso más rápida —puede hacer una búsqueda en tiempo constante— y no requiere que los ítems estén ordenados. Los diccionarios de Python se implementan utilizando tablas hash, por lo cual la mayoría de las operaciones de diccionario, incluyendo al operador `in`, son de tiempo constante.

### B.4. Tablas hash

Para explicar cómo funcionan las tablas hash y por qué su rendimiento es tan bueno, comienzo con una implementación simple de un mapa y gradualmente lo mejoro hasta que sea una tabla hash.

Yo utilizo Python para demostrar estas implementaciones, pero en la vida real no escribirías código como este en Python: ¡solo utilizarías un diccionario! Para el resto de este capítulo, tienes que imaginar que los diccionarios no existen y quieres implementar una estructura de datos que mapee de claves a valores. Las operaciones que tienes que implementar son:

`add(k, v)`: Agrega un nuevo ítem que mapea de una clave `k` a un valor `v`. Con un diccionario de Python, `d`, esta operación se escribe `d[k] = v`.

`get(k)`: Busca y devuelve el valor que corresponde a la clave `k`. Con un diccionario de Python, `d`, esta operación se escribe `d[k]` o `d.get(k)`.

Por ahora, supongo que cada clave aparece una sola vez. La implementación más simple de esta interfaz utiliza una lista de tuplas, donde cada tupla es un par clave-valor.

```
class LinearMap:

    def __init__(self):
        self.items = []

    def add(self, k, v):
        self.items.append((k, v))

    def get(self, k):
        for key, val in self.items:
            if key == k:
                return val
        raise KeyError
```

add anexa una tupla clave-valor a la lista de ítems, lo cual toma tiempo constante.

get utiliza un bucle for para buscar la lista: encuentra la clave objetivo y devuelve el valor correspondiente; de lo contrario, ocurre un `KeyError`. Entonces, `get` es lineal.

Una alternativa es mantener la lista ordenada por clave. Entonces `get` podría utilizar una búsqueda de bisección, que es  $O(\log n)$ . Pero insertar un nuevo ítem en el medio de una lista es lineal, por lo cual podría no ser la mejor opción. Hay otras estructuras de datos que pueden implementar `add` y `get` en tiempo logarítmico, pero eso aún no es tan bueno como el tiempo constante, así que vamos a lo siguiente.

Una manera de mejorar `LinearMap` es separar la lista de pares clave-valor en listas más pequeñas. Aquí hay una implementación llamada `BetterMap`, que es una lista de 100 `LinearMaps`. Tal como veremos en un segundo, el orden de crecimiento para `get` aún es lineal, pero `BetterMap` es un paso en el camino hacia las tablas hash:

```
class BetterMap:

    def __init__(self, n=100):
        self.maps = []
        for i in range(n):
            self.maps.append(LinearMap())

    def find_map(self, k):
        index = hash(k) % len(self.maps)
        return self.maps[index]

    def add(self, k, v):
        m = self.find_map(k)
        m.add(k, v)

    def get(self, k):
        m = self.find_map(k)
        return m.get(k)
```

`__init__` crea una lista de `n` `LinearMaps`.

`find_map` es utilizado por `add` y `get` para averiguar en cuál mapa poner el nuevo ítem, o en cuál mapa buscar.

`find_map` utiliza la función incorporada `hash`, que toma casi cualquier objeto de Python y devuelve un entero. Una limitación de esta implementación es que solo funciona con claves hashables. Los tipos mutables como las listas y los diccionarios no son hashables.

Los objetos hashables que se consideran equivalentes devuelven el mismo valor hash, pero lo inverso no es necesariamente verdadero: dos objetos con valores diferentes pueden devolver el mismo valor hash.

`find_map` utiliza el operador de módulo para ajustar los valores hash en el rango entre 0 y `len(self.maps)`, por lo cual el resultado es un índice legal en la lista. Por supuesto, esto significa que muchos valores hash diferentes se ajustarán al mismo índice. Pero si la función hash distribuye las cosas de manera muy uniforme (que es para lo que están diseñadas las funciones hash), entonces esperamos  $n/100$  ítems por cada `LinearMap`.

Dado que el tiempo de ejecución de `LinearMap.get` es proporcional al número de ítems, esperamos que `BetterMap` sea cerca de 100 veces más rápido que `LinearMap`. El orden de crecimiento es aún lineal, pero el coeficiente principal es más pequeño. Eso es bueno, pero aún no es tan bueno como una tabla hash.

Aquí (finalmente) está la idea clave que hace que las tablas hash sean rápidas: si puedes mantener acotada la longitud máxima de los `LinearMaps`, `LinearMap.get` es de tiempo constante. Todo lo que tienes que hacer es un seguimiento del número de ítems y cuando el número de ítems por cada `LinearMap` exceda un límite, cambiar el tamaño de la tabla hash añadiendo más `LinearMaps`.

Aquí hay una implementación de una tabla hash:

```
class HashMap:
```

```
    def __init__(self):
        self.maps = BetterMap(2)
        self.num = 0

    def get(self, k):
        return self.maps.get(k)

    def add(self, k, v):
        if self.num == len(self.maps.maps):
            self.resize()

        self.maps.add(k, v)
        self.num += 1

    def resize(self):
        new_maps = BetterMap(self.num * 2)

        for m in self.maps.maps:
            for k, v in m.items:
                new_maps.add(k, v)

        self.maps = new_maps
```

`__init__` crea un `BetterMap` e inicializa a `num`, que hace un seguimiento del número de ítems.

`get` solo despacha a `BetterMap`. El trabajo real ocurre en `add`, que verifica el número de ítems y el tamaño del `BetterMap`: si son iguales, el número promedio de ítems por cada `LinearMap` es 1, entonces llama a `resize`.

`resize` crea un nuevo `BetterMap`, dos veces más grande que el anterior, y luego “rehashea” los ítems desde el mapa antiguo hacia el nuevo.

Rehashear es necesario porque al cambiar el número de `LinearMaps` cambia el denominador del operador de módulo en `find_map`. Eso significa que algunos objetos que solían hacer hash en el mismo `LinearMap` se dividirán (que es lo que queríamos, ¿verdad?).

El rehasheo es lineal, entonces `resize` es lineal, que podría parecer mal, dado que prometí que `add` sería de tiempo constante. Pero recuerda que no tenemos que cambiar de tamaño cada vez, entonces `add` es generalmente de tiempo constante y solo ocasionalmente lineal. La cantidad total de trabajo al ejecutar `add`  $n$  veces es proporcional a  $n$ , ¡entonces el tiempo promedio de cada `add` es de tiempo constante!

Para ver cómo funciona esto, piensa en comenzar con un `HashTable` vacío y agregar una secuencia de ítems. Comenzamos con 2 `LinearMaps`, entonces los 2 primeros añadidos son rápidos (no se requiere cambiar tamaño). Digamos que estos toman una unidad de trabajo cada uno. El siguiente añadido requiere un cambio de tamaño, por lo cual tenemos que rehashear los primeros dos ítems (digamos que 2 unidades más de trabajo) y luego añadir el tercer ítem (una unidad más). Añadir el siguiente ítem cuesta 1 unidad, entonces el total hasta ahora es de 6 unidades de trabajo para 4 ítems.

El siguiente `add` cuesta 5 unidades, pero los siguientes tres son solo una unidad cada uno, entonces el total es de 14 unidades para los primeros 8 añadidos.

El siguiente `add` cuesta 9 unidades, pero luego podemos añadir 7 más antes del siguiente cambio de tamaño, entonces el total es de 30 unidades para los primeros 16 añadidos.

Después de 32 añadidos, el costo total es de 62 unidades, y espero que comiences a ver el patrón. Después de  $n$  añadidos, donde  $n$  es potencia de dos, el costo total es de  $2n - 2$  unidades, entonces el trabajo promedio por cada añadido es un poco menos que dos unidades. Cuando  $n$  es una potencia de dos, ese es el mejor caso; para los otros valores de  $n$  el trabajo promedio es un poco más alto, pero eso no es importante. Lo importante es que es  $O(1)$ .

La Figura B.1 muestra cómo funciona esto de manera gráfica. Cada bloque representa una unidad de trabajo. Las columnas muestran el trabajo total para cada añadido en orden de izquierda a derecha: los primeros dos `adds` cuestan 1 unidad cada uno, el tercero cuesta 3 unidades, etc.

El trabajo extra de rehashear aparece como una secuencia de torres cada vez más altas cuyo espacio entre ellas es cada vez mayor. Ahora si derribas las torres, repartiendo el costo de cambiar de tamaño sobre todos los añadidos, puedes ver gráficamente que el costo total después de  $n$  añadidos es  $2n - 2$ .

Una característica importante de este algoritmo es que, cuando cambiamos el tamaño del `HashTable`, este crece de manera geométrica, es decir, multiplicamos el tamaño por una constante. Si aumentas el tamaño de manera aritmética —añadiendo un número fijo cada vez— el tiempo promedio por cada `add` es lineal.

Puedes descargar mi implementación de `HashMap` en <http://thinkpython2.com/code/Map.py>, pero recuerda que no hay razón para utilizarla: si quieres un mapa, solo utiliza un diccionario de Python.

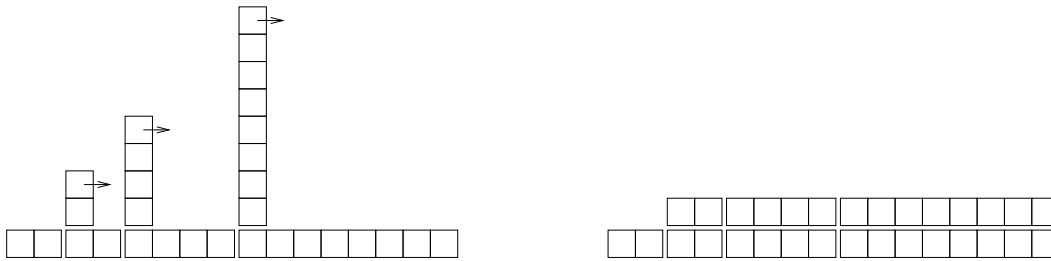


Figura B.1: El costo de añadir a una tabla hash.

## B.5. Glosario

**análisis de algoritmos:** Una manera de comparar algoritmos en términos de su tiempo de ejecución y/o requerimientos de espacio.

**modelo de máquina:** Una representación simplificada de un computador utilizada para describir algoritmos.

**peor de los casos:** La entrada que hace que un algoritmo dado se ejecute de la manera más lenta (o requiera el mayor espacio).

**término principal:** En un polinomio, el término con el exponente más alto.

**punto de cruce:** El tamaño de un problema donde dos algoritmos requieren el mismo tiempo de ejecución o espacio.

**orden de crecimiento:** Un conjunto de funciones que crecen todas de una manera considerada equivalente para propósitos del análisis de algoritmos. Por ejemplo, todas las funciones que crecen linealmente pertenecen al mismo orden de crecimiento.

**notación O grande:** Notación para representar un orden de crecimiento; por ejemplo,  $O(n)$  representa el conjunto de funciones que crecen linealmente.

**lineal:** Un algoritmo cuyo tiempo de ejecución es proporcional al tamaño del problema, al menos para tamaños de problema grandes.

**cuadrático:** Un algoritmo cuyo tiempo de ejecución es proporcional a  $n^2$ , donde  $n$  es la medida del tamaño del problema.

**búsqueda:** El problema de localizar un elemento de una colección (como una lista o diccionario) o determinar que este no está presente.

**tabla hash:** Una estructura de datos que representa una colección de pares clave-valor y realiza una búsqueda en tiempo constante.

# Índice alfabético

- `__cmp__`, método, 177
- `__dict__`, atributo, 172
- `__str__`, método, 169, 178
- abecedario, 73, 85
- abs, función, 52
- absoluta, ruta, 141
- acarreo, suma con, 158, 160
- acceso, 92
- Ackermann, función de, 61, 115
- acotado, 214
- actualización, operador de, 95
- actualizar, 64, 67, 69
  - base de datos, 143
  - histograma, 129
  - ítem, 93
  - trozo, 94
  - variable global, 113
- acumulador, 102
  - cadena, 179
  - histograma, 129
- acumulador de suma, 95
- acumulador lista, 95
- add, método, 170
- aleatorio
  - número, 128
  - texto, 133
- alfabeto, 38
- algoritmo, 68, 69, 132, 207
- algoritmo de raíz cuadrada, 69
- algoritmo MD5, 148
- alias, 97, 98, 102, 151, 153, 174
  - copiar para evitar, 101
- all, función incorporada, 190
- ambigüedad, 5
- anagrama, 103
- anagramas, conjunto de, 125, 148
- análisis de algoritmos, 207, 216
- Análisis de Markov, 133
- análisis de primitivas, 210
- análisis sintáctico, 5, 7
- and, operador, 40
- andamiaje, 53, 60, 114
- anidada, lista, 91, 93
- anidado, condicional, 42, 48
- anular, 131, 136, 169, 177, 180, 183
- any, función incorporada, 190
- append, método, 94, 99, 103, 178, 179
- archivo, 139
  - de texto, 147
  - leer y escribir, 139
  - objeto de, 83, 88
  - permisos de, 142
- arco, función, 32
- argumento, 17, 19, 21, 22, 26, 99
  - dispersión de, 120
  - reunión de, 119
  - tupla de longitud variable, 119
- argumento de lista, 99
- argumento de palabra clave, 33, 37, 195
- argumento opcional, 76, 79, 97, 109, 188
- argumento posicional, 168, 174, 195
- aritmético, operador, 3
- arquimediana, espiral, 38
- asignación, 14, 63, 91
  - aumentada, 95
  - de tupla, 118, 119, 121, 124
  - sentencia de, 9
- asignación aumentada, 102
- asignación de ítem, 74, 92, 118
- assert, sentencia, 162
- atributo, 155, 173
- atributo de clase, 176, 184
- atributo de instancia, 150, 155, 176, 184
- atributo `__dict__`, 172
- AttributeError, 154, 201
- aumentada, asignación, 95, 102
- aumentar, 159, 167
- Austen, Jane, 129
- bandera, 112, 115
- baraja, 175

- baraja de cartas, 178
- Baraja, clase, 178
- base de datos, 143, 148
  - objeto de, 143
- benchmarking, 135
- BetterMap, 213
- big-oh, 209
- binaria, búsqueda, 103
- bingo, 125
- bisección, búsqueda de, 103
- bisección, depuración por, 68
- bisect, módulo, 103
- bit a bit, operador, 4
- body, 19
- bool, tipo, 40
- booleana, expresión, 40, 47
- booleano, operador, 76
- break, sentencia, 66
- bubble sort, 207
- bucle, 31, 37, 65, 121
  - anidado, 178
  - con cadenas, 75
  - con diccionarios, 108
  - con índices, 86, 93
  - condición, 200
  - for, 30, 44, 72, 93, 121
  - infinito, 65, 69, 199, 200
  - recorrido en, 72
- bucle while, 64
- bucles y conteo, 75
- bug, 6, 7, 13
- búsqueda, 109, 212, 216
  - binaria, 103
  - de bisección, 103, 212
  - lineal, 212
  - patrón de, 75, 79, 85, 109, 190
- bytes, objeto de, 143, 148
- cadena, 4, 7, 96, 123
  - acumulador, 179
  - de formato, 147
  - entre triple comillas, 36
  - inmutable, 74
  - multilínea, 36, 198
  - método de, 75, 79
  - operación con, 12
  - trozo de, 73
  - vacía, 79, 97
- cadenas, comparación de, 77
- calculadora, 8, 15
- cambio de tamaño geométrico, 215
- capturar, 148
- Car Talk, 88, 115, 125
- carácter, 71
- carácter de fin de línea, 147
- carpeta, 141
- carta de juego, 175
- Carta, clase, 176
- caso base, 45, 48
- caso de prueba mínimo, 202
- caso especial, 87, 88, 159
- caso promedio, 208
- cero, índice a partir de, 71
- cero, índice comenzando en, 92
- choice, función, 128
- cifrar, 175
- circular, definición, 56
- círculo, función, 32
- clase, 149, 155
  - atributo de, 176, 184
  - Baraja, 178
  - Carta, 176
  - definición, 149
  - diagrama, 185
  - diagrama de, 182
  - hija, 180, 185
  - Kangaroo, 174
  - Mano, 180
  - objeto, 150, 155, 194
  - padre, 180, 185
  - Punto, 150, 169
  - Rectángulo, 151
  - Tiempo, 157
- class, 4
- clave, 105, 114
- close, método, 140, 144, 145
- codificar, 175, 184
- código muerto, 52, 60, 202
- coeficiente principal, 208
- Collatz, conjetura de, 66
- collections, 191, 192, 194
- coma flotante, 4, 7, 67, 187
  - división de, 39
- comando Unix ls, 145
- comentario, 13, 14
- comillas, 3, 4, 36, 74, 198
- comparación de cadenas, 77
- comparación de tupla, 118, 178
- comparar algoritmos, 207
- comparar, función, 52



- composición, 19, 22, 26, 54, 178
- composición de funciones, 54
- comprensión de lista, 188, 195
- compuesta, sentencia, 41
- concatenación, 12, 14, 22, 73, 74, 97
  - lista, 93, 99, 103
- concatenación de cadenas, 210
- condicional, 198
  - expresión, 187, 195
  - sentencia, 41, 47, 55, 188
- condicional anidado, 42, 48
- condicional encadenado, 42, 48
- condición, 41, 47, 65, 200
- congelamiento, 199
- conjetura de Collatz, 66
- conjunto, 132, 190
  - pertenencia a, 115
- conjunto de anagramas, 125, 148
- conmutatividad, 12, 171
- consulta, 114
- consulta inversa, 114
- consulta inversa, diccionario, 108
- consulta, diccionario, 108
- contador, 75, 79, 106, 113
- contar palabras, 146
- conteo y bucles, 75
- conversión de tipo, 17
- copia
  - de trozo, 74, 94
  - para evitar alias, 101
  - profunda, 154, 156
  - superficial, 154, 155
- copiar objetos, 153
- copy, módulo, 153
- corchetes
  - operador de, 71, 92, 118
- costo promedio, 215
- count, método, 80
- Counter, 191
- crecimiento
  - cuadrático, 209
  - exponencial, 209
  - lineal, 209
  - logarítmico, 209
- crucigramas, 83
- cuadrático, 216
- cuadrícula, 27
- cuerpo, 19, 26, 65
- cumpleaños, 163
- curva de Koch, 49
- datetime, módulo, 163
- dbm, módulo, 143
- debugging, 6
- declaración, 112, 115
- decremento, 64, 69
- deepcopy, función, 154
- def, palabra clave, 19
- defaultdict, 192
- definición circular, 56
- definición de clase, 149
- definición de función, 19, 20, 25
- definición recursiva, 126
- definido por el programador
  - tipo, 155, 157, 166, 170, 177
- del, operador, 96
- delimitador, 97, 102
- dependencia, 185
- depuración, 6, 7, 13, 36, 46, 59, 77, 87, 100, 113, 123, 135, 147, 154, 161, 172, 182, 189, 197
  - experimental, 136
  - patito de goma, 136
  - por bisección, 68
  - respuesta emocional, 6, 204
  - superstición, 204
- depuración emocional, 6, 204
- depuración experimental, 25
- depurador (pdb), 201
- desarrollo diseñado, 162
- desarrollo incremental, 60, 197
- desarrollo planificado, 160
- despacho basado en tipo, 171, 174
- determinista, 128, 136
- Día Doble, 163
- diagrama
  - de clase, 182, 185
  - de estado, 9, 14, 63, 92, 98, 110, 122, 150, 152, 154, 157, 177
  - de objeto, 150, 152, 154, 156, 157, 177
  - de pila, 23, 37, 44, 56, 60, 99
  - gráfico de llamadas, 115
  - se estado, 78
- diccionario, 105, 114, 121, 201
  - bucles con, 108
  - consulta, 108
  - consulta inversa, 108
  - diferencia de, 131
  - inicializar, 122
  - invertir, 109
  - recorrer, 122, 173

- dict, función, 105
- diferencia de conjuntos, 190
- diferencia de diccionarios, 131, 190
- diff, 148
- Dijkstra, Edsger, 87
- dir function, 201
- dirección de correo electrónico, 119
- directorio, 141, 147
  - recorrer, 142
- directorio de trabajo, 141
- diseño orientado a objetos, 173
- dispersión, 120, 125, 195
- divisibilidad, 40
- división de coma flotante, 39
- división entera, 39, 47
- divmod, 119, 160
- docstring, 36, 37, 150
- dos puntos, 19
- Doyle, Arthur Conan, 25
- duplicado, 103, 115, 148
- duplicados, 191
- ejecución alternativa, 41
- ejecución condicional, 41
- ejecutar, 11, 14
- ejecutar Python, 2
- el peor error de programación, 174
- elemento, 91, 102
  - eliminación, 96
- elif, palabra clave, 42
- eliminación de elementos, 96
- else, palabra clave, 41
- encabezado, 19, 26, 198
- encadenado, condicional, 42, 48
- encapsulamiento, 32, 37, 54, 69, 75, 181
  - de datos, 183, 185
- enchapado, 179, 184
- entera, división, 39, 47
- entero, 4, 7
- entrada de teclado, 45
- enumerate
  - función, 121
  - objeto, 121
- epsilon, 67
- equivalencia, 98, 102, 154
- error, 13
  - de forma, 123
  - de programación, 6, 7
  - de programación, el peor, 174
  - de sintaxis, 13, 14, 19, 197
  - de tiempo de ejecución, 13, 45, 47, 197, 201
  - semántico, 14, 15, 197, 202
  - tipográfico, 136
  - verificación de, 58
- espacio en blanco, 46, 84, 147, 198
- espiral, 38
- estado, diagrama de, 9, 63, 78, 92, 98, 110, 122, 150, 152, 154, 157, 177
- estilo de programación funcional, 160, 162
- estructura, 5
- estructura de datos, 123, 125, 134
- eval, función, 70
- evaluación comparativa, 135, 136
- evaluar, 10
- excepción, 13, 15, 197, 201
  - AttributeError, 154, 201
  - FileNotFoundError, 142
  - IndexError, 72, 78, 92, 201
  - KeyError, 106, 201
  - LookupError, 109
  - NameError, 23, 201
  - OverflowError, 47
  - RuntimeError, 45
  - StopIteration, 189
  - SyntaxError, 19
  - TypeError, 72, 74, 110, 118, 120, 141, 168, 201
  - UnboundLocalError, 113
  - ValueError, 46, 118
- excepción, detectar, 143
- exists, función, 142
- experimental, depuración, 25, 136
- exponente, 208
- expresión, 10, 14
  - booleana, 40, 47
  - condicional, 187, 195
  - generadora, 189, 190, 196
  - grande y fea, 203
- extend, método, 94
- fábrica, 196
- fábrica, función, 192, 193
- factorial, 187
  - función, 56, 58
- False, valor especial, 40
- fibonacci, función de, 58, 111
- FileNotFoundError, 142
- filtro, patrón de, 95, 102, 188
- find, función, 74

- flag, 112
- float, función, 17
- float, tipo, 4
- flor, 38
- flujo de ejecución, 21, 26, 58, 59, 65, 182, 200
- for, bucle, 30, 44, 72, 93, 188
- forma, 125
  - error de, 123
- formal, lenguaje, 4
- format string, 140
- formato, operador de, 140, 147, 201
- frame, 23
- frecuencia, 107
- frecuencia de letras, 125
- frecuencia de palabras, 127, 137
- frustración, 204
- función, 3, 17, 19, 25, 166
  - abs, 52
  - ack, 61, 115
  - any, 190
  - arco, 32
  - argumento de, 21
  - booleana, 54
  - choice, 128
  - comparar, 52
  - círculo, 32
  - de fibonacci, 58
  - deepcopy, 154
  - definición de, 19
  - definida por el programador, 22, 131
  - dict, 105
  - dir, 201
  - enumerate, 121
  - eval, 70
  - exists, 142
  - factorial, 56, 58, 187
  - fibonacci, 111
  - find, 74
  - float, 17
  - gamma, 58
  - getattr, 173
  - getcwd, 141
  - hasattr, 155, 172
  - hash, 110, 114, 214
  - input, 45
  - int, 17
  - isinstance, 58, 155, 171
  - len, 27, 72, 106
  - list, 96
  - log, 18
  - marco de, 26, 44
  - marco de una, 57
  - matemática, 18
  - max, 119, 120
  - min, 119, 120
  - modificadora, 159
  - nula, 24, 26
  - objeto de, 27
  - open, 83, 84, 139, 142, 143
  - parámetro de, 21
  - polígono, 31
  - popen, 145
  - print, 3
  - productiva, 24, 26
  - pura, 158, 162
  - randint, 103, 128
  - random, 128
  - razones para utilizar una, 25
  - recursiva, 44
  - reload, 146, 199
  - repr, 147
  - reversed, 123
  - seno, 18
  - shuffle, 179
  - sorted, 101, 108, 123
  - sqrt, 18, 53
  - str, 18
  - sum, 120, 189
  - trigonométrica, 18
  - tuple, 117
  - type, 155
  - zip, 120
- función, tupla como valor de retorno, 119
- function, tipo, 20
- generador, objeto, 189
- generadora, expresión, 189, 190, 196
- generalización, 33, 37, 85, 161
- get, método, 107
- getattr, función, 173
- getcwd, función, 141
- global, sentencia, 112, 115
- global, variable, 112
- gráfico de llamadas, 111, 115
- grande y fea, expresión, 203
- guardián, patrón, 59, 60, 78
- guión bajo, 10
- hasattr, función, 155, 172
- hashable, 110, 114, 122

- HashMap, 214
- hashtable, 212
- header, 19
- herencia, 180, 182, 185, 194
- hexadecimal, 150
- hija, clase, 180, 185
- hipotenusa, 54
- histograma, 107
  - elección aleatoria, 128, 132
  - frecuencia de palabras, 129
- Hola, mundo, 3
- Holmes, Sherlock, 25
- homófono, 116
  
- identidad, 98, 102, 154
- if, sentencia, 41
- igualdad y asignación, 63
- implementación, 107, 114, 134, 173
- import, sentencia, 26, 146
- in, operador, 76, 85, 92, 106
- incremento, 64, 69
- incrustado, objeto, 152, 155, 174
- indexar, 210
- IndexError, 72, 78, 92, 201
- índice, 71, 78, 79, 92, 105, 201
  - a partir de cero, 71
  - bucle con, 86, 93
  - comenzando en cero, 92
  - de trozo, 73, 94
  - negativo, 72
- ineficiencia, 209
- infinita, recursividad, 45, 58, 200
- infinito, bucle, 65, 200
- inicialización (antes de actualizar), 64
- inicialización de variable, 69
- inicializar atributo, 172
- init, método, 168, 176, 178, 180
- inmutabilidad, 74, 79, 99, 110, 117, 123
- input, función, 45
- instancia, 150, 155
  - atributo, 155
  - atributo de, 150, 176, 184
  - como argumento, 151
  - como valor de retorno, 152
- instanciación, 150
- instanciar, 155
- int
  - función, 17
  - tipo, 4
- intercambio, patrón de, 118
- interfaz, 34, 36, 37, 173, 183
- intérprete, 2, 7
- invariante, 161, 162
- invertir diccionario, 109
- invocación, 76, 79
- ira, 204
- is, operador, 97, 154
- isinstance, función, 58, 155, 171
- ítem, 74, 79, 91, 105
  - actualizar, 93
  - asignación de, 74, 92, 118
  - de un diccionario, 114
- items, método, 121
- iteración, 64, 69
- iterador, 120–123, 125, 211
  
- join, método, 97, 179, 211
  
- Kangaroo, clase, 174
- KeyError, 106, 201
- KeyError, 213
- keyword, 10
- Koch, curva de, 49
  
- len, función, 27, 72, 106
- lenguaje
  - de alto nivel, 7
  - de bajo nivel, 7
  - formal, 4, 7
  - natural, 4, 7
  - orientado a objetos, 173
  - seguro, 13
  - Turing completo, 55
- letras dobles, 88
- letras, frecuencia, 125
- letras, rotación de, 80, 115
- Ley de Zipf, 137
- lineal, 216
- LinearMap, 212
- Linux, 25
- lipograma, 84
- Liskov, principio de sustitución, 183
- list, función, 96
- lista, 91, 96, 102, 123, 188
  - anidada, 91, 93, 102
  - como argumento, 99
  - concatenación, 93, 99, 103
  - copia, 94
  - de objetos, 178
  - de tuplas, 121
  - elemento, 92

- índice de, 92
- método de, 94
- operación, 93
- pertenencia, 92
- recorrer, 93
- repetición, 93
- trozo, 94
- vacía, 91
- literalidad, 5
- llamada a función, 17, 26
- llaves, 105
- local, variable, 22
- log, función, 18
- logaritmo, 137
- lógico, operador, 40
- LookupError, 109
- ls (comando Unix), 145
- main, 23, 43, 112, 146
- Mano, clase, 180
- mantenible, 173
- mapa, patrón de, 95, 102
- mapear, 175
- mapeo, 114, 133
- máquina de escribir tortuga, 38
- marco, 23, 26, 44, 57, 111
- marco de una función, 23, 111
- mash-up, 134
- matemática, función, 18
- matplotlib, 137
- max, función, 119, 120
- máximo común divisor (MCD), 62
- McCloskey, Robert, 73
- MCD (máximo común divisor), 62
- md5, 145
- MD5, algoritmo, 148
- md5sum, 148
- memo, 111, 115
- mensaje, 46
- mensaje de error, 8, 13, 14, 197
- mental, modelo, 203
- metáfora, invocación a método, 167
- metátesis, 125
- método, 36, 75, 166, 174
  - \_\_cmp\_\_, 177
  - add, 170
  - append, 94, 99, 103, 178, 179
  - close, 140, 144, 145
  - count, 80
  - de cadena, 79, 210
  - de diccionario, 211
  - de lista, 94, 211
  - de Newton, 66
  - de tupla, 210
  - extend, 94
  - get, 107
  - init, 168, 172, 176, 178, 180
  - items, 121
  - join, 97, 179
  - mro, 183
  - nulo, 94
  - pop, 96, 179
  - radd, 171
  - read, 145
  - readline, 83, 145
  - remove, 96
  - replace, 127
  - setdefault, 115
  - sort, 94, 101, 180
  - split, 97, 119
  - método \_\_str\_\_, 169, 178
  - strip, 84, 127
  - translate, 127
  - update, 122
  - values, 106
- min, función, 119, 120
- Moby Project, 83
- modelo de máquina, 207, 216
- modelo mental, 203
- modificador, 159, 162
- modo interactivo, 11, 14, 24
- modo script, 11, 14, 24
- módulo, 18, 26
  - bisect, 103
  - collections, 191, 192, 194
  - copy, 153
  - datetime, 163
  - dbm, 143, 144
  - objeto, 146
  - operador, 39, 47
  - os, 141
  - pickle, 139, 144
  - pprint, 114
  - profile, 135
  - random, 103, 128, 179
  - reload, 146, 199
  - shelve, 144
  - string, 127
  - structshape, 124
  - time, 103

- turtle, 31
- módulo, escribir, 146
- Monty Python and the Holy Grail, 158
- MP3, 148
- mro, método, 183
- multiconjunto, 191
- multilínea, cadena, 36, 198
- multiplicidad (en diagrama de clase), 182, 185
- mutabilidad, 74, 92, 94, 98, 113, 117, 123, 153
  
- name, variable incorporada, 146
- namedtuple, 194
- NameError, 23, 201
- NaN, 187
- natural, lenguaje, 4
- negativo, índice, 72
- nombre de archivo, 141
- None, valor especial, 24, 26, 52, 94, 96
- NoneType, tipo, 24
- not, operador, 40
- notación de punto, 18, 26, 76, 150, 166, 176
- notación O grande, 209, 216
- nueva línea, 46, 179
- nula, función, 24
- nulo, método, 94
- número aleatorio, 128
  
- Obama, Barack, 207
- objeto, 74, 79, 97, 98, 102
  - Counter, 191
  - de archivo, 83, 88
  - de base de datos, 143
  - de bytes, 143, 148
  - de clase, 149, 150, 155, 194
  - de conjunto, 190
  - de función, 26, 27
  - de módulo, 18, 26, 146
  - de tubería, 148
  - defaultdict, 192
  - diagrama, 157
  - diagrama de, 150, 152, 154, 156, 177
  - enumerate, 121
  - generador, 189
  - incrustado, 152, 155, 174
  - mutable, 153
  - namedtuple, 194
  - zip, 125
- objeto incrustado, copiar, 154
- objeto mutable como valor por defecto, 174
- objeto, imprimir, 166
- objetos, copiar, 153
- odómetro, 88
- opcional
  - argumento, 76, 79, 97, 109, 188
  - parámetro, 131, 169
- open, función, 83, 84, 139, 142, 143
- operación con cadena, 12
- operador, 7
  - and, 40
  - aritmético, 3
  - bit a bit, 4
  - booleano, 76
  - de actualización, 95
  - de corchetes, 71, 92, 118
  - de formato, 140, 147, 201
  - de módulo, 39, 47
  - de trozo, 73, 80, 94, 100, 118
  - del, 96
  - in, 76, 85, 92, 106, 212
  - is, 97, 154
  - lógico, 40
  - not, 40
  - or, 40
  - relacional, 40, 177
  - sobrecarga de, 174
- operando, 14
- or, operador, 40
- orden de crecimiento, 208, 216
- orden de operaciones, 12, 14, 203
- orden de resolución del método, 183
- ordenamiento, 211
  - de burbuja, 207
  - de comparación, 211
  - estable, 211
  - radix, 207
- os, módulo, 141
- other (nombre de parámetro), 168
- OverflowError, 47
  
- padre, clase, 180
- palabra clave, 14, 198
  - argumento de, 33, 37, 195
  - def, 19
  - elif, 42
  - else, 41
- palabra reducible, 116, 126
- palabras entrelazadas, 104
- palabras, frecuencia de, 127, 137
- palo, 175

- palíndromo, 61, 80, 87, 88
- par clave-valor, 105, 114, 121
- par de palabras inversas, 104
- paradoja del cumpleaños, 103
- parse, 5, 7
- parámetro, 21, 23, 26, 99
  - de reunión, 119
  - opcional, 131, 169
  - other, 168
  - self, 167
- paréntesis
  - argumento en, 17
  - clase padre en, 180
  - parámetros en, 21, 22
  - tuplas en, 117
  - vacíos, 19, 76
- pass, sentencia, 41
- pastel, 38
- path, 141
- patito de goma, depuración, 136
- patrón
  - de búsqueda, 75, 79, 85, 190
  - de filtro, 95, 102, 188
  - de intercambio, 118
  - de mapa, 95, 102
  - de reducción, 95, 102
  - guardián, 59, 60, 78
- pdb (Python debugger), 201
- PEMDAS, 12
- peor de los casos, 208, 216
- permisos de archivo, 142
- persistencia, 139, 147
- pertenencia
  - a conjunto, 115
  - búsqueda binaria, 103
  - búsqueda de bisección, 103
  - diccionario, 106
  - lista, 92
- pi, 18, 70
- pickle, 144
  - módulo, 139, 144
- pila, diagrama de, 23, 99
- plan de desarrollo, 37
  - diseñado, 160
  - encapsulamiento de datos, 183, 185
  - encapsulamiento y generalización, 35
  - incremental, 52, 197
  - programación de camino aleatorio, 136, 204
  - prototipo y parche, 158, 160
  - reducción, 86–88
- plano
  - texto, 127
- plano, texto, 83
- poesía, 5
- póker, 175, 186
- polígono, función, 31
- polimorfismo, 172, 174
- pop, método, 96, 179
- popen, función, 145
- por defecto, valor, 131
- portabilidad, 7
- posicional, argumento, 168, 174, 195
- postcondición, 36, 59, 183
- pprint, módulo, 114
- precondición, 36, 37, 59, 183
- prefijo, 133
- préstamo, resta con, 68, 161
- pretty print, 114
- print, sentencia, 3, 7, 169, 202
- prioridad, 203
- productiva, función, 24
- profile, módulo, 135
- profunda, copia, 154
- programa, 1, 7
- programación de camino aleatorio, 136, 204
- programación orientada a objetos, 149, 165, 174, 180
- programador, función definida por el, 22, 131
- programador, tipo definido por el, 149
- Project Gutenberg, 127
- prompt, 2, 7
- prosa, 5
- prototipo y parche, 158, 160, 162
- prueba
  - caso de prueba mínimo, 202
  - de consistencia, 114, 161
  - de cordura, 114
  - de programa, 87
  - de salto de fe, 57
  - es difícil, 87
  - y ausencia de errores, 87
- pruebas en desarrollo incremental, 52
- pruebas sabiendo la respuesta, 53
- pseudoaleatorio, 128, 136
- Punto
  - clase, 169
- punto de cruce, 209, 216
- punto matemático, 149

- Punto, clase, 150
- puntos suspensivos, 20
- pura, tipo de función, 158
- Puzzler, 88, 115, 125
- Python 2, 2, 3, 33, 40, 45
- Python en un navegador, 2
- Python, ejecutar, 2
- PythonAnywhere, 2
  
- radd, método, 171
- radián, 18
- radix sort, 207
- raise, sentencia, 109, 114, 161
- raíz cuadrada, 66
- rama, 41, 47
- Ramanujan, Srinivasa, 70
- randint, función, 103, 128
- random, función, 128
- random, módulo, 103, 128, 179
- rango, 175
- rastreo, 24, 26, 45, 46, 109, 201
- read, método, 145
- readline, método, 83, 145
- reasignación, 63, 69, 92, 112
- recorrer, 72, 75, 77, 79, 85, 86, 95, 102, 107, 108, 121, 129
  - diccionario, 122, 173
  - directorío, 142
  - lista, 93
- Rectángulo, clase, 151
- recursiva, definición, 56, 126
- recursividad, 43, 44, 48, 55, 57
  - caso base de, 45
  - infinita, 45, 48, 58, 199, 200
- red-black tree, 213
- reducción a un problema previamente resuelto, 86–88
- reducción, patrón de, 95, 102
- reducible, palabra, 116, 126
- redundancia, 5
- refactorización, 34, 35, 37, 184
- referencia, 98, 99, 102
  - alias, 98
- rehasheo, 215
- relación HAS-A, 182, 185
- relación IS-A, 182, 185
- relacional, operador, 40, 177
- relativa, ruta, 141
- reload, función, 146, 199
- remove, método, 96
- repetición, 30
  - lista, 93
- replace, método, 127
- repr, función, 147
- representación, 149, 151, 175
- representación de cadena, 147, 169
- reserva, suma con, 68
- resolución de problemas, 1, 6
- resta con préstamo, 68, 161
- return value, 17
- return, sentencia, 44, 51, 204
- reunión, 119, 124
- reunir, 195
- reversed, función, 123
- ritmo de carrera, 8, 15, 162
- rotación de letras, 80, 115
- rubber duck debugging, 136
- RuntimeError, 45, 58
- ruta, 141, 147
  - ruta absoluta, 141, 147
  - ruta relativa, 141, 147
  
- salto de fe, 57
- sangría, 19, 166, 198
- sanity check, 114
- scaffolding, 53, 60, 114
- Schmidt, Eric, 207
- Scrabble, 125
- script, 11, 14
- secuencia, 4, 71, 79, 91, 96, 117, 123
- secuencia de formato, 140, 147
- seguro, lenguaje, 13
- self (nombre de parámetro), 167
- semántica, 15, 166
- semántico, error, 14, 197, 202
- sentencia, 10, 14
  - assert, 162
  - break, 66
  - compuesta, 41, 47
  - condicional, 41, 47, 55, 188
  - de asignación, 9, 63
  - for, 30, 72, 93
  - global, 112, 115
  - if, 41
  - import, 26, 146
  - pass, 41
  - print, 3, 7, 169, 202
  - raise, 109, 114, 161
  - return, 44, 51, 204
  - try, 143, 155



- while, 64
- set, 132
- setdefault, 193
  - método, 115
- sexagesimal, 160
- shell, 145, 148
- shelve, módulo, 144
- shuffle, función, 179
- signo de dos puntos, 198
- singleton, 110, 114, 117
- sintaxis, 5, 7, 13, 166, 198
  - de función, 166
  - de método, 167
  - error de, 13, 19, 197
- slice, 73, 79, 94, 100, 118
- sobrecarga de operador, 170, 174, 177
- sort, método, 94, 101, 180
- sorted, función, 101, 108, 123
- split, método, 97, 119
- sqrt, 53
- sqrt, función, 18
- stack diagram, 23, 26
- StopIteration, 189
- str
  - función, 18
  - tipo, 4
- string, 4
  - módulo, 127
- strip, método, 84, 127
- structshape, módulo, 124
- subconjunto, 191
- sufijo, 133
- sujeto, 167, 174
- sum, 189
- sum, función, 120
- suma acumulativa, 102
- suma con reserva, 68
- suma de verificación, 145, 148
- superficial, copia, 154
- supersticiosa, depuración, 204
- SyntaxError, 19
- tabla hash, 114, 212, 216
- tamaño de paso, 80
- temporal, variable, 51, 60, 203
- Teorema de Pitágoras, 52
- término principal, 208, 216
- Tesis de Turing, 55
- texto aleatorio, 133
- texto plano, 83, 127
- tiempo constante, 215
- tiempo de ejecución, error de, 13, 45, 47, 197
- Tiempo, clase, 157
- time, módulo, 103
- tipo, 4, 7
  - archivo, 139
  - bool, 40
  - cadena, 4
  - conversión de, 17
  - definido por el programador, 149, 155, 157, 166, 170, 177
  - despacho basado en, 171, 174
  - dict, 105
  - float, 4
  - function, 20
  - int, 4
  - lista, 91
  - NoneType, 24
  - set, 132
  - string, 4
  - tupla, 117
- token, 5, 7
- tortuga, máquina de escribir, 38
- trabajo, directorio de, 141
- traceback, 24
- translate, método, 127
- trigonométrica, función, 18
- triple comillas, cadena entre, 36
- triángulo, 48
- trozo, 79
  - actualizar, 94
  - copia de, 74, 94
  - lista, 94
  - operador, 73, 80, 94, 100, 118
  - tupla, 118
- trozo de cadena, 73
- True, valor especial, 40
- try, sentencia, 143, 155
- tubería, 145
  - objeto, 148
- tupla, 117, 119, 123, 124
  - asignación de, 118, 119, 121, 124
  - como clave en diccionario, 122, 134
  - comparación, 118
  - comparación de, 178
  - de argumentos de longitud variable, 119
  - en corchetes, 122
  - singleton, 117
  - trozo, 118

tuple, función, 117  
Turing completo, lenguaje, 55  
Turing, Alan, 55  
turtle, módulo, 31  
type, función, 155  
TypeError, 72, 74, 110, 118, 120, 141, 168, 201

Último Teorema de Fermat, 48  
UnboundLocalError, 113  
unicidad, 103  
update, método, 122  
use before def, 21

vacía

- cadena, 97
- lista, 91

valor, 4, 7, 97, 98, 114  
tupla, 119

valor de retorno, 17, 26, 51, 152  
tupla, 119

valor especial

- False, 40
- None, 24, 26, 52, 94, 96
- True, 40

valor por defecto, 131, 136, 169  
evitar mutable, 174

ValueError, 46, 118

values, método, 106

variable, 9, 14

- actualizar, 64

variable global, 112, 115  
actualizar, 113

variable local, 22, 26

variable temporal, 51, 60, 203

variable del bucle, 188

verificación de errores, 58

verificación de tipos, 58

vorpal, 56

while, bucle, 64

zip

- función, 120
- objeto, 125
- usar con dict, 122