

Asignatura

Computación gráfica

Actividad Práctica y/o Grupal

Unidad IV

Gráficos 3D

Sesión 14

Aplicaciones de la computación gráfica

Profesor: David Cereijo Graña

1. Preparación de la práctica

1.1. Creación de la carpeta de evidencias

Crea la siguiente carpeta en tu escritorio

- APELLIDO1_APELLIDO2_NOMBRE_CG_PLE4
 - EJERCICIO_1
 - EJERCICIO_2
 - EJERCICIO_3
 - EJERCICIO_4

A medida que vayas completando los ejercicios de la práctica, deberás ir guardando las evidencias generadas en estas carpetas, que después deberás comprimir en formato **zip** y entregar a través del campus virtual.

1.2. Creación del proyecto

Abre PyCharm y crea un nuevo proyecto:

Menú principal > File > New Project

En el campo **Name** escribe el nombre del proyecto: **PLE4**.

En el campo **Python version** asegúrate de tener seleccionado **Python 3.12**.

Pulsa el botón **Create**.

Se creará una carpeta con el nombre del proyecto en el panel izquierdo de la interfaz de PyCharm.

1.3. Instalación de bibliotecas

En el margen izquierdo inferior de la ventana principal de PyCharm selecciona el icono “Python Packages”, e instala los siguientes módulos:

- pygame
- PyOpenGL
- numpy

1.4. Creación de los ficheros del programa

En el panel izquierdo selecciona la carpeta raíz del proyecto, **PLE4**, despliega el menú contextual con el botón derecho del ratón y selecciona la opción:

[New > Directory](#)

En el campo **Name** escribe el nombre del ejercicio: **EJERCICIO1** y pulsa **ENTER**.

Podrás ver el nuevo directorio creado en el árbol de directorios del panel izquierdo.

Crea tres directorios adicionales para los ejercicios 2, 3 y 4: **EJERCICIO2**, **EJERCICIO3** y **EJERCICIO4**.

Copia la estructura de ficheros y directorios proporcionada con el enunciado de la práctica en la carpeta **EJERCICIO1**.

Los ejercicios de esta práctica son progresivos, de modo que el ejercicio 2 comienza donde termina el ejercicio 1, el ejercicio 3 donde termina el ejercicio 2, etc. Por tanto, cuando completes un ejercicio, haz una copia de sus ficheros y carpetas en la carpeta del ejercicio siguiente y continúa implementando las funcionalidades solicitadas.

1.4. Material de consulta y referencia

Se permite la consulta de todos los materiales de la asignatura (presentaciones y ficheros de Python), así como la documentación oficial de Python, Pygame y OpenGL. No se permite la consulta o uso de ningún otro material o herramienta.

2. Presentación de la práctica

A lo largo de esta práctica deberás construir un **esqueleto virtual** o **rig** completo para un personaje animado en **2D**.

En la siguiente imagen se muestra una vista del modelo de referencia que debes obtener al finalizar el ejercicio 4.

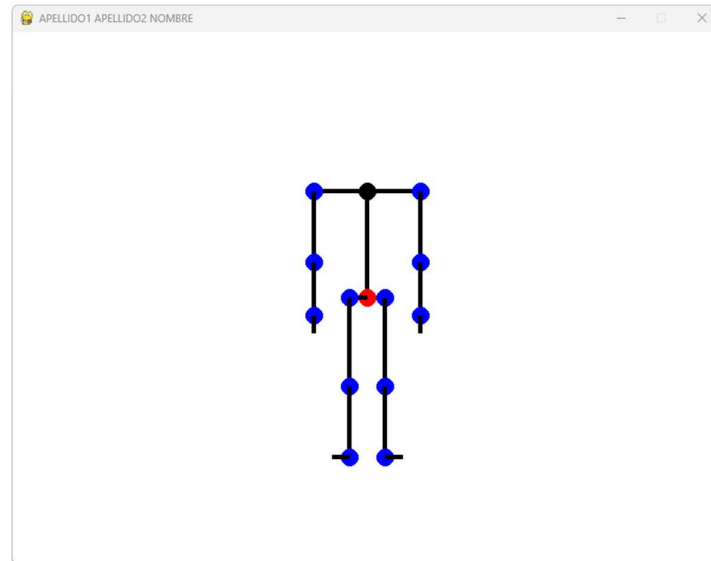


Ilustración 1. Esqueleto virtual o rig completo.

La práctica está dividida en 4 ejercicios, donde irás implementando cada una de las extremidades del esqueleto:

- **EJERCICIO 1:** Brazo derecho.
- **EJERCICIO 2:** Brazo izquierdo.
- **EJERCICIO 3:** Pierna derecha.
- **EJERCICIO 4:** Pierna izquierda.

El primer ejercicio será completamente guiado, mientras que los demás requerirán dosis crecientes de desarrollo autónomo.

3. Ejercicio 1

Comenzaremos la práctica configurando el brazo derecho.

Antes de comenzar, ejecuta el fichero **main.py** proporcionado con el enunciado de la práctica, se renderizará la figura mostrada en la Ilustración 2.

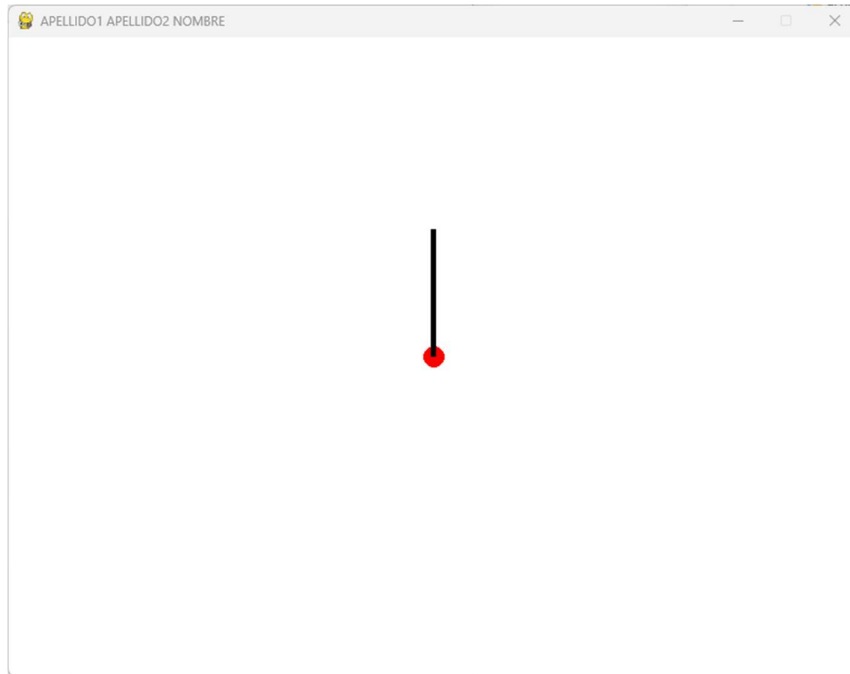


Ilustración 2. Ejecución del fichero main.py proporcionado con el enunciado.

El círculo rojo representa la articulación seleccionada, que inicialmente coincide con la articulación **raíz** del esqueleto, que se corresponde con la **pelvis**. Todas las demás articulaciones serán hijas de esta articulación raíz, de tal modo que cualquier transformación (como desplazamiento o rotación) aplicada a la articulación raíz afectará a todo el esqueleto.

La línea negra vertical que observas representa la columna vertebral del esqueleto, y en su extremo superior se encuentra otra articulación denominada **torso**. Esta articulación es rígida (no admite rotación) y simplemente se incluye para que se dibuje la columna vertebral y dar así una forma más realista al esqueleto.

La aplicación incluye un gestor de eventos de teclado con la siguiente asignación de teclas y funciones:

- **Tecla de dirección izquierda (←):** desplazamiento de la articulación raíz hacia la izquierda.
- **Tecla de dirección derecha (→):** desplazamiento de la articulación raíz hacia la derecha.
- **Tecla de dirección arriba (↑):** incremento del ángulo de rotación de la articulación seleccionada.
- **Tecla de dirección abajo (↓):** decremento del ángulo de rotación de la articulación seleccionada.
- **Tecla "R":** reset de la posición y ángulo de giro de la articulación raíz del esqueleto, es decir, al pulsar esta tecla, la articulación raíz vuelve a su posición original **(0,0)**, con una rotación de **0º**.

Experimenta con las teclas descritas y comprueba cómo se comporta el esqueleto. Observa cómo al pulsar la **tecla de dirección arriba**, el ángulo de giro se incrementa, y la columna vertebral rota en sentido antihorario (positivo) sobre la articulación raíz. Sin embargo, al pulsar la **tecla de dirección abajo**, la columna rota en sentido horario (negativo).

La configuración del esqueleto se realiza en dos ficheros, que son los únicos que debes editar para resolver esta práctica: **esqueleto.py** y **configuración_esqueleto.py**. Es importante que no modifiques ningún otro fichero de la aplicación.

Fichero esqueleto.py

Este fichero contiene una única función **configurar_esqueleto()** donde deberás crear un objeto de la clase **Articulacion()** para cada una de las articulaciones. Puedes consultar los detalles de esta clase en el fichero **articulacion.py**.

Inicialmente este fichero incluye únicamente la definición de las articulaciones que constituyen el tronco del esqueleto (la articulación **raíz**, que se corresponde con la **pelvis**, y la articulación rígida **torso**). El código que define estas articulaciones se muestra en la Ilustración 3.

```
#####
#                TRONCO                #
#####

# Articulación Raíz (Pelvis)
raiz = Articulacion(
    angulo=0,
    angulo_min=-360, # Sin límite para la articulación raíz
    angulo_max=360,
    r=[0, 0],
)

# Torso (articulación rígida entre los hombros)
torso = Articulacion(
    padre=raiz,
    r=[0, 6],
)
```

Ilustración 3. Definición de las articulaciones del tronco (raíz y torso) en el fichero esqueleto.py.

Bajo la definición de estas dos articulaciones verás el espacio reservado para definir el resto de las articulaciones que conforman cada una de las extremidades del esqueleto (Ilustración 4).

```
#####
#          BRAZO DERECHO          #
#####

# TODO: EJERCICIO 1

#####
#          BRAZO IZQUIERDO        #
#####

# TODO: EJERCICIO 2

#####
#          PIERNA DERECHA         #
#####

# TODO: EJERCICIO 3

#####
#          PIERNA IZQUIERDA       #
#####

# TODO: EJERCICIO 4
```

Ilustración 4. Espacio reservado para la definición del resto de articulaciones en el fichero esqueleto.py.

Fichero configuración_esqueleto.py

Este fichero contiene la definición de constantes que deberás utilizar para limitar el giro de las distintas articulaciones y establecer su posición inicial. Todas las constantes están ya creadas, pero tienen asignados valores predeterminados, que deberás cambiar por el valor adecuado en cada caso (Ilustración 5).

```
#####
#           BRAZO DERECHO           #
#####

# Límites
ANGULO_MIN_HOMBRO_DERECHO = -180 # TODO: EJERCICIO 1
ANGULO_MAX_HOMBRO_DERECHO = 180 # TODO: EJERCICIO 1
ANGULO_MIN_CODO_DERECHO = -180 # TODO: EJERCICIO 1
ANGULO_MAX_CODO_DERECHO = 180 # TODO: EJERCICIO 1
ANGULO_MIN_MUNECA_DERECHA = -180 # TODO: EJERCICIO 1
ANGULO_MAX_MUNECA_DERECHA = 180 # TODO: EJERCICIO 1

# Ángulos iniciales
ANGULO_INICIAL_HOMBRO_DERECHO = 0 # TODO: EJERCICIO 1
ANGULO_INICIAL_CODO_DERECHO = 0 # TODO: EJERCICIO 1
ANGULO_INICIAL_MUNECA_DERECHA = 0 # TODO: EJERCICIO 1
```

Ilustración 5. Constantes de configuración del brazo derecho en el fichero `configuracion_esqueleto.py`.

En este ejercicio implementaremos el brazo derecho.

Cada brazo del esqueleto define una cadena cinemática compuesta de las siguientes articulaciones:

- Hombro
- Codo
- Muñeca
- Mano

La última articulación de la cadena sirve para representar el último segmento de la cadena, que en el caso de los brazos será la **mano** y en el caso de las piernas será el **pie**.

Por ejemplo, para implementar la articulación **hombro_derecho**, cuya articulación padre sea el **torso**, y que se encuentre desplazada respecto a esta **3** unidades en el eje **x** y **0** unidades en el eje **y**, debemos añadir el código mostrado en la Ilustración 6 en el fichero **esqueleto.py**:


```
#####
#          BRAZO DERECHO          #
#####

# Hombro derecho
hombro_derecho = Articulacion(
    padre=torso,
    r=[3, 0],
)
```

Ilustración 6. Implementación de la articulación `hombro_derecho` en el fichero `esqueleto.py`.

Si ahora ejecutamos nuestra aplicación `main.py` veremos que ha aparecido un nuevo segmento a la derecha de la articulación `torso`.

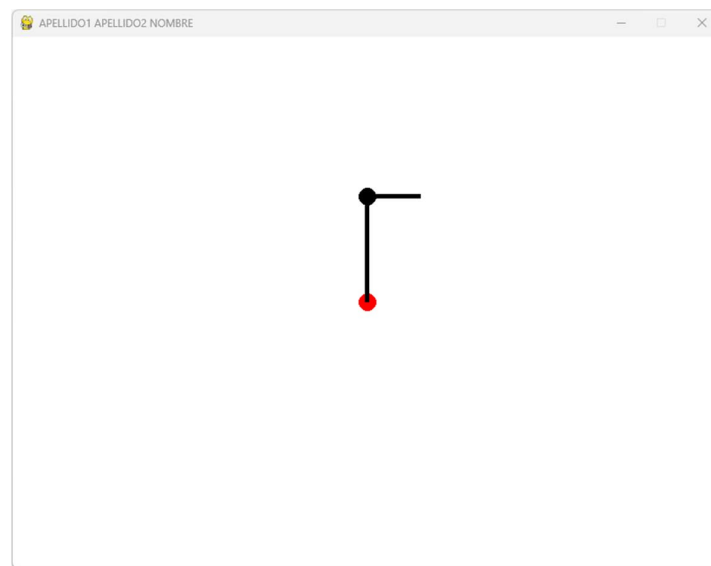


Ilustración 7. Implementación de la articulación `hombro_derecho`. Renderizado.

En la Ilustración 7, el círculo rojo continúa representando la articulación seleccionada, que sigue siendo la articulación **raíz** (la **pelvis**). Sobre esta articulación podemos ver otro círculo, que se corresponde con la articulación **torso**; su color negro nos indica que es una articulación rígida, es decir, no admite rotación.

Para poder ver en nuestro esqueleto la nueva articulación **hombro derecho** que hemos creado, debemos añadir un nuevo segmento a la cadena cinemática, que será el que va desde el hombro hasta el codo. Para ello debemos añadir una nueva articulación indicando su articulación padre, es

decir, el **hombro derecho**, y su vector de desplazamiento, que en este caso será **(4,0)**, es decir, **4** unidades en el eje **x** y **0** unidades en el eje **y**.

```
#####
#          BRAZO DERECHO          #
#####

# Hombro derecho
hombro_derecho = Articulacion(
    padre=torso,
    r=[3, 0],
)

# Codo derecho
codo_derecho = Articulacion(
    padre=hombro_derecho,
    r=[4, 0],
)
```

Ilustración 8. Implementación de un segmento terminal hijo de la articulación hombro_derecho.

Si ejecutamos nuevamente la aplicación **main.py** se mostrará el resultado mostrado en la Ilustración 9, donde veremos que ha aparecido un nuevo círculo que representa la articulación del hombro derecho, junto con un nuevo segmento terminal que representa el brazo.

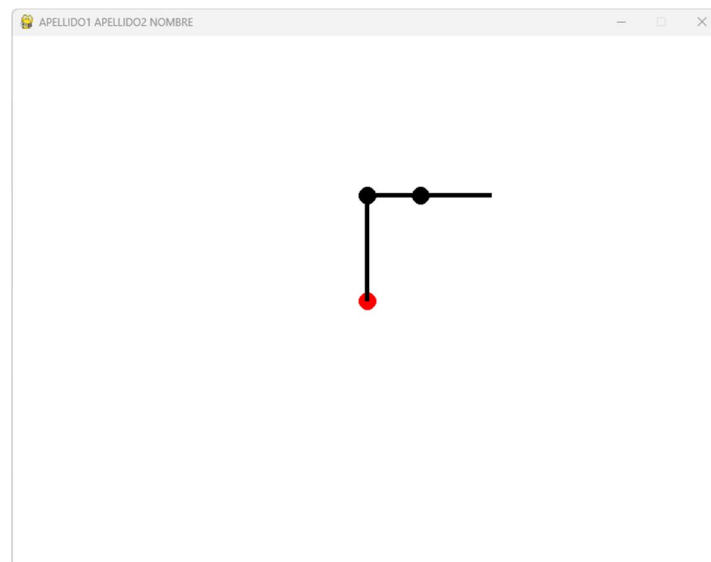


Ilustración 9. Articulación hombro derecho. El color negro indica que se trata de una articulación rígida.

Por defecto, si no indicamos lo contrario, las articulaciones son creadas con un ángulo mínimo de **0º** y un ángulo máximo de **0º**, es decir, como articulaciones rígidas, y se muestran en color negro en el renderizado.

Si queremos que la articulación pueda rotar, debemos especificar otros valores para los atributos **angulo_min** y **angulo_max** de la clase **Articulacion**.

El fichero **esqueleto_configuracion.py** contiene la definición de constantes para todas las articulaciones necesarias, especificando siempre un valor predeterminado de **-180º** para el ángulo mínimo, de **180º** para el ángulo máximo y de **0º** para el ángulo inicial.

Si asignamos estos valores en la configuración de nuestra articulación, la aplicación interpretará que se trata de una articulación móvil y la representará en color azul, tal y como se muestra en la Ilustración 11.

```
#####
#          BRAZO DERECHO          #
#####

# Hombro derecho
hombro_derecho = Articulacion(
    padre=torso,
    angulo=ANGULO_INICIAL_HOMBRO_DERECHO,
    angulo_min=ANGULO_MIN_HOMBRO_DERECHO,
    angulo_max=ANGULO_MAX_HOMBRO_DERECHO,
    r=[3, 0],
)

# Codo derecho
codo_derecho = Articulacion(
    padre=hombro_derecho,
    r=[4, 0],
)
```

Ilustración 10. Configuración de los ángulos mínimo, máximo e inicial de la articulación **hombro_derecho**.

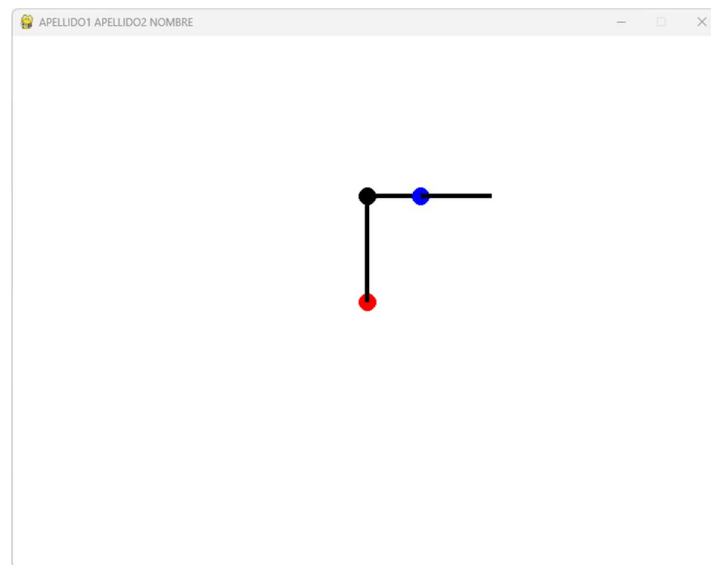


Ilustración 11. Articulación **hombro derecho**. El color azul indica que se trata de una articulación móvil.

Para rotar una articulación móvil primero la debemos seleccionar. Para ello basta con hacer clic con el ratón sobre la misma, verás que se colorea de rojo, indicando que es la articulación seleccionada. Una vez seleccionada una articulación, puedes rotarla utilizando las **teclas de dirección arriba y abajo**, tal y como se muestra en la Ilustración 12.

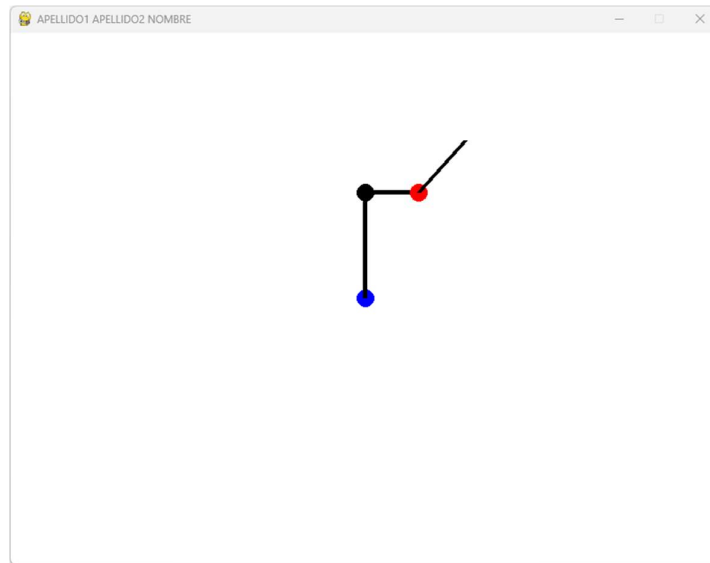


Ilustración 12. Articulación hombro_derecho seleccionada y rotada 45°.

Si deseas volver a seleccionar la articulación raíz, solo tienes que hacer clic sobre la misma, verás que ahora es esta la que se colorea de rojo. Si a continuación pulsas las teclas de dirección arriba y abajo, verás que rota todo el esqueleto, tal y como se muestra en la Ilustración 13.

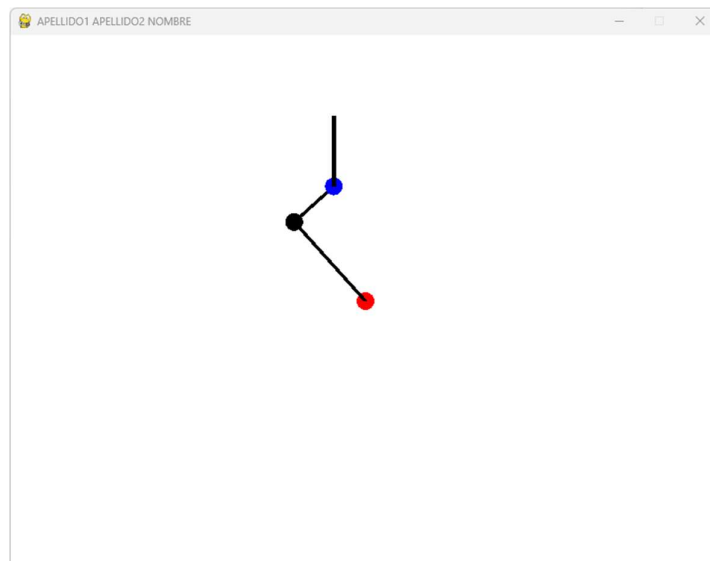


Ilustración 13. Articulación raíz seleccionada y rotada 45°.

Recuerda que para devolver la articulación raíz a su posición original (coordenadas **0,0** y **0º** de rotación), basta con pulsar la tecla **R**.

De forma predeterminada, el ángulo mínimo de una articulación siempre es **-180º**, el ángulo máximo **180º**, y el ángulo inicial **0**, pero estos valores no siempre resultarán realistas para nuestro propósito. Por ejemplo, unos valores más apropiados para el hombro derecho se muestran en la Ilustración 14.

```
#####
#           BRAZO DERECHO           #
#####

# Límites
ANGULO_MIN_HOMBRO_DERECHO = -90
ANGULO_MAX_HOMBRO_DERECHO = 90

# Ángulos iniciales
ANGULO_INICIAL_HOMBRO_DERECHO = -90

#####
#           BRAZO IZQUIERDO          #
#####
```

Ilustración 14. Valores límite y de inicio de la articulación hombro_derecho, configurados en el fichero `configuracion_esqueleto.py`.

Si ejecutas nuevamente la aplicación **main.py**, verás que ahora el segmento terminal (brazo) se muestra a **-90º** en relación al hombro, es decir, apuntando hacia abajo (Ilustración 15), pues este es el valor configurado como ángulo inicial para esta articulación en la constante **ANGULO_INICIAL_HOMBRO_DERECHO**. Además, este será también el valor mínimo de rotación que podrá alcanzar, tal y como se especifica en la constante **ANGULO_MIN_HOMBRO_DERECHO**.

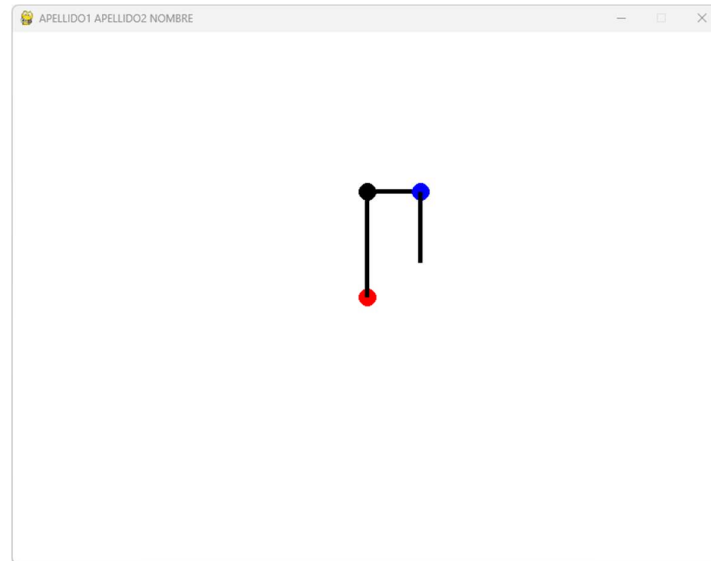


Ilustración 15. Articulación hombro_derecho, posición inicial.

Si ahora seleccionas la articulación hombro derecho y pulsas la **tecla de dirección arriba** hasta alcanzar el límite, verás que el brazo rotará en sentido antihorario hasta alcanzar los **90º** respecto al eje horizontal **x**, que es la rotación máxima que hemos definido en la constante **ANGULO_MAX_HOMBRO_DERECHO**, tal y como se puede ver en la Ilustración 16.

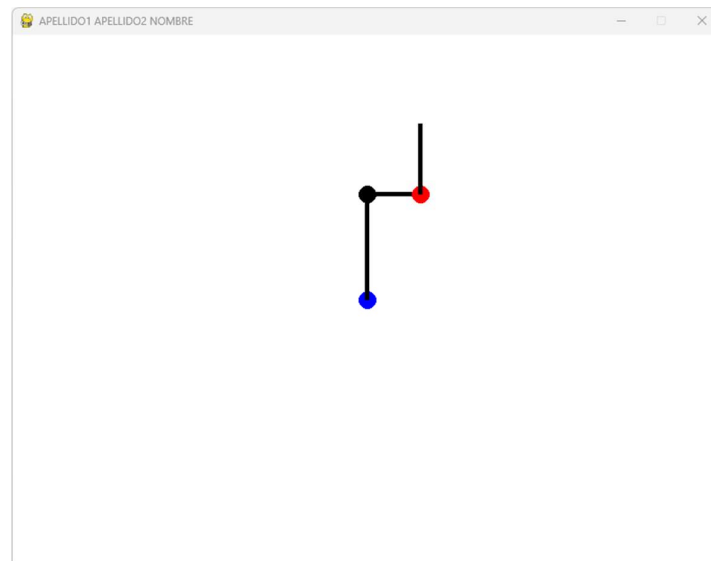


Ilustración 16. Articulación hombro_derecho, rotación máxima.

Para crear una cadena cinemática completa, como por ejemplo el brazo derecho, basta con seguir el mismo procedimiento para cada una de las articulaciones que lo componen (hombro, codo y muñeca), indicando para cada una cuál es su articulación padre, cuál es su vector de

desplazamiento, cuáles son los ángulos de rotación mínimo y máximo, y cuál es el ángulo al cual se debe inicializar.

En la Ilustración 17 y la Ilustración 18 se muestra el código completo necesario para configurar el brazo derecho completo.

```
#####
#           BRAZO DERECHO           #
#####

# Hombro derecho
hombro_derecho = Articulacion(
    padre=torso,
    angulo=ANGULO_INICIAL_HOMBRO_DERECHO,
    angulo_min=ANGULO_MIN_HOMBRO_DERECHO,
    angulo_max=ANGULO_MAX_HOMBRO_DERECHO,
    r=[3, 0],
)

# Codo derecho
codo_derecho = Articulacion(
    padre=hombro_derecho,
    angulo=ANGULO_INICIAL_CODO_DERECHO,
    angulo_min=ANGULO_MIN_CODO_DERECHO,
    angulo_max=ANGULO_MAX_CODO_DERECHO,
    r=[4, 0],
)

# Muñeca derecha
muneca_derecha = Articulacion(
    padre=codo_derecho,
    angulo=ANGULO_INICIAL_MUNECA_DERECHA,
    angulo_min=ANGULO_MIN_MUNECA_DERECHA,
    angulo_max=ANGULO_MAX_MUNECA_DERECHA,
    r=[3, 0],
)

# Mano derecha
mano_derecha = Articulacion(
    padre=muneca_derecha,
    angulo=0,
    r=[1, 0],
)
```

Ilustración 17. Configuración de las articulaciones que componen el brazo derecho en el fichero esqueleto.py.

```
#####
#          BRAZO DERECHO          #
#####

# Límites
ANGULO_MIN_HOMBRO_DERECHO = -90
ANGULO_MAX_HOMBRO_DERECHO = 90
ANGULO_MIN_CODO_DERECHO = -135
ANGULO_MAX_CODO_DERECHO = 0
ANGULO_MIN_MUNECA_DERECHA = -45
ANGULO_MAX_MUNECA_DERECHA = 45

# Ángulos iniciales
ANGULO_INICIAL_HOMBRO_DERECHO = -90
ANGULO_INICIAL_CODO_DERECHO = 0
ANGULO_INICIAL_MUNECA_DERECHA = 0

#####
#          BRAZO IZQUIERDO        #
#####
```

Ilustración 18. Configuración de los valores límite e iniciales de las articulaciones del brazo derecho en el fichero `esqueleto_configuracion.py`.

Si ahora ejecutas la aplicación `main.py` verás el resultado mostrado en la Ilustración 19.

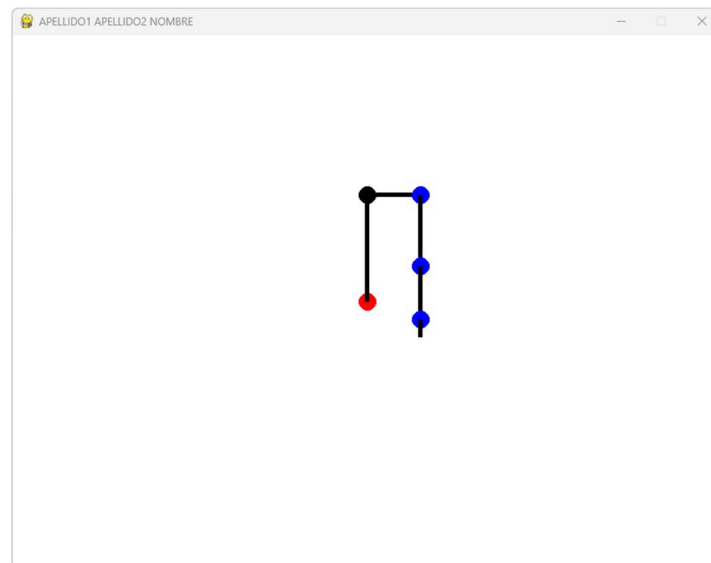


Ilustración 19. Renderizado del brazo derecho. Estado inicial.

Si seleccionas una a una las articulaciones del hombro, el codo y la muñeca y, para cada una de ellas pulsas la **tecla de dirección arriba** hasta alcanzar la **rotación máxima**, alcanzarás la postura de **máxima extensión** mostrada en la Ilustración 20.

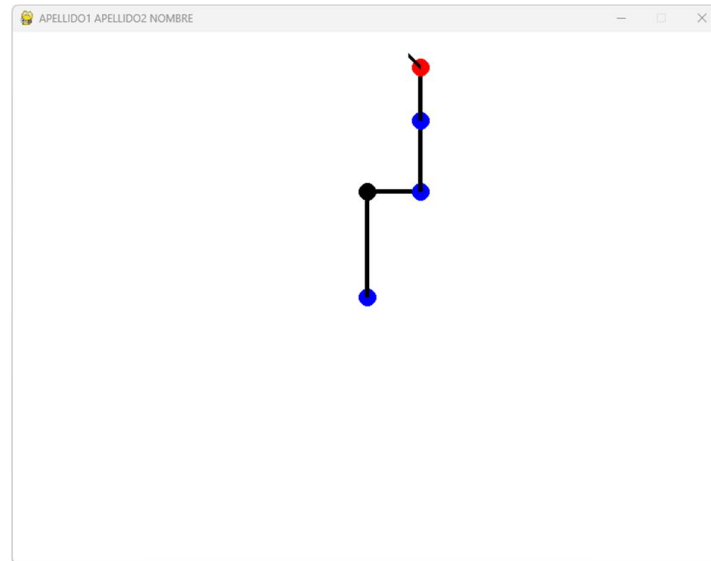


Ilustración 20. Renderizado del brazo derecho. Rotación máxima.

Si, por el contrario, seleccionas una a una todas las articulaciones y, para cada una de ellas, pulsas la **tecla de dirección abajo**, hasta alcanzar la **rotación mínima**, alcanzarás la postura de **máxima flexión** mostrada en la Ilustración 21.

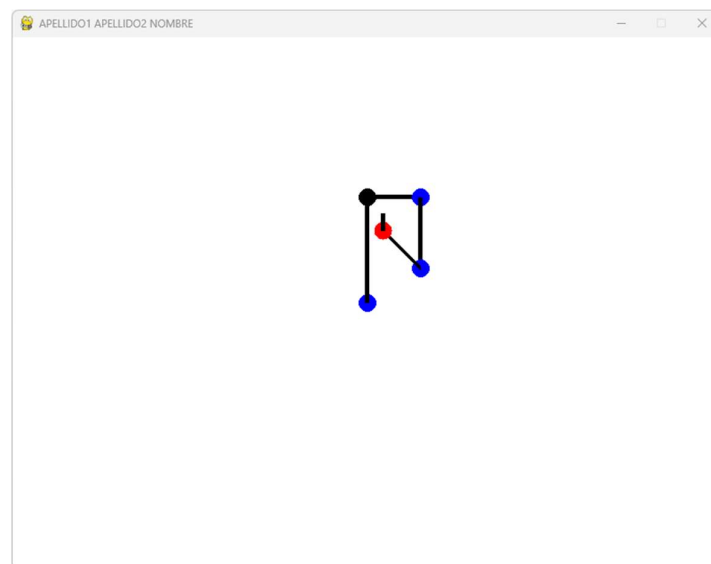


Ilustración 21. Renderizado del brazo derecho. Rotación mínima.

Entrega del ejercicio

Adjunta las siguientes evidencias de tu ejercicio en la carpeta **EJERCICIO_1**:

- Captura de la ventana completa de PyCharm.

- Captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución donde se muestre el brazo en su postura **inicial** (Ilustración 19).
- Captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución donde se muestre el brazo en su postura de **rotación máxima** (Ilustración 20).
- Captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución donde se muestre el brazo en su postura de **rotación mínima** (Ilustración 21).
- Copia de los ficheros **esqueleto.py** y **configuracion_esqueleto.py**.

La captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución deberá mostrar claramente su título con tu nombre y apellidos, de la forma “APELLIDO1 APELLIDO2 NOMBRE”.

4. Ejercicio 2

Este ejercicio parte de la solución del anterior, y consiste en añadir el brazo izquierdo. Para ello deberás añadir el código tal y como se muestra en la Ilustración 22 y la Ilustración 23.

```
#####
#      BRAZO IZQUIERDO      #
#####

# Hombro izquierdo
hombro_izquierdo = Articulacion(
    padre=torso,
    angulo=ANGULO_INICIAL_HOMBRO_IZQUIERDO,
    angulo_min=ANGULO_MIN_HOMBRO_IZQUIERDO,
    angulo_max=ANGULO_MAX_HOMBRO_IZQUIERDO,
    r=[-3, 0],
)

# Codo izquierdo
codo_izquierdo = Articulacion(
    padre=hombro_izquierdo,
    angulo=ANGULO_INICIAL_CODO_IZQUIERDO,
    angulo_min=ANGULO_MIN_CODO_IZQUIERDO,
    angulo_max=ANGULO_MAX_CODO_IZQUIERDO,
    r=[-4, 0],
)

# Muñeca izquierda
muneca_izquierda = Articulacion(
    padre=codo_izquierdo,
    angulo=ANGULO_INICIAL_MUNECA_DERECHA,
    angulo_min=ANGULO_MIN_MUNECA_DERECHA,
    angulo_max=ANGULO_MAX_MUNECA_DERECHA,
    r=[-3, 0],
)

# Mano izquierda
mano_izquierda = Articulacion(
    padre=muneca_izquierda,
    angulo=0,
    r=[-1, 0],
)
```

Ilustración 22. Configuración de las articulaciones que componen el brazo izquierdo en el fichero esqueleto.py.

```
#####
#           BRAZO IZQUIERDO           #
#####

# Límites
ANGULO_MIN_HOMBRO_IZQUIERDO = -90
ANGULO_MAX_HOMBRO_IZQUIERDO = 90
ANGULO_MIN_CODO_IZQUIERDO = 0
ANGULO_MAX_CODO_IZQUIERDO = 135
ANGULO_MIN_MUNECA_IZQUIERDA = -45
ANGULO_MAX_MUNECA_IZQUIERDA = 45

# Ángulos iniciales
ANGULO_INICIAL_HOMBRO_IZQUIERDO = 90
ANGULO_INICIAL_CODO_IZQUIERDO = 0
ANGULO_INICIAL_MUNECA_IZQUIERDA = 0
```

Ilustración 23. Configuración de los valores límite e iniciales de las articulaciones del brazo izquierdo en el fichero `esqueleto_configuracion.py`.

Una vez añadido el brazo izquierdo, el esqueleto se inicializará en la postura mostrada en la Ilustración 24.

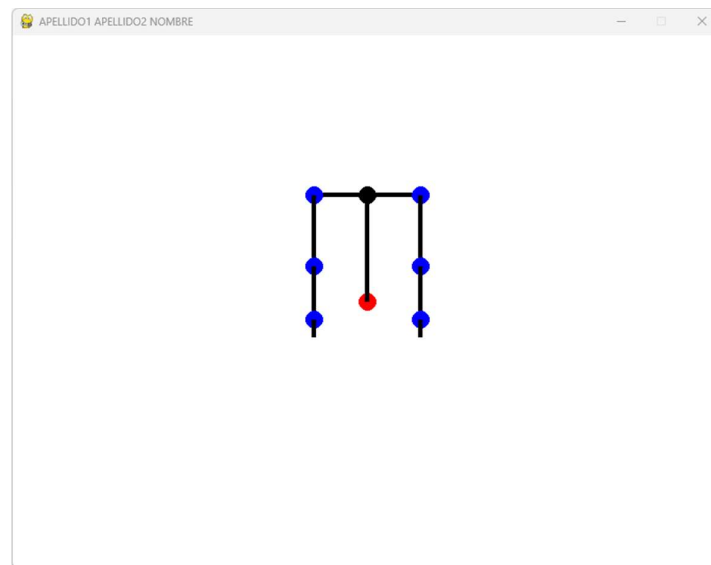


Ilustración 24. Renderizado de los brazos derecho e izquierdo. Estado inicial.

Si ahora deseamos alcanzar la postura de máxima extensión del brazo izquierdo, debemos seleccionar una a una las articulaciones del hombro, codo y muñeca y, para cada una de ellas, pulsar la **tecla de dirección arriba** hasta alcanzar el límite. Observa que mientras que en el brazo derecho debemos pulsar la **tecla de dirección abajo**, en el izquierdo debemos pulsar la **tecla de dirección arriba**. Esto se debe a que, para lograr la flexión, el brazo derecho lo tenemos que girar el sentido horario (negativo), mientras que el izquierdo lo debemos rotar en sentido antihorario (positivo).

En la Ilustración 25 se muestra el esqueleto con los dos brazos completamente flexionados.

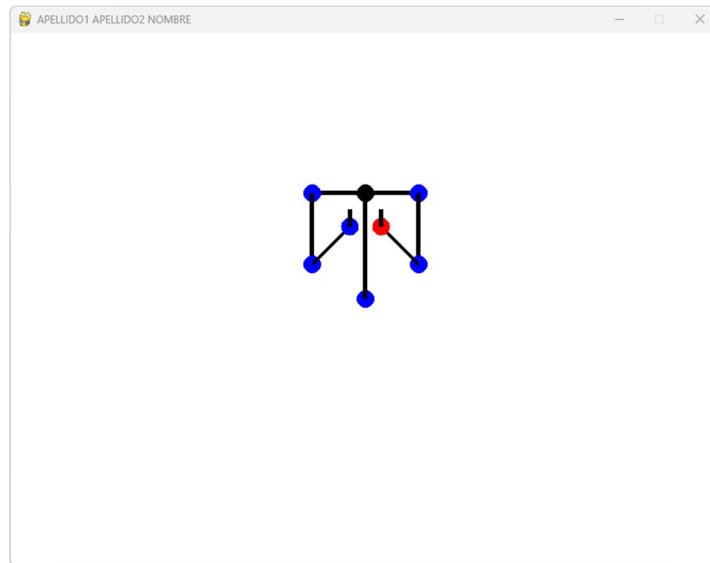


Ilustración 25. Renderizado de ambos brazos en postura de máxima flexión.

Entrega del ejercicio

Adjunta las siguientes evidencias de tu ejercicio en la carpeta **EJERCICIO_2**:

- Captura de la ventana completa de PyCharm.
- Captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución donde se muestren ambos brazos en su postura **inicial** (Ilustración 25).
- Captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución donde se muestren ambos brazos en su postura de **máxima flexión** (Ilustración 25).
- Copia de los ficheros **esqueleto.py** y **configuracion_esqueleto.py**.

La captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución deberá mostrar claramente su título con tu nombre y apellidos, de la forma "APELLIDO1 APELLIDO2 NOMBRE".

5. Ejercicio 3

Este ejercicio parte de la solución del anterior, y consiste en añadir la pierna derecha. Para ello en la Ilustración 26 se proporciona el código que debes añadir en el fichero **esqueleto.py** y en la Ilustración 27, Ilustración 28 e Ilustración 29 se proporcionan capturas de pantalla de la pierna en su estado inicial, y en estado de máxima y mínima rotación, respectivamente.

```
#####
#          PIERNA DERECHA          #
#####

# Cadera derecha
cadera_derecha = Articulacion(
    padre=raiz,
    angulo=ANGULO_INICIAL_CADERA_DERECHA,
    angulo_min=ANGULO_MIN_CADERA_DERECHA,
    angulo_max=ANGULO_MAX_CADERA_DERECHA,
    r=[1, 0],
)

# Rodilla derecha
rodilla_derecha = Articulacion(
    padre=cadera_derecha,
    angulo=ANGULO_INICIAL_RODILLA_DERECHA,
    angulo_min=ANGULO_MIN_RODILLA_DERECHA,
    angulo_max=ANGULO_MAX_RODILLA_DERECHA,
    r=[5, 0],
)

# Tobillo derecho
tobillo_derecho = Articulacion(
    padre=rodilla_derecha,
    angulo=ANGULO_INICIAL_TOBILLO_DERECHO,
    angulo_min=ANGULO_MIN_TOBILLO_DERECHO,
    angulo_max=ANGULO_MAX_TOBILLO_DERECHO,
    r=[4, 0],
)

# Pie derecho
pie_derecho = Articulacion(
    padre=tobillo_derecho,
    angulo=0,
    r=[1, 0],
)
```

Ilustración 26. Configuración de las articulaciones que componen la pierna derecha en el fichero esqueleto.py.

En cuanto a los valores límite de rotación y el ángulo inicial, deberás averiguarlo a partir de las capturas mostradas en la Ilustración 27, la Ilustración 28, y la Ilustración 29.

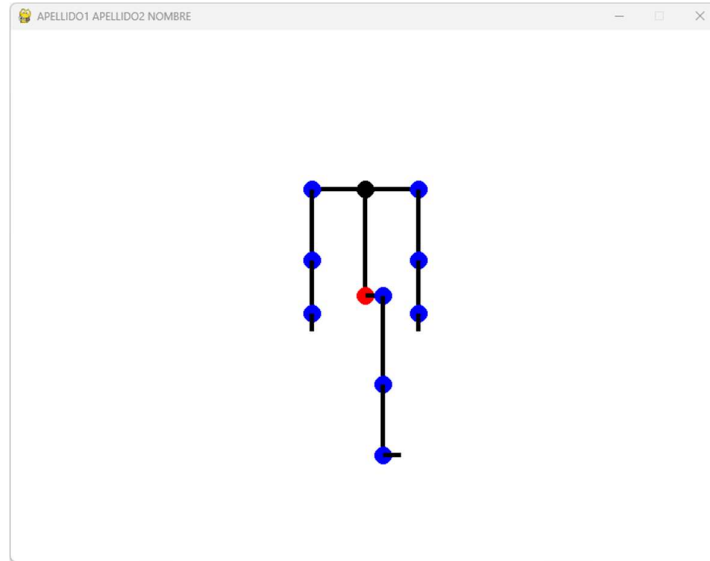


Ilustración 27. Renderizado de la pierna derecha. Estado inicial.

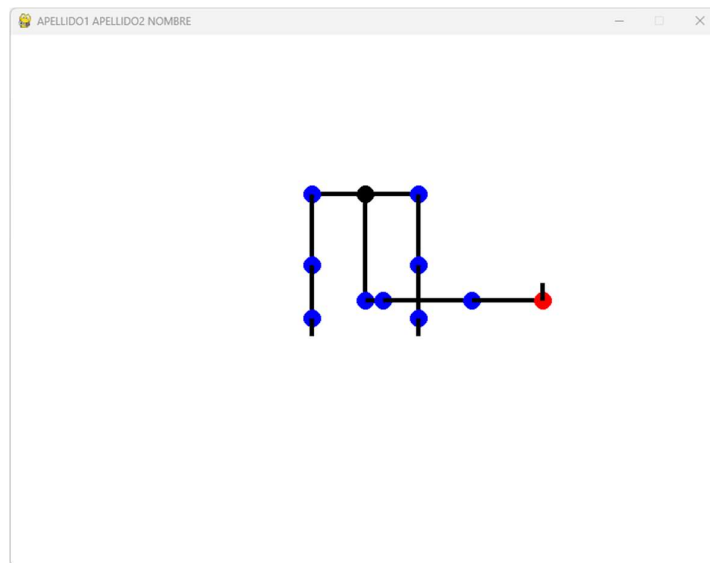


Ilustración 28. Renderizado de la pierna derecha. Máxima rotación.

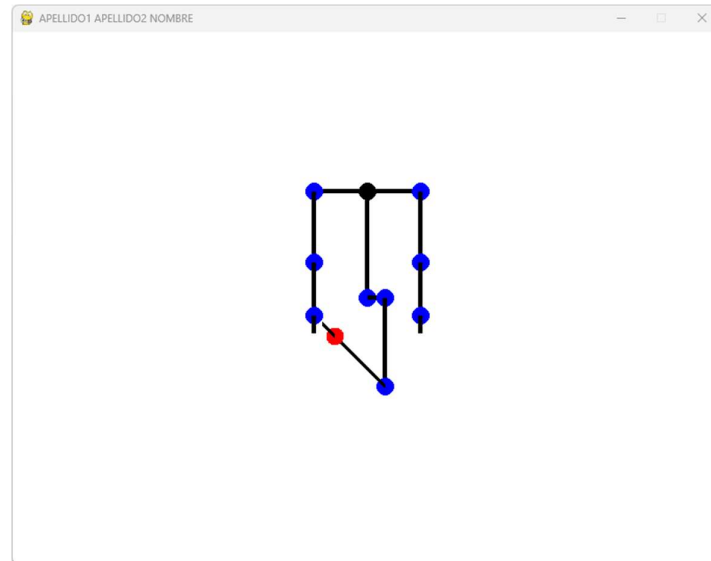


Ilustración 29. Renderizado de la pierna derecha. Mínima rotación.

Entrega del ejercicio

Adjunta las siguientes evidencias de tu ejercicio en la carpeta **EJERCICIO_3**:

- Captura de la ventana completa de PyCharm.
- Captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución donde se muestre la pierna derecha en su postura **inicial** (Ilustración 27).
- Captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución donde se muestre la pierna derecha en su postura de **máxima rotación** (Ilustración 28).
- Captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución donde se muestre la pierna derecha en su postura de **mínima rotación** (Ilustración 29).
- Copia de los ficheros **esqueleto.py** y **configuracion_esqueleto.py**.

La captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución deberá mostrar claramente su título con tu nombre y apellidos, de la forma “APELLIDO1 APELLIDO2 NOMBRE”.

6. Ejercicio 4

Este ejercicio parte de la solución del anterior, y consiste en añadir la pierna izquierda. Para ello debes implementar completamente cada una de las articulaciones y configurar sus ángulos para su comportamiento sea simétrico al de la pierna derecha.

En la Ilustración 30, la Ilustración 31 y la Ilustración 32, se adjuntan capturas de pantalla con el esqueleto en su estado inicial y con todas las articulaciones de la pierna izquierda en su postura de mínima y máxima rotación, respectivamente.

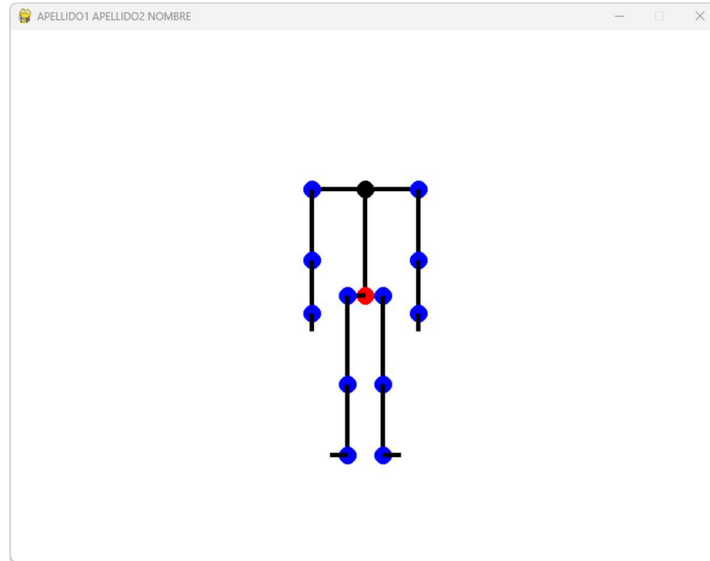


Ilustración 30. Renderizado de la pierna izquierda. Estado inicial.

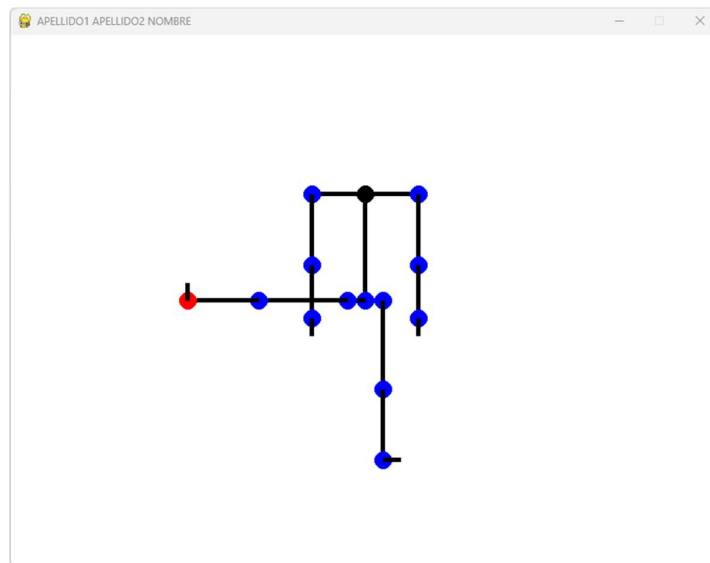


Ilustración 31. Renderizado de la pierna izquierda. Mínima rotación.

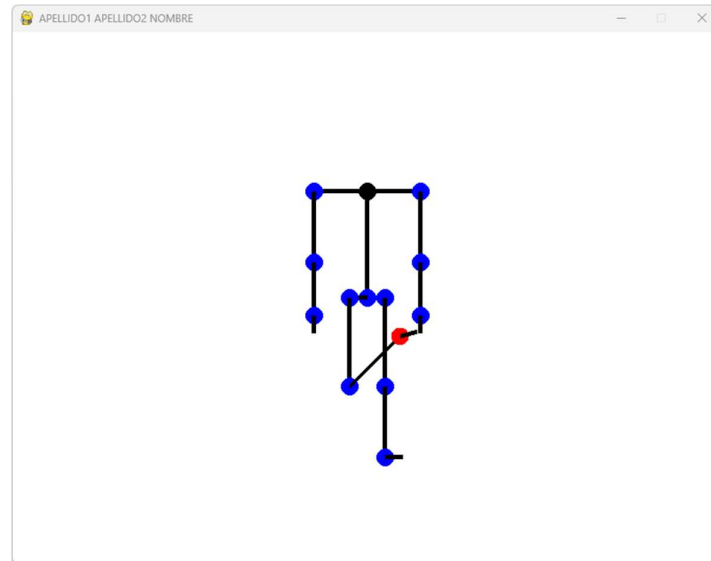


Ilustración 32. Renderizado de la pierna izquierda. Máxima rotación.

Entrega del ejercicio

Adjunta las siguientes evidencias de tu ejercicio en la carpeta **EJERCICIO_4**:

- Captura de la ventana completa de PyCharm.
- Captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución donde se muestre la pierna izquierda en su postura **inicial** (Ilustración 30).
- Captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución donde se muestre la pierna izquierda en su postura de **mínima rotación** (Ilustración 31).
- Captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución donde se muestre la pierna izquierda en su postura de **máxima rotación** (Ilustración 32).
- Copia de los ficheros **esqueleto.py** y **configuracion_esqueleto.py**.

La captura de la ventana gráfica con la aplicación en ejecución deberá mostrar claramente su título con tu nombre y apellidos, de la forma “APELLIDO1 APELLIDO2 NOMBRE”.

Entrega final de la práctica

Comprime en formato **zip** tu carpeta de entrega con las evidencias de todos los ejercicios y entrégala a través del Campus Virtual.