

Sistemas de adaptación motora en entorno de realidad virtual

Celia Arias Martínez

Tutores: Eduardo Ros Vidal y Jesús Garrido Alcázar

5 Julio 2023



1 Introducción

2 Fundamentos matemáticos

3 Implementación del proyecto

4 Resultados

5 Conclusiones

Contents

1 Introducción

2 Fundamentos matemáticos

3 Implementación del proyecto

4 Resultados

5 Conclusiones

Estado del arte

- Realidad virtual
 - Head Mounted Display o gafas de realidad virtual
 - Simuladores de vuelo
 - Dispositivos hápticos
 - Aprendizaje y control de movimientos



3D Systems Touch y OpenHaptics



Dispositivo háptico desarrollado por **3D Systems** para simular objetos virtuales a medida que el usuario manipula objetos 3D en la pantalla.

- Control robótico
- Medicina y cirugía
- Rehabilitación.

Objetivos

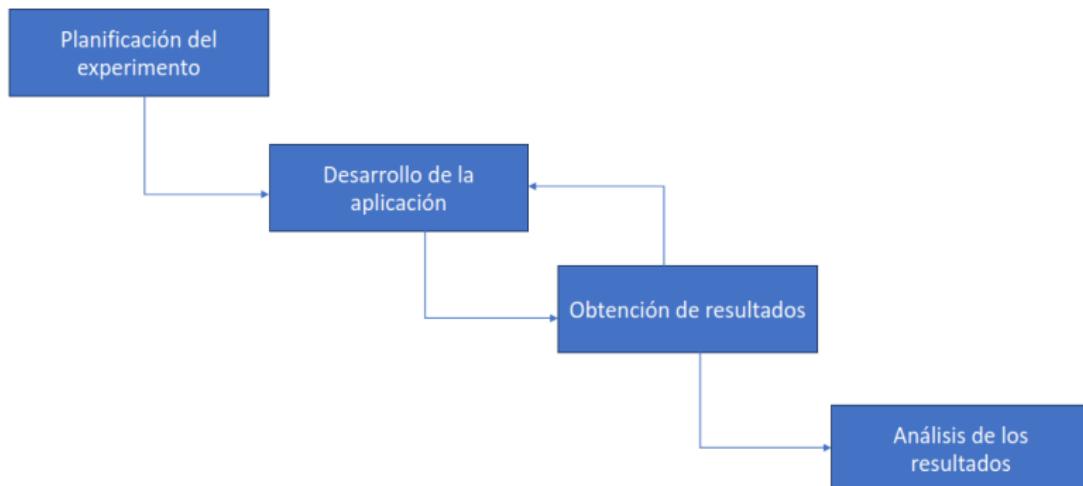
- Objetivos técnicos

- ① Analizar cómo los dispositivos hápticos (en concreto *3DSystems Touch*) pueden utilizarse en el estudio de movimientos balísticos.
- ② Estudiar la precisión de los datos obtenidos con el dispositivo *Touch*.
- ③ Interpretar dichos datos.

- Objetivos didáctivos

- ① Aprender a usar *3DSystems Touch*.
- ② Desarrollar una aplicación utilizando la API de *Touch*.
- ③ Entender algunas de las aplicaciones de la Geometría a la Informática Gráfica.
- ④ Llevar a cabo una experimentación con diferentes sujetos.
- ⑤ Realizar un análisis de los datos obtenidos.

Fases del proyecto



- Modelo de ciclo de vida en **cascada con realimentación**

Contents

1 Introducción

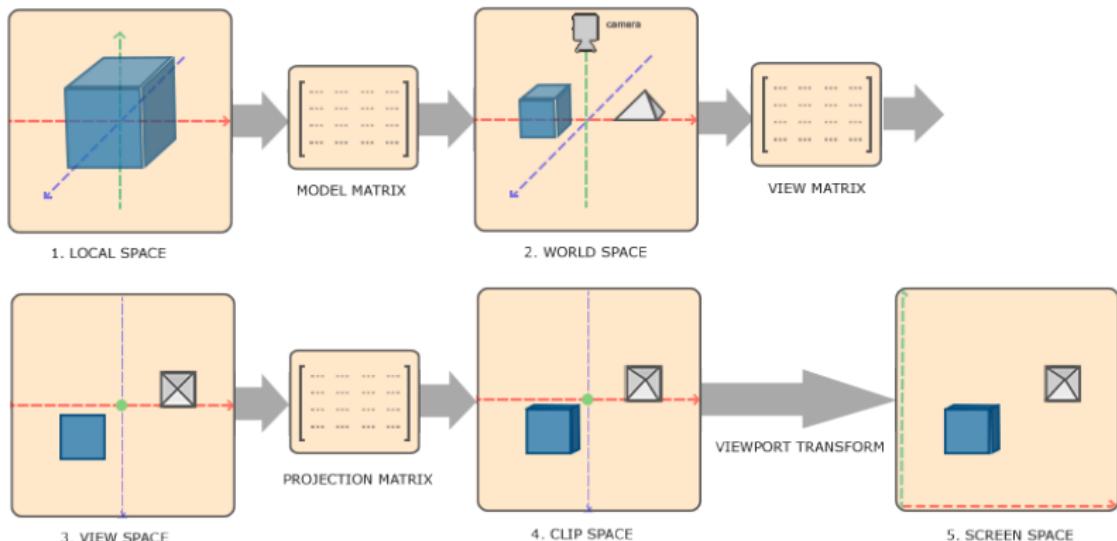
2 Fundamentos matemáticos

3 Implementación del proyecto

4 Resultados

5 Conclusiones

¿Cómo obtenemos las coordenadas de las trayectorias que realizamos con el dispositivo Touch?



- Queremos transformar las coordenadas de pantalla a un sistema más intuitivo.

Tipos de transformaciones: Álgebra lineal

- Escalados

Proposición

Supongamos V un espacio vectorial sobre un cuerpo K con $\dim_k(V) = n$. Tomamos dos bases $B = \{v_1, \dots, v_n\}$ y $B' = \{v'_1, \dots, v'_n\}$ de V y $v \in V$ y sea $M(I, B' \leftarrow B)$ la matriz de cambio de base.

$$v_{B'} = M(I, B' \leftarrow B) \cdot v_B \quad (1)$$

Tipos de transformaciones: Espacio afín

- Traslaciones

Proposición

Sea $R = \{p_0, \dots, p_n\} \equiv \{p_0, B\}$, $R' = \{p'_0, \dots, p'_n\} \equiv \{p'_0, B'\}$ y $M(Id_{\overrightarrow{A}}, B, B')$ la matriz de cambio de base de B a B' . La fórmula del cambio de sistema de referencia es:

$$p_{R'} = (p_0)_{R'} + M(Id_{\overrightarrow{A}}, B, B')p_R \quad (2)$$

Observación

Podemos escribir la fórmula anterior de la siguiente forma:

$$\begin{pmatrix} 1 \\ p_{R'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M(Id, B, B') & (p_0)_{R'} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ p_R \end{pmatrix} \quad (3)$$

Tipos de transformaciones: Espacio proyectivo

• Proyecciones

Definición

Definiendo el hiperplano $A \subseteq \mathbb{R}^{n+1}$ donde $\{x_0 = 1\}$ como:

$$A = \{1\} \times \mathbb{R}^n \subseteq \mathbb{R}^{n+1} \quad (4)$$

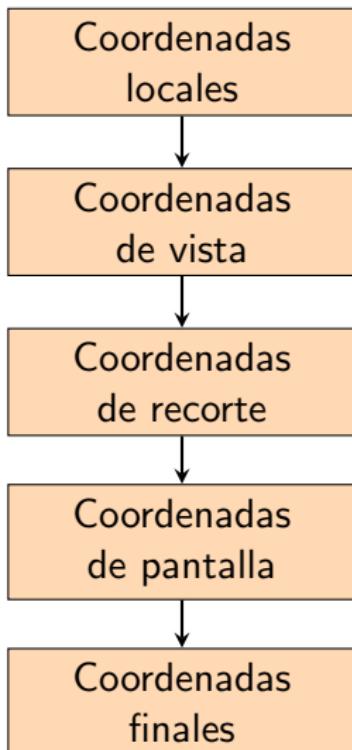
el embebimiento canónico de \mathbb{R}^n en \mathbb{P}^n será: Sea

$$e : \mathbb{R}^n \rightarrow A, e((x_1, \dots, x_n)) = (1 : x_1 : \dots : x_n) \quad (5)$$

Proposición

La relación entre el espacio euclíadiano \mathbb{R}^n y el proyectivo \mathbb{P}^n es:

$$\mathbb{P}^n \setminus \mathbb{R}_{\infty}^n \xrightarrow{e^{-1}} \mathbb{R}^n, (x_0 : x_1 : \dots : x_n) \longmapsto \left(\frac{x_1}{x_0}, \dots, \frac{x_n}{x_0} \right) \quad (6)$$



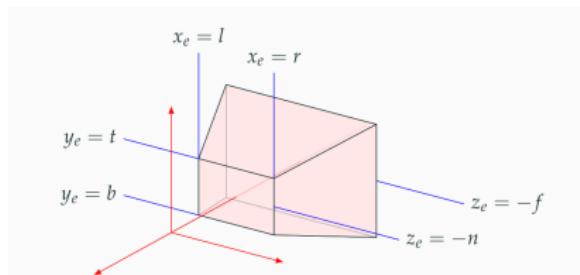
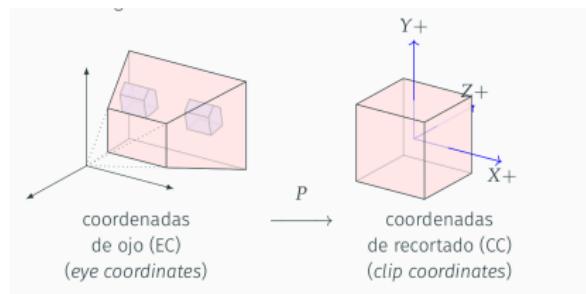
Matriz modelview: C. Locales a C. Vista

$$\text{Matriz modelview} := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -6.49 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = (Id, R', R)$$

$$p_{R'} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -6.49 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot p_R \quad (7)$$

- Traslación en el eje z.

Matriz de proyección I: C. Vista a C. Recorte



- ① Proyección de x, y sobre $z = -n$.

$$\begin{aligned}x''_e &= x' \cdot \frac{-n}{z'} \\y''_e &= y' \cdot \frac{-n}{z'} \\z''_e &= z' \cdot \frac{-n}{z'} = -n\end{aligned}$$

- ② Escalado y traslación de x, y para llevarlos a $[-1, 1]$.

$$\begin{aligned}x'' &= \frac{a_0 \cdot x' + a_1 \cdot z'}{-z'} \\y'' &= \frac{b_0 \cdot y' + b_1 \cdot z'}{-z'}\end{aligned}$$

Matriz de proyección II: C. Vista a C. Recorte

- ③ Eliminación de partes ocultas

- ④ Guardamos el término no lineal.

$$z'' = \frac{c_0 \cdot z' + c_1}{-z'}$$

$$x'' = a_0 \cdot x' + a_1 \cdot z'$$

$$y'' = b_0 \cdot y' + b_1 \cdot z'$$

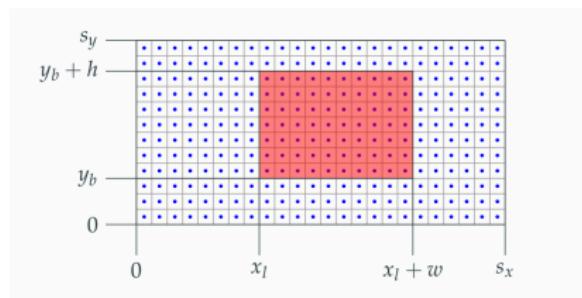
$$z'' = c_0 \cdot z' + c_1$$

$$w'' = -z'$$

$$\begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \\ w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 & 0 & a_1 & 0 \\ 0 & b_0 & b_1 & 0 \\ 0 & 0 & c_0 & c_1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 2.74 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2.74 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -3.74 & -22.6 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

Viewport: C. Recorte a C. Pantalla



$$x''' = (x'' + 1) \cdot \frac{w}{2} + a$$

$$y''' = (y'' + 1) \cdot \frac{h}{2} + b$$

$$z''' = (z'' + 1) \cdot \frac{f - n}{2} + n$$

- Eje x al intervalo $[x_l, x_l + w]$.
- Eje y al intervalo $[y_b, y_b + h]$.
- Eje z al intervalo $[n, f]$.

$$\begin{pmatrix} \frac{w}{2} & 0 & 0 & \frac{w}{2} + a \\ 0 & \frac{h}{2} & 0 & \frac{h}{2} + b \\ 0 & 0 & \frac{f-n}{2} & \frac{f+n}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- Escalado $[\frac{w}{2}, \frac{h}{2}, \frac{f-n}{2}]$
- Traslación $[\frac{w}{2} + a, \frac{h}{2} + b, \frac{f+n}{2}]$

C. Pantalla a C. Finales

- El punto $(0, 0)$ de las coordenadas del dispositivo queremos llevarlo al origen. Por tanto calculamos las coordenadas de pantalla de dicho punto $((250, 250))$ y hacemos una traslación:

$$x^{iv} = x''' - 250$$

$$y^{iv} = y''' - 250$$

- Queremos que los targets estén en la circunferencia de radio 2 y centro el punto de referencia. Hacemos un escalado, con 0.00945962 como factor de escala.

Por tanto tenemos:

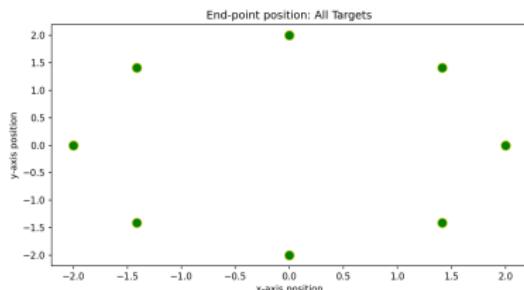
$$\begin{pmatrix} x^{iv} \\ y^{iv} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.0009 & 0 & -250 \\ 0 & 0.0009 & -250 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x''' \\ y''' \\ 1 \end{pmatrix}$$

Contents

- 1 Introducción
- 2 Fundamentos matemáticos
- 3 Implementación del proyecto
- 4 Resultados
- 5 Conclusiones

Tareas a realizar

- 1 Situar el cursor sobre el punto de referencia (en el centro).
- 2 Desaparece el punto de referencia y aparece otro punto situado en una de las 8 posiciones de la imagen (punto objetivo).
- 3 Al situar el cursor sobre el punto objetivo (o al acabarse el tiempo) el punto desaparece y vuelve a aparecer el punto de referencia.



Las trayectorias que guardaremos serán las del punto de referencia al punto objetivo.

Fases del experimento

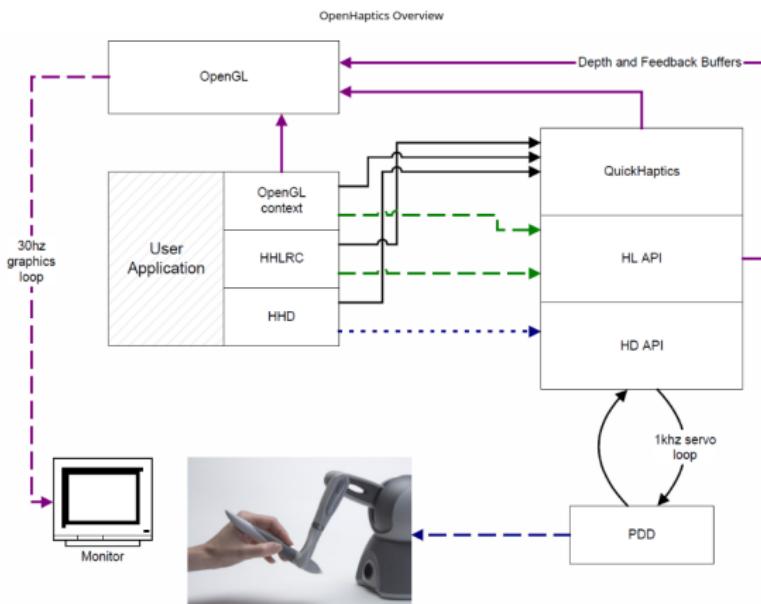
- ① **Fase libre:** no hay ningún target y el sujeto es libre de mover el cursor como quiera.
 - ② **Primera fase:** sin ninguna fuerza y mostrando el cursor.
 - ③ **Segunda fase:** con fuerza (en el eje x, sentido negativo) y mostrando el cursor.
 - ④ **Tercera fase:** sin fuerza y sin mostrar el cursor.
 - ⑤ **Cuarta fase:** con fuerza y sin mostrar el cursor.
- En cada una de las fases se harán 80 repeticiones de la tarea definida antes.

Desarrollo

- Bucle gráfico: 30 Hz.
 - Servoloop: 1000 Hz,
máxima prioridad.

Callbacks:

- Síncronas o asíncronas
 - Return code *Done* o *Continue*



Contents

1 Introducción

2 Fundamentos matemáticos

3 Implementación del proyecto

4 Resultados

5 Conclusiones

Muestra de sujetos elegidos

Fase de prueba		Fase final	
Sexo	Edad	Sexo	Edad
Mujer	23	Mujer	20
Mujer	24	Mujer	22
Hombre	53	Hombre	50
Mujer	52	Hombre	60
Hombre	62	Mujer	60
Mujer	60		
Hombre	90		
Mujer	90		

Parámetros elegidos en la fase de prueba:

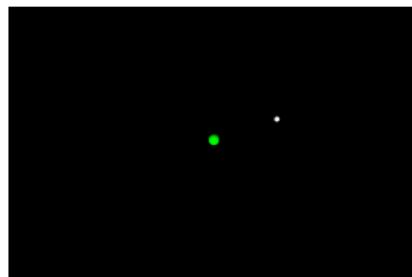
- Nº de repeticiones
- Tiempo
- Nº y disposición de los targets

Nomenclatura de los sujetos

- Sujeto 1: Mujer, 20 años, en orden
- Sujeto 2: Mujer, 22 años, aleatorio
- Sujeto 3: Mujer, 60 años, aleatorio
- Sujeto 4: Hombre, 50 años, en orden
- Sujeto 5: Hombre, 60 años, en orden

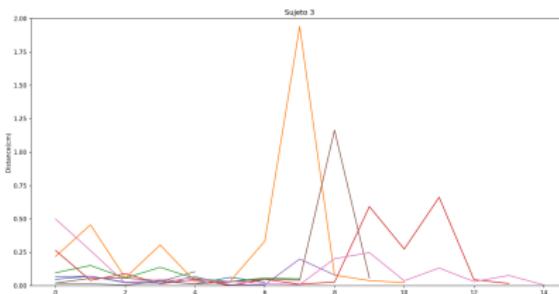
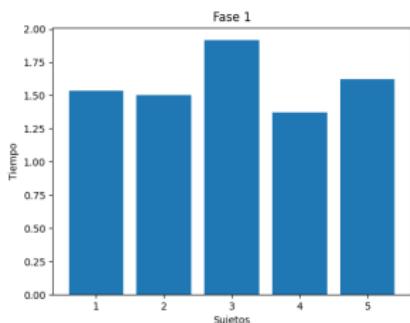
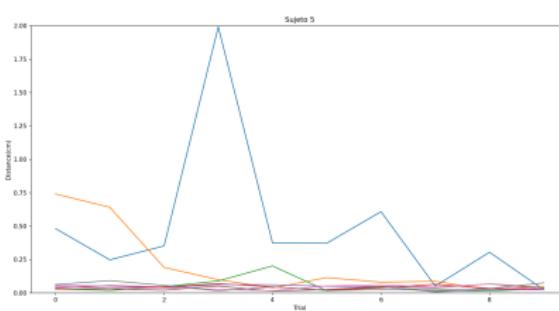
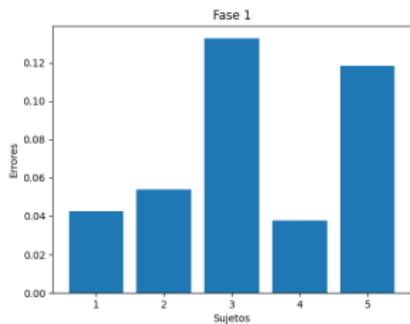


Aplicación



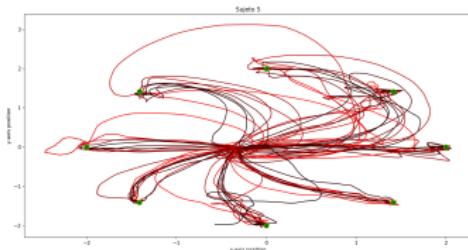
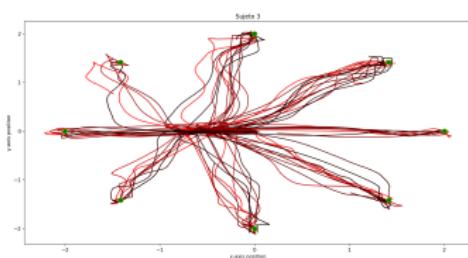
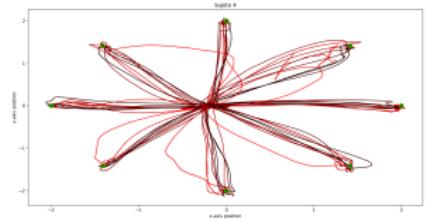
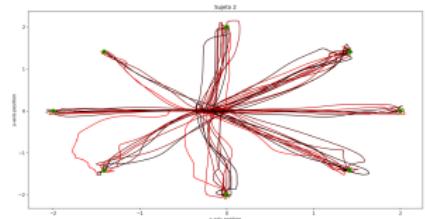
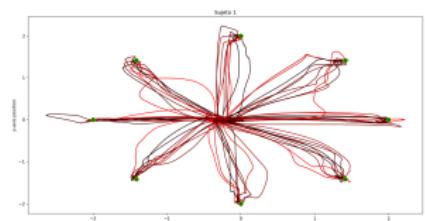
Fase 1: sin fuerza

- Los sujetos jóvenes tienen más precisión y son más rápidos.
- El sujeto 5 muestra una curva de aprendizaje, el 3 no.



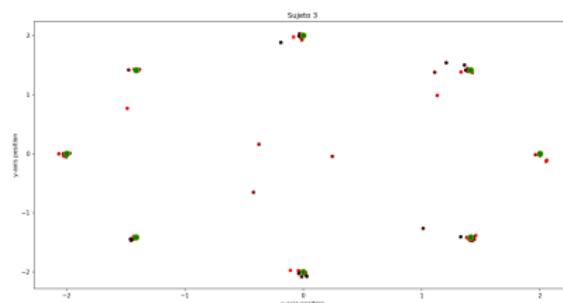
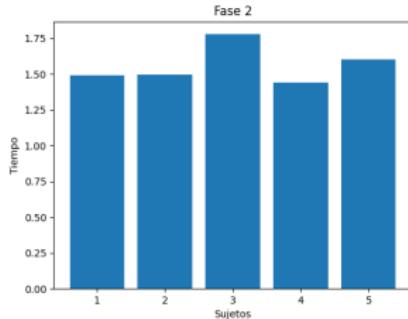
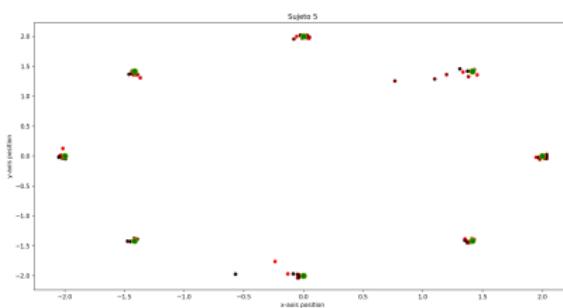
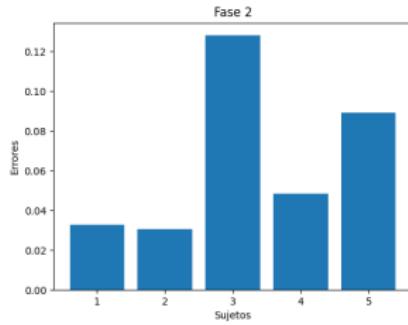
Fase 2: con fuerza

- Las trayectorias de los sujetos jóvenes son más cortas.

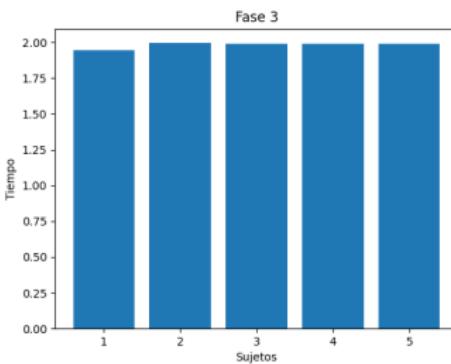
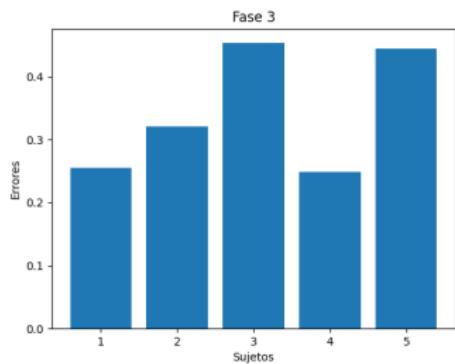


Fase 2: con fuerza

- Los sujetos jóvenes siguen teniendo más precisión.
 - El sujeto 5 ha extrapolado mejor el movimiento.

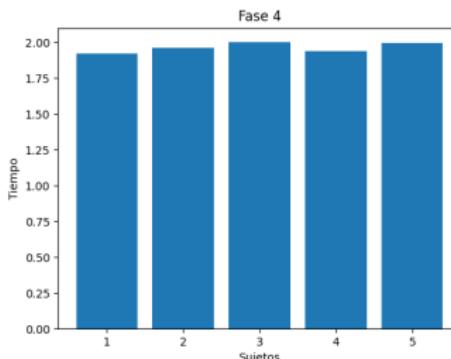
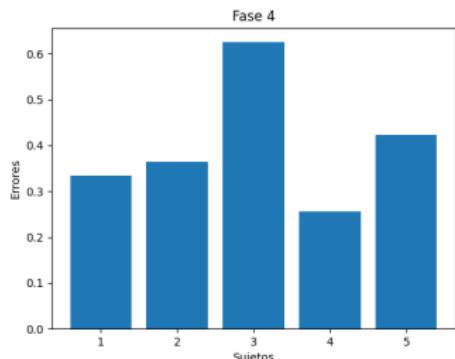


Fase 3: sin fuerza y sin cursor



- Los sujetos jóvenes siguen teniendo más precisión.
- La precisión de los sujetos mayores es similar.
- Casi en ninguna iteración se consigue terminar el movimiento.

Fase 4: con fuerza y sin cursor



- Los sujetos jóvenes siguen teniendo mejores resultados.
- El sujeto 5 mejora considerablemente la precisión.

Contents

1 Introducción

2 Fundamentos matemáticos

3 Implementación del proyecto

4 Resultados

5 Conclusiones

Conclusiones

Todos los objetivos cumplidos:

- Desarrollo de una aplicación con un dispositivo háptico.
- Estudiar si los datos recogidos son útiles, y cómo interpretarlos.
- Desarrollo de un experimento científico:
 - Planificación
 - Plataforma de experimentación
 - Obtención y análisis de resultados

Conclusiones adicionales y vías futuras

Conclusiones adicionales que podemos obtener:

- Diferencia de resultados entre las personas jóvenes y las personas mayores.
- En la mayoría de los sujetos la fuerza afecta más a la precisión cuando se oculta el cursor.
- La aparición en orden (o no) de los puntos afecta más a las personas mayores.

Aplicaciones futuras:

- Estudio con pacientes con daños cerebrales.