SISTEMAS INTELIGENTES
Departamento de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial
Universidad de Alicante **Curso 2021/2022**

Práctica 1. Búsqueda heurística

Objetivos:

- Comprender el funcionamiento de la búsqueda heurística y en concreto del algoritmo A*.
- Implementar el algoritmo A* y saber cómo seleccionar una heurística apropiada al problema.
- Realizar un análisis cuantitativo respecto al número de nodos explorados con este algoritmo.

Sesión 1: Introducción y entorno de trabajo

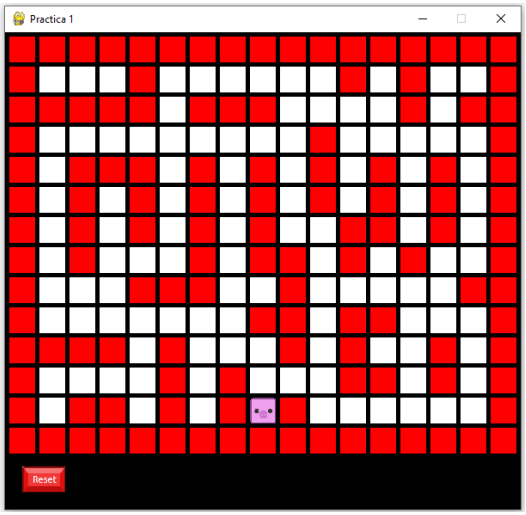
En esta primera práctica de la asignatura se debe desarrollar el algoritmo A* para calcular el camino menos costoso entre dos casillas de un mapa. En nuestro mapa concreto tenemos una rejilla de celdas cuadradas con un punto de origen especificado por la celda en la que se encuentra el cerdito. Las celdas rojas representan celdas no transitables. Cuando se pulsa el ratón sobre una celda blanca se convierte en el destino y cambia a color verde. Se debe implementar el algoritmo A* para calcular el camino de menor coste entre el cerdito y la celda verde. Cuando se ha calculado el camino las celdas correspondientes aparecerán coloreadas en amarillo y la parte inferior de la ventana se mostrará el coste del camino. Si se vuelve a pulsar en otra celda, el cerdito se posicionará en la celda verde y la nueva celda se convierte en el destino. El botón reset permite colocar al cerdito otra vez en la posición original.

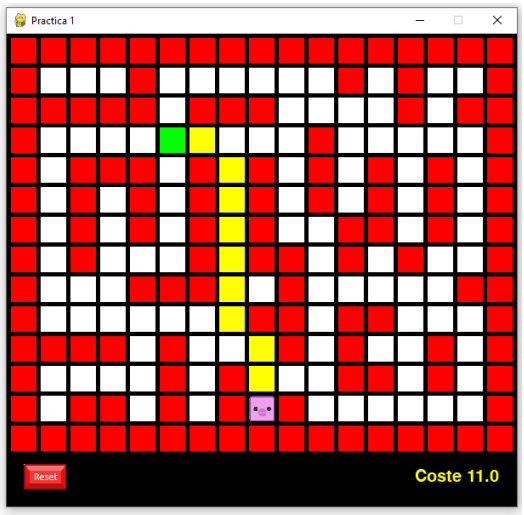
Funcionamiento del juego

Al ejecutar el juego aparecerá un selector de archivos que permite seleccionar el mundo. Si no se elige ningún mapa, se selecciona por defecto el mundo mapa.txt.

El mundo está formado por celdas cuadradas. Hay 8 movimientos posibles correspondientes a las 8 direcciones. Las celdas que forman el tablero pueden ser de dos tipos:

- Celdas por donde el personaje puede cruzar: son las celdas de color blanco.
- Celdas donde el personaje no pueden acceder: son las celdas de color rojo.





Desarrollo

El entorno se ha desarrollado en Python usando los paquetes `pygame` y `tkinter`. El paquete `tkinter` proporciona un conjunto de herramientas sencillo para administrar ventanas. `Pygame` facilita la creación de videojuegos en dos dimensiones y permite programar la parte multimedia (gráficos, sonido y manejo de eventos) de forma sencilla.

El entorno proporcionado está compuesto por 3 ficheros:

- Main: es el fichero que hay que ejecutar para lanzar el entorno. Tiene el bucle principal de manejo del juego, así como el desarrollo del interfaz gráfico
- Mapa: contiene el código que permite construir un objeto mapa que contiene la información del mapa a partir del fichero de texto que especifica el contenido del mapa
- Casilla: permite definir un objeto que especifica una posición a partir de una fila y una columna

Como herramienta de desarrollo se utilizará `Thonny`. `Thonny` es un IDE con los elementos básicos para crear aplicaciones en el lenguaje Python, es posible depurar y observar las variables en ejecución de forma sencilla. Para realizar la documentación se empleará `Google Colab`. `Colab` es un entorno de desarrollo que permite programar en Python directamente desde nuestro navegador sin necesidad de instalar ningún complemento ni librería, directamente con nuestra cuenta de GCloud de la UA podremos acceder y crear un nuevo fichero (`Jupyter Notebook`) para la práctica. que permite. En nuestro caso emplearemos `Colab` sólo para hacer la documentación ya que nos permitirá la realización de gráficas de manera muy sencilla empleando la librería `matplotlib` de Python.

Ejecución del proyecto

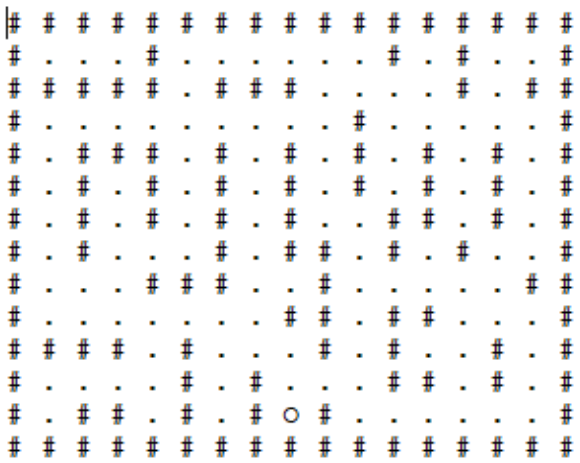
Ejecutar el fichero main.py

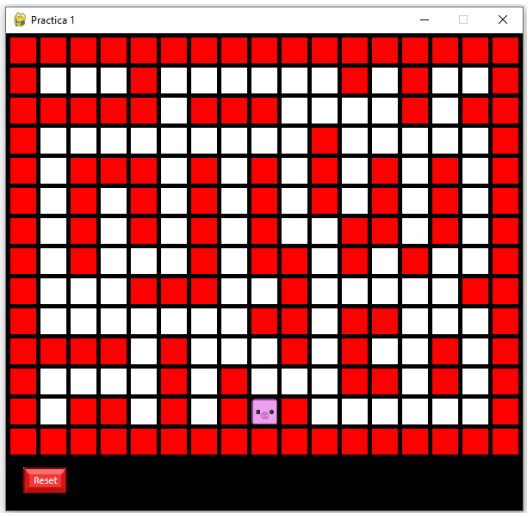
Definición del mundo

La especificación del mundo se realiza en un fichero de texto. En este fichero de texto se utilizarán unos caracteres definidos:

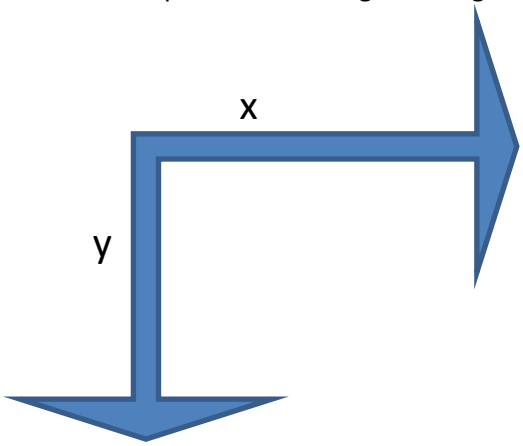
- '#': celda de bloque.
- '.': celda transitable.
- 'O': posición origen del cerdito.

A continuación, se muestra un ejemplo de mundo. En la parte de la izquierda se puede ver el contenido del fichero y en la de la derecha al aspecto gráfico del mismo.



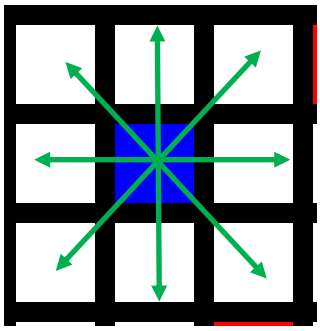


El sistema de coordenadas se representa en la siguiente figura:



Movimientos posibles desde una celda

El mundo en que se desarrolla el juego está formado por celdas cuadradas. Hay como máximo 8 posibles movimientos ya que a las celdas pintadas de rojo no se puede ir.



Tarea a realizar en esta primera sesión:

- Prueba y analiza el entorno. Averigua cómo acceder a una celda del mapa y cómo se pueden generar los distintos movimientos válidos que se pueden hacer desde una posición.

Sesiones 2 y 3: Diseño del algoritmo de búsqueda A* (Con h=0)

El algoritmo A*

Este algoritmo es uno de los más utilizados para encontrar un camino o ruta entre dos puntos, con la característica que, si se cumplen unas condiciones, el camino encontrado será el camino de menor coste entre los dos puntos y además, si existe, siempre encontrará ese camino (algoritmo completo).

El algoritmo A* ha sido, y continúa siendo, un algoritmo utilizado en diferentes campos por su sencillez y agilidad. Por ejemplo, en robótica móvil se utiliza para controlar la ruta que debe seguir un robot. En el siguiente video podéis ver un ejemplo del algoritmo A* en funcionamiento para controlar un vehículo autónomo.

https://www.youtube.com/watch?v=qXZt-B7iUyw

Por otro lado, un problema clásico dentro del mundo de los videojuegos es dotar a los personajes controlados por la máquina de la capacidad de moverse por el entorno de una manera cada vez más realista, bien para perseguir al jugador o para competir por un objetivo común.

En nuestro caso concreto vamos a utilizar el algoritmo A* para que, el cerdito encuentre el camino de coste mínimo para llegar hasta la celda marcada como destino.

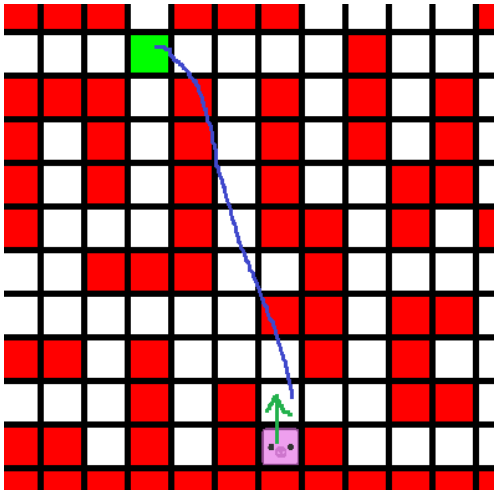
A* es un algoritmo que utiliza una función de coste para calcular cuánto cuesta llegar de una celda a otra. Cada movimiento conlleva un coste que depende del tipo de movimiento. Vamos a considerar los siguientes valores:

- horizontal: 1
- vertical: 1
- diagonal: 1.5

La función de coste, (f(n)=g(n)+h(n), que emplea A* está compuesta por dos partes:

- g: coste de ir desde la posición inicial hasta la posición actual
- h: estimación optimista de llegar desde la posición actual hasta el objetivo

La figura siguiente ilustra el significado de estas dos partes. Si queremos calcular el valor de f(n) para la casilla que implica moverse hacia arriba, la flecha verde representa el valor de g(n), que en este caso valdría 1 puesto que es un movimiento vertical, la línea azul se corresponde con h(n) que habría que estimar empleando alguna función de distancia entre ambas celdas.

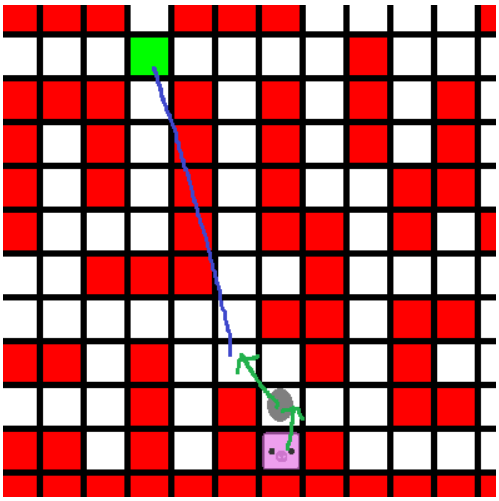


La función heurística es una estimación optimista de lo que le costará al cerdito llegar hasta la celda verde.

h(x,y) ~<= distancia al objetivo

De forma breve, lo que hace el algoritmo es, partiendo de la posición inicial del cerdito, elegir el movimiento a la celda que le supone un camino más corto para llegar al destino. Para ello tiene que estudiar todos los posibles movimientos que puede hacer y calcular el coste de cada uno de esos caminos. Para cada posible movimiento, analizará a su vez los movimientos que se podrían hacer y así sucesivamente hasta considerar un movimiento que le lleve al objetivo (celda de color verde). Elegirá el camino que suponga un coste menor.

Siguiendo con el ejemplo anterior, cuando está analizando los posibles movimientos que se podrían hacer desde la celda marcada con un círculo gris (la celda que hemos analizado antes), uno de los posibles movimientos es ir hacia arriba a la izquierda, el valor de g(n) de este posible movimiento sería 2.5, ya que, desde la posición inicial hasta la celda marcada en gris, g vale 1 y desde esta última hasta la celda que tiene de estudio, el coste es 1.5. Al igual que antes, la línea azul representa h(n) (estimación del coste desde la celda de estudio hasta el objetivo). A continuación, se muestra el pseudocódigo del algoritmo A*.



Pseudocódigo

```
Alg A*
        listaInterior = vacio
        listaFrontera = inicio

        mientras listaFrontera no esté vacía

                n = obtener nodo de listaFrontera con menor f(n) = g(n) + h(n)

                si n es meta devolver
                        reconstruir camino desde la meta al inicio siguiendo los punteros
                        Salir
                sino
                        listaFrontera.del(n)
                        listaInterior.add(n)

                        para cada hijo m de n que no esté en lista interior
                                g'(m) = n·g + c(n, m) //g del nodo a explorar m

                                si m no está en listaFrontera
                                        almacenar la f, g y h del nodo en (m.f, m.g, m.h)
                                        m.padre = n
                                        listaFrontera.add(m)
                                sino si g'(m) es mejor que m.g //Verificamos si el nuevo
                                                                        camino es mejor
                                        m.padre = n
                                        recalcular f y g del nodo m
                                fsi
                        fpara
        fmientras
        Error, no se encuentra solución
Falg
```

Se empleará como primera heurística, $\boldsymbol{h = 0}$. Es decir, que la función heurística evaluara con 0 cada celda. Con la cual obtendríamos resultados de una búsqueda con coste uniforme.

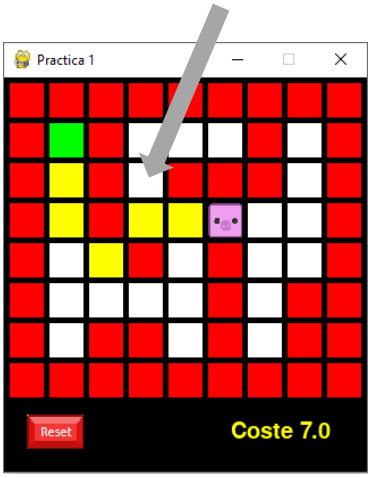
El aestrella debe:

- actualizar la matriz camino para que el entorno la pueda dibujar con algún símbolo distinto de '.' en las celdas que forman el camino.
- asignar valor a la variable coste que indica el coste del camino de origen a destino y que el entorno muestra en la parte inferior de la ventana.

La matriz camino se inicializa con '.' en todas las celdas, esta tarea la hace la función `inic(mapa)`. El entorno muestra en un * en las celdas de la matriz camino que contienen un X . La siguiente figura muestra un mapa con el camino detectado. En la parte de la izquierda se puede observar el orden en el que han sido generados los estados en el algoritmo A*, el valor 0 se corresponde con la posición origen del cerdito y el valor 10 con la posición destino. Se puede ver que todas las celdas coloreadas en amarillo tienen en la parte de la izquierda un valor distinto de -1, sin embargo, hay celdas que tienen valor distinto de -1 pero no corresponden al camino ya que el algoritmo explora posibilidades que luego rechaza, por ejemplo, el valor 2 se corresponde a una celda que ha sido explorada pero no forma parte del camino (se marca con una flecha en la imagen).

Mirando la figura se puede ver que se han generado 11 estados (incluyendo estado inicial) pero sólo 7 forman parte del camino

```
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 10 -1  4 -1 -1 -1 -1 -1
-1  9 -1  2 -1 -1 -1 -1 -1
-1  8 -1  3  1  0  6 -1 -1
-1 -1  7 -1  5 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
-1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
```



Tarea a realizar en esta sesión:

- Implementa el algoritmo A* empleando como heurística h=0

Sesión 4: Incorporando una heurística (Distancia Manhattan). Hito intermedio de entrega

Como se ha comentado anteriormente, la función heurística es una estimación optimista de cómo de lejos está el objetivo al que se desea llegar. Esta función lo que hace es asociar a cada celda un valor que evalúa lo prometedora que es esa celda para llegar al objetivo, normalmente es una estimación de lo próximo que se encuentra el objetivo.
El algoritmo A* irá explorando los nodos en función de lo prometedores que sean, es decir, irá seleccionando el nodo que menor coste ($g+h$) tenga.

Según la función heurística que implementemos el algoritmo A* puede obtener resultados diferentes. Si la función heurística **es admisible**, el algoritmo A* siempre obtendrá el camino óptimo, si este existe. Aunque dependiendo de lo 'buena' que sea esa función heurística, el algoritmo será

más o menos eficiente y explorará más o menos nodos. Si la función heurística **no es admisible**, puede ser que el algoritmo A* encuentre un camino, pero que este no sea el óptimo.

Una heurística es admisible si nunca sobrestima el coste de alcanzar el objetivo. Es decir, si el valor que da para cada celda es siempre menor o igual que el coste mínimo para alcanzar el objetivo.

$$h(n) \leq h^*(n)$$

Siendo $h^*(n)$ el coste mínimo real de la celda *n* al objetivo.

Por todo esto, la función heurística es una de las piezas clave dentro del algoritmo A*. Según el tipo de problema al que nos enfrentemos, la heurística óptima para ese problema será diferente. Si no se conoce cuál es la heurística óptima para el problema al cual nos enfrentamos, probaremos diferentes heurísticas y las analizaremos viendo si el camino que obtiene es el óptimo (el de menor coste) y el número de nodos explorados.

Distancia Manhattan. Esta distancia es la suma de las diferencias absolutas de las coordenadas de la celda origen y de la celda destino. Es decir, la distancia entre la celda *1* y la celda *2*, sería:

$$|x_2 - x_1| + |y_2 - y_1|$$

Tarea a realizar en esta sesión:

- Implementa la distancia Manhattan e incorpórala al A* como heurística

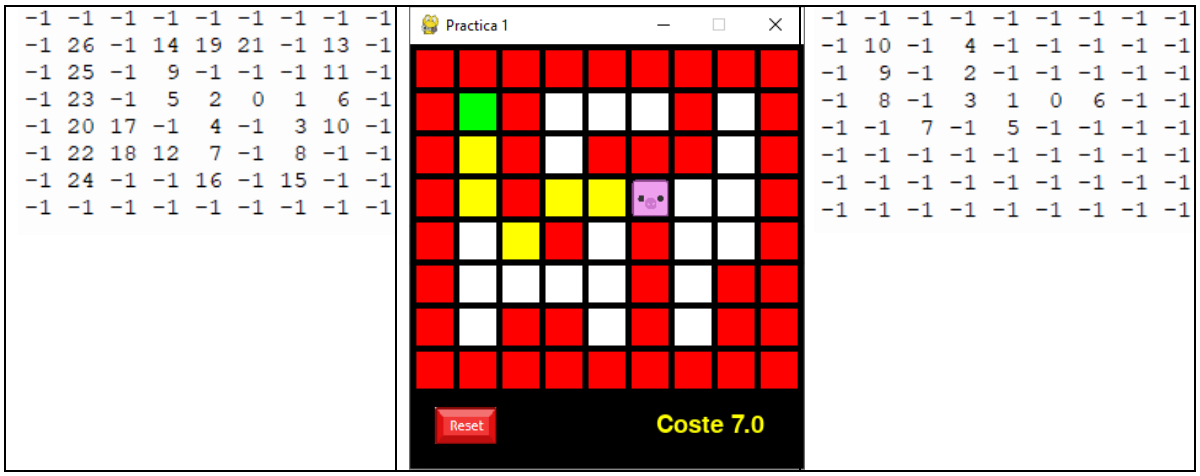
Sesiones 5: Probando otras heurísticas y documentando

Probar otras funciones de distancia:

- **Distancia Euclídea**. Define la línea recta entre dos puntos. Se deduce a partir del Teorema de Pitágoras y se calcularía la distancia entre la celda *1* y la celda *2* como:

$$\sqrt{(\boldsymbol{x_2 - x_1})^2 + (\boldsymbol{y_2 - y_1})^2}$$

La utilización de una buena heurística es un factor importante. La siguiente figura representa la cantidad de nodos explorados utilizando h=0 (en la parte de la izquierda) y utilizando otra heurística en la parte de la derecha. Aunque h=0 es una heurística admisible, hay una gran diferencia en el número de nodos explorados.



Al probar las heurísticas, veremos que algunas de ellas serán admisibles (siempre obtendrán el camino óptimo) y puede ser que otras no sean admisibles (puede ser que el camino que encuentren no sea óptimo).

Tarea a realizar en esta sesión:

- Implementa varias funciones de distancia para emplearlas como heurística del A* y analiza si son admisibles o no

Sesión 6: Documentación y pruebas. Hito final

Esta última sesión está dedicada a realizar pruebas y terminar la documentación que se deberá haber ido elaborando de manera continua durante todo el desarrollo de la práctica.

La documentación es la parte más importante de la práctica (60%). **Como mínimo** debe contener:

- Explicación y **traza de un problema pequeño** donde se observe el funcionamiento del algoritmo A*.
- Análisis comparativo de las **distintas heurísticas** implementadas analizando el número de nodos.
- Varios mundos de prueba con diseños que muestren distintas casuísticas del problema.

Entrega de la práctica

La fecha límite de entrega de la práctica es el **31 de octubre de 2021** a las 23:55h. La entrega se realizará a través de Moodle.

Formato de entrega del proyecto para el hito 2 (entrega final)

La entrega debe consistir en un **fichero comprimido zip** con tres carpetas:

- /Fuente: todos los ficheros .py que constituyen la práctica
- /Mundos: mundos de prueba utilizados

- /Doc: cuaderno ipynb (`Archivo-Descargar)` y fichero pdf generado a partir del cuaderno, se puede generar simplemente pulsando en `Archivo-Imprimir` (Guardar como PDF). **Importante: enviar el fichero ipynb, no el enlace**.

¡¡¡AVISO IMPORTANTE!!!

No cumplir cualquiera de las normas de formato/entrega puede suponer un suspenso en la práctica.

Recordad que **las prácticas son INDIVIDUALES** y NO se pueden hacer en parejas o grupos.

Cualquier código copiado supondrá un suspenso de la práctica para todas las personas implicadas en la copia y, como indica el Reglamento para la Evaluación de Aprendizajes de la Universidad de Alicante (BOUA 9/12/2015) y el documento de Actuación ante copia en pruebas de evaluación de la EPS, **se informará a la dirección de la Escuela Politécnica Superior para la toma de medidas oportunas**.

Plan de entrega por hitos

Durante el periodo de ejecución de la práctica se realizarán dos hitos de entrega. Es obligatorio cumplir las fechas de las entregas correspondientes:

Hito	Entrega	Fecha tope
1 (intermedio)	Todos los ficheros .py	17 de octubre
2 (final)	Práctica completa con varias heurísticas implementadas siguiendo la estructura del formato de entrega	31 de octubre

- La no entrega del hito 1 en la fecha prevista supone una penalización del 20%.
- Para la entrega final se dejará el programa empleando la heurística más adecuada. Las otras heurísticas analizadas aparecerán en el código, aunque no se utilicen.

La nota de la práctica sufrirá una penalización de dos puntos si no se cumple rigurosamente con los requisitos de la entrega (tanto en la estructura de los ficheros entregados como en la salida que debe generar la práctica)

Apéndice: Ejemplo sencillo de manejo de ficheros y creación de gráficas con matplotlib

Este código genera dos listas (una de enteros y otra de reales), las guarda en un fichero y después lee esos datos del fichero y los utiliza para mostrar una gráfica con `matplotlib`

```
import matplotlib.pyplot as plt
import random #para poder generar números aleatorios
```

```
#Generación de una lista (x) con 10 valores enteros
#La lista y contendrá 10 valores reales
x=list(range(10, 20))
y=[]

#Escritura en dos ficheros de ambas listas
archiX=open('datosX', "w")
archiY=open('datosY', "w")
for i in range(10):
  archiX.write(str(x[i])+'\n')
  # se generan valores siguiendo una distribución normal
  y.append(random.gauss(4,2))
  archiY.write(str(y[i])+'\n')

archiX.close()
archiY.close()

#Abrir ficheros para lectura
archiX=open('datosX', "r")
archiY=open('datosY', "r")
x=[]
y=[]
for linea in archiX:
  if linea[-1]=='\n': #eliminar el salto de línea
    linea=linea[:-1]
  x.append(int(linea))
archiX.close()
for linea in archiY:
  if linea[-1]=='\n':
    linea=linea[:-1]
  y.append(float(linea))
archiY.close()

#Creación de la gráfica
plt.title('Ejemplo de gráfico lineal')
plt.plot(x,y)
#Pone título a los ejes
plt.xlabel('X')
plt.ylabel('Y')
#Mostrar
plt.show()
```