

FICH

UNL

**Facultad de Ingeniería  
y Ciencias Hídricas**  
UNIVERSIDAD NACIONAL  
DEL LITORAL

# DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA NEUROREHABILITACIÓN BASADO EN PLATAFORMA DE BALANCE Y MINI-PC

*Proyecto Final de Carrera*  
INGENIERÍA EN INFORMÁTICA

Autor: César Hernán Arrasin

Director: Dr. Albornoz, Enrique Marcelo

Co-Director: Ing. Estepa, Andrés

Asesor Temático: Klgo. Sponton, Sergio

Septiembre 2020

sinc(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)  
C. H. Arrasin, E. M. Albornoz & A. Estepa, "Desarrollo de un sistema para rehabilitación basado en plataforma de balance y mini-pc (Undergraduate project)"  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral, 2021.

# Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer a mi director y amigo Dr. Marcelo Albornoz, quien con sus conocimientos y apoyo me guió a través de cada una de las etapas de este proyecto, motivándome a finalizar mi carrera universitaria.

También quiero agradecer al “Programa Ingeniar” por brindarme todos los recursos y herramientas que fueron necesarios para llevar a cabo el proyecto. No hubiese podido arribar a estos resultados de no haber sido por su ayuda.

Por último, quiero agradecer a mi familia, por apoyarme aún cuando mis ánimos decaían. En especial, quiero hacer mención de mis padres, que siempre estuvieron ahí para darme palabras de ánimo y su apoyo incondicional.

Muchas gracias a todos.

sinc(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)  
C. H. Arrasin, E. M. Albornoz & A. Estepa, "Desarrollo de un sistema para rehabilitación basado en plataforma de balance y mini-pc (Undergraduate project)"  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral, 2021.

# Prefacio

En los últimos años se han presentado diversos sistemas que capturan el movimiento de una persona, siendo inicialmente empleados en la industria de videojuegos a fin de generar nuevas experiencias en un ambiente inmersivo del jugador. En este trabajo se presenta el desarrollo de un sistema de asistencia a profesionales de la neurorehabilitación, basado en dispositivos sensoriales utilizados para los *videojuegos del ejercicio* (*exergames*). El mismo está conformado por una plataforma de balance y software desarrollado ad-hoc que corre sobre una mini-PC. Se seleccionó esta arquitectura con el objetivo de implementar en el futuro un sistema de tele-rehabilitación, el cual permita que los pacientes realicen las rutinas desde la comodidad de su hogar y los especialistas puedan realizar una supervisión remota de las actividades.

La realización de este proyecto final se concibió dentro del Instituto de Investigación en Señales, Sistemas e Inteligencia Computacional **sinc(i)** FICH-UNL/CONICET conjuntamente con el Centro de Rehabilitación e Investigación "Dr. Esteban Laureano Maradona" de la ciudad de Santa Fe. Los profesionales médicos diseñaron un conjunto de ejercicios para la evaluación de pacientes neurológicos con trastornos del equilibrio. Finalmente, se crearon diversos *exergames* cuyas funciones lúdicas hacen para el paciente una terapia más motivadora, a la vez que registran los parámetros de interés para los profesionales.

Una vez finalizado el desarrollo y prueba de los *exergames*, se diseñó una interfaz web para que los especialistas puedan ajustar la exigencia de cada una de las rutinas a las capacidades del paciente. Además, se incorporó un módulo de análisis que permite reproducir los movimientos realizados por el paciente durante la sesión, y poder evaluar la evolución del mismo proporcionando gráficas de interés sobre las rutinas.

Finalmente, es importante destacar que el desarrollo y los resultados de este trabajo han sido presentados en el "10º Congreso Argentino de Informática y Salud" que formó parte de las "48º Jornadas Argentinas de Informática JAIIO" [1]. A su vez, este proyecto fue publicado en el "Con-

curso Nacional de Innovaciones” INNOVAR 2019 [2] de la “Secretaría de Gobierno de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva” de la Nación Argentina y presentado en el concurso “Prototipos para la innovación” del “Programa Ingeniar” del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Provincia de Santa Fe, recibiendo un subsidio por haber sido seleccionado. Obteniendo el primer puesto en la primera fase de dicha competencia. Cabe aclarar, el que luego del cambio de gobierno, no se continuó con la evaluación en la etapa final del programa.

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	4
1.2.1. Objetivos generales . . . . .	4
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	4
1.3. Alcances . . . . .	5
1.3.1. Supuestos . . . . .	5
1.3.2. Requerimientos funcionales . . . . .	5
1.3.3. Requerimientos no funcionales . . . . .	5
1.3.4. Exclusiones . . . . .	6
1.3.5. Limitaciones y restricciones . . . . .	6
<b>2. Marco teórico y uso de exergames en rehabilitación</b>	<b>9</b>
2.1. Instituto médico . . . . .	9
2.2. Marco teórico . . . . .	10
2.2.1. Postura . . . . .	10
2.2.2. Equilibrio . . . . .	11
2.2.3. Centro de masa y centro de presión . . . . .	12
2.2.4. Control postural . . . . .	13
2.2.5. Trastornos del equilibrio . . . . .	15
2.2.6. El rol de la terapia en la rehabilitación . . . . .	16
2.3. Exergames en rehabilitación . . . . .	16
2.3.1. Exergames . . . . .	16

2.3.2.	Problemática del uso de las consolas comerciales en rehabilitación . . . . .	18
2.4.	Definición de los ejercicios con el Instituto . . . . .	18
2.4.1.	Ejercicio 1 . . . . .	18
2.4.2.	Ejercicio 2 . . . . .	20
2.4.3.	Ejercicio 3 . . . . .	21
<b>3.</b>	<b>Herramientas y módulos del sistema</b>	<b>23</b>
3.1.	Herramientas utilizadas . . . . .	23
3.1.1.	Wii Balance Board . . . . .	23
3.1.2.	Mini-pc . . . . .	24
3.1.3.	Raspberry Pi . . . . .	24
3.1.4.	Pygame . . . . .	26
3.1.5.	Wiiboard . . . . .	27
3.1.6.	Dash . . . . .	27
3.2.	Diseño y funcionamiento del sistema . . . . .	28
3.2.1.	Módulo Exergame . . . . .	28
3.2.2.	Módulo de control, análisis y seguimiento . . . . .	30
3.2.3.	Interacción entre módulos exergames - control, análisis y seguimiento . . . . .	30
<b>4.</b>	<b>Diseño y codificación de ejercicios de rehabilitación</b>	<b>35</b>
4.1.	Configuración de la mini-pc y dispositivos . . . . .	35
4.1.1.	WBB . . . . .	36
4.1.2.	Monitor y teclado . . . . .	37
4.1.3.	Webcam . . . . .	37
4.1.4.	Procedimiento de puesta a punto . . . . .	37
4.2.	Diseño y codificación del ejercicio 1 . . . . .	39
4.3.	Diseño y codificación del ejercicio 2 . . . . .	39
4.4.	Diseño y codificación del ejercicio 3 . . . . .	42
<b>5.</b>	<b>Análisis, control y seguimiento de la rehabilitación</b>	<b>45</b>
5.1.	Relevamiento de requerimientos y variables . . . . .	45
5.1.1.	Variables . . . . .	46



5.2. Codificación y diseño de la interfaz . . . . .	47
5.2.1. Diseño de la interfaz . . . . .	48
5.2.2. Representación gráfica . . . . .	50
<b>6. Conclusiones</b>	<b>57</b>
6.1. Trabajos futuros . . . . .	58
<b>Bibliografía</b>	<b>64</b>

sinc(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)  
C. H. Arrasin, E. M. Albornoz & A. Estepa, "Desarrollo de un sistema para rehabilitación basado en plataforma de balance y mini-pc (Undergraduate project)"  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral, 2021.

# Índice de figuras

1.1. Plataforma de Fuerza . . . . .	2
1.2. Plataforma de Fuerza en rehabilitación . . . . .	2
1.3. Producto integral. . . . .	4
2.1. Ilustración del modelo del péndulo invertido . . . . .	10
2.2. Descripción gráfica de cómo se deriva el centro de presión (CdP) y componentes . . . . .	11
2.3. Sistema vestibular. . . . .	14
2.4. Wii Balance Board en rehabilitación . . . . .	17
2.5. Representación de la mira y objetivo . . . . .	19
2.6. Representación del recorrido hacia un objetivo (ejercicio 1). . . . .	19
2.7. Exergame con el ejercicio 2 (entrenamiento). . . . .	20
2.8. Representación del recorrido por los objetivos del exerga- me (entrenamiento cognitivo). . . . .	21
3.1. Wii Balance Board . . . . .	24
3.2. Raspberry Pi. . . . .	25
3.3. Esquema del Sistema. . . . .	29
3.4. Casos de uso: módulo exergame. . . . .	31
3.5. Casos de uso: módulo de control, análisis y seguimiento. . . . .	32
3.6. Base de datos: diagrama entidad relación. . . . .	33
4.1. Dispositivos conectados a la mini-pc (Raspberry Pi). . . . .	36
4.2. Ubicación de los objetivos en el ejercicio 1. . . . .	40
4.3. Inicio del Ejercicio 1 con el primer objetivo destellando. . . . .	40

4.4.	Inicio del ejercicio 2 con mayor probabilidad de ubicación de los objetivos en el cuadrante inferior-izquierdo. . . . .	41
4.5.	Inicio del ejercicio 3 con mayor probabilidad de ubicación de los objetivos en el cuadrante inferior-izquierdo. . . . .	42
5.1.	Representación de la medición del recorrido hacia un objetivo del exergame de evaluación funcional. . . . .	47
5.2.	Diagrama de interacción entre componentes de la interfaz (Callbacks). . . . .	48
5.3.	Página de carga de una nueva sesión. . . . .	49
5.4.	Ventana de administración de pacientes. . . . .	50
5.5.	Página principal, con la gráfica del recorrido del paciente en Distancia X e Y . . . . .	51
5.6.	Pantalla de selección de la sesión. . . . .	51
5.7.	Pantalla de selección de las etapas del ejercicio. . . . .	52
5.8.	Pantalla de selección de las gráficas por etapa. . . . .	52
5.9.	Trayectoria del paciente en la etapa seleccionada. . . . .	53
5.10.	Distancia en el eje X en la etapa seleccionada. . . . .	53
5.11.	Distancia en el eje Y en la etapa seleccionada. . . . .	54
5.12.	Parte estática de la etapa . . . . .	54

# Introducción

En este capítulo se presenta la motivación del desarrollo de este Proyecto Final de Carrera. Seguidamente, se exponen los objetivos generales y específicos, como así también los alcances del proyecto.

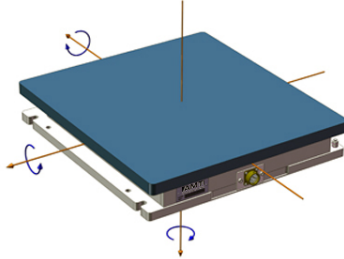
## 1.1. Motivación

Las personas que sufren trastornos del equilibrio ven notoriamente afectada su calidad de vida. Esto les genera una alta dependencia para realizar tareas cotidianas, mayor probabilidad de caídas y las consecuentes fracturas, sobre todo en pacientes ancianos, conduciendo a una vida más sedentaria [3] [4]. En el proceso de neurorehabilitación del equilibrio, la terapia física juega un papel importante en el tratamiento, mejorando las capacidades del paciente para realizar tareas cotidianas, afrontando las dificultades que presenta realizarlas con este trastorno. Esta terapia contempla la realización de una variedad de ejercicios que sirven tanto para el tratamiento, como para determinar la evolución del paciente [4,5]. Los profesionales terapéuticos evalúan la evolución del paciente con base en una serie de ejercicios, que se pueden complementar mediante la utilización de celdas o plataformas de fuerza (PF) (figura 1.1). Los pacientes realizan ejercicios sobre las plataformas y éstas miden las fuerzas de reacción y momentos, los cuales se utilizan para calcular el centro de presión (CdP) del paciente (figura 1.2). La terapia física se nutre de este valor para diagnosticar de manera objetiva la capacidad de equilibrio del paciente y poder medir su evolución. Las plataformas consideradas “*gold-standard*” rondan los US\$20.000<sup>1</sup>, y entre las empresas que venden estos

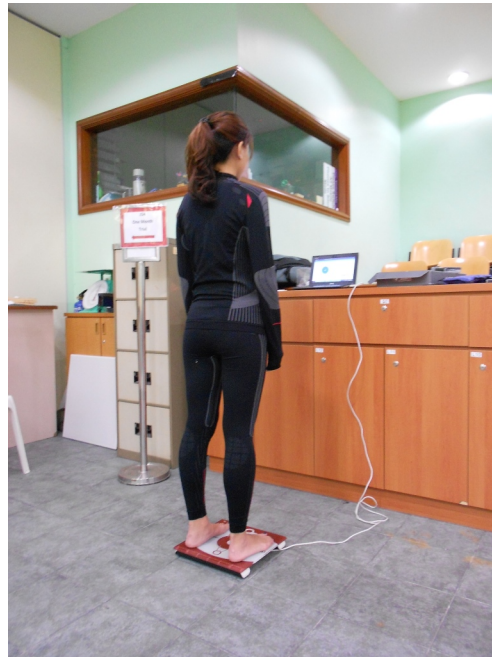
---

<sup>1</sup>AMTI por Optimized Accusway, con software clínico y de entrenamiento US\$11.850 (actualizado el 12/07/2018), AMTI por OPT400600 sin software US\$16.380 (actualizado el 12/07/2018)

equipos podemos nombrar AMTI<sup>2</sup>, Kistler<sup>3</sup> y Bertec<sup>4</sup>. Estos altos costos limitan su uso solo a algunos centros de rehabilitación y su portabilidad se ve condicionada por su peso de aproximadamente 30 kg.



**Figura 1.1:** Plataforma de Fuerza por AMTI.



**Figura 1.2:** Plataforma de Fuerza en rehabilitación por BioMera, 2012.

Este trabajo propone utilizar dispositivos que puedan ser utilizados como medios alternativos de sensado y que tienen bajo costo, y que

<sup>2</sup><http://www.amti.biz/optima.aspx>

<sup>3</sup><https://www.kistler.com/en/applications/sensor-technology/biomechanics-and-force-plate/gait-analysis>

<sup>4</sup><http://bertec.com/>

si bien han sido pensados con un objetivo inicialmente lúdico, actualmente muchos trabajos científicos validan su uso. La motivación para su desarrollo es la posibilidad de generar videojuegos activos o *exergames*, término que refiere a los videojuegos que incluyen la ejercitación física, y han existido desde la década del '80 y han despertado un notable interés desde el lanzamiento de dispositivos como la Dance Dance Revolution (1998), Wii Nintendo (2006), Nintendo Wii balance board (WBB, 2007) y Microsoft Kinect (2010) [6]. Consecuentemente, se han convertido en una importante ayuda para muchos profesionales del campo de la salud: fisioterapeutas, profesores de educación física, médicos, etc. [7].

En la ciudad de Santa Fe, se encuentra el Centro de Rehabilitación e Investigación “Dr. Esteban Laureano Maradona” donde los especialistas están interesados en utilizar la WBB, pero no sólo como simples usuarios de juegos puramente lúdicos, sino mediante exergames específicamente diseñados para determinar la evolución y realizar el seguimiento de los pacientes con trastornos de equilibrio. En este sentido, y dado que ya existe un marco de colaboración entre el Centro y el Instituto **sinc**(*i*) donde se realizará este proyecto, se propone implementar un sistema de rehabilitación que tenga la capacidad de proveer información acerca de la realización de los ejercicios y realizar un seguimiento de la evolución del paciente, necesidades manifiestas por los especialistas del Centro.

En este contexto, se vislumbra también, un nicho de mercado al desarrollo de un producto integral que contemple el uso de tecnologías de bajo costo y más ligeras, como alternativas a otras más tradicionales, costosas y pesadas. Además, este producto tiene en cuenta no solo los ejercicios de rehabilitación que se mencionaron anteriormente (contemplando la posibilidad de adaptar los ejercicios a las capacidades de cada paciente), sino también herramientas que permiten determinar la evolución y el seguimiento del paciente a partir de los datos de los dispositivos utilizados.

Este desarrollo contempla el uso de una variedad de dispositivos (mini-pc, WBB, TV y cámara de video) (figura 1.3) para los que fue necesario diseñar e implementar protocolos de comunicación ayudando a la integración de los mismos.

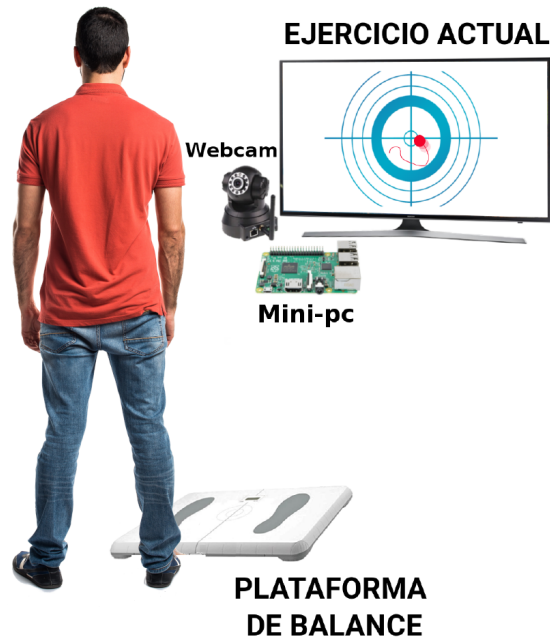


Figura 1.3: Producto integral.

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivos generales

- Desarrollar un sistema para la rehabilitación del equilibrio utilizando una plataforma de balanceo y una mini-pc

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Analizar los trabajos del estado del arte, relacionados a la rehabilitación mediante el uso de plataformas de balanceo
- Estudiar los métodos y librerías que permiten el manejo de dispositivos Wii Balance Board, mini-pc y protocolos de comunicación, focalizando en las de código abierto
- Definir y diseñar los ejercicios para la rehabilitación, en conjunto con los profesionales médicos
- Diseñar y desarrollar un sistema de software para la realización de los ejercicios, que pueda ser flexible para adaptarlos a diferentes pacientes



- Validar la factibilidad del uso de este sistema para la rehabilitación del equilibrio con diferentes personas y de ser posible en situaciones reales con pacientes
- Dar respuesta a una necesidad de la sociedad y fortalecer la cooperación con el Centro de Rehabilitación e Investigación “Dr. Esteban L. Maradona”

## 1.3. Alcances

### 1.3.1. Supuestos

- La mini-pc seleccionada y su Sistema Operativo no deberá tener limitaciones en cuanto a drivers para el uso de un Bluetooth dongle o, en caso que la mini-pc lo disponga, su Bluetooth nativo.

### 1.3.2. Requerimientos funcionales

- Los exergames serán diseñados y desarrollados para proveer, en tiempo real, el resultado (Biofeedback) del movimiento del cuerpo. Esta forma interactiva, permitirá al paciente balancearse para alcanzar el objetivo deseado.
- El sistema contará con un módulo de cómputo de métricas estadísticas que permitirá a los profesionales evaluar la evolución del paciente.
- El sistema almacenará meta-datos, las métricas estadísticas y cada dato sensado del ejercicio, para poder evaluar parcial o completamente la realización del mismo.
- Se realizará el registro en video de la rutina para una mejor evaluación del médico en caso de ser necesario.

### 1.3.3. Requerimientos no funcionales

- Se contemplarán e implementarán todos los protocolos de comunicación necesarios. Se validarán, adaptarán y utilizarán librerías opensource siempre que sea factible y se codificarán todas las rutinas necesarias.

### 1.3.4. Exclusiones

- No se realizarán implementaciones ni desarrollos relacionados con la electrónica de los dispositivos.

### 1.3.5. Limitaciones y restricciones

- El sistema será desarrollado para funcionar en una mini-pc (Raspberry Pi o similar) y la plataforma WBB o compatible. La visualización del exergame se realizará en un monitor estándar.
- Se seleccionarán tres de ejercicios terapéuticos, diseñados por los profesionales del centro:
  - 2 ejercicios de los llamados de entrenamiento
  - 1 ejercicio de evaluación funcional (similar a la prueba de Romberg)
- Se desarrollarán dos exergames:
  - Uno con diferentes dificultades y niveles, donde se realizarán los dos ejercicios de entrenamiento (mencionados en el punto anterior).
  - El otro tendrá un único nivel y no se podrá modificar la dificultad del mismo. En este exergame se realizará el ejercicio de evaluación funcional.

sinc(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)  
C. H. Arrasin, E. M. Albornoz & A. Estepa, "Desarrollo de un sistema para rehabilitación basado en plataforma de balance y mini-pc (Undergraduate project)"  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral, 2021.



# Marco teórico y uso de exergames en rehabilitación

En este capítulo se presenta el ámbito y la metodología de trabajo empleada con los profesionales del Centro que colaboraron en el proyecto. Posteriormente se describen detalles sobre el equilibrio, conceptos de fisiología y rehabilitación del equilibrio. Seguidamente, se exponen algunos problemas del uso de consolas comerciales en rehabilitación, tema sobre el cual surge la necesidad de realizar este trabajo. Finalmente se describe detalladamente la definición de los ejercicios con el Instituto.

## 2.1. Instituto médico

El presente trabajo ha sido realizado conjuntamente entre el instituto **sinc**(*i*) y el Centro de Rehabilitación e Investigación “Dr. Esteban Laureano Maradona” ubicado en la ciudad de Santa Fe. Una de las principales tareas de este Centro, es la rehabilitación de pacientes subagudos que son clínica y neurológicamente estables, que no requieren internación pero que sí necesitan un intenso plan de rehabilitación. En este contexto, bajo la estricta supervisión de un fisioterapeuta de la institución, diversas rutinas de equilibrio fueron definidas y desarrolladas.

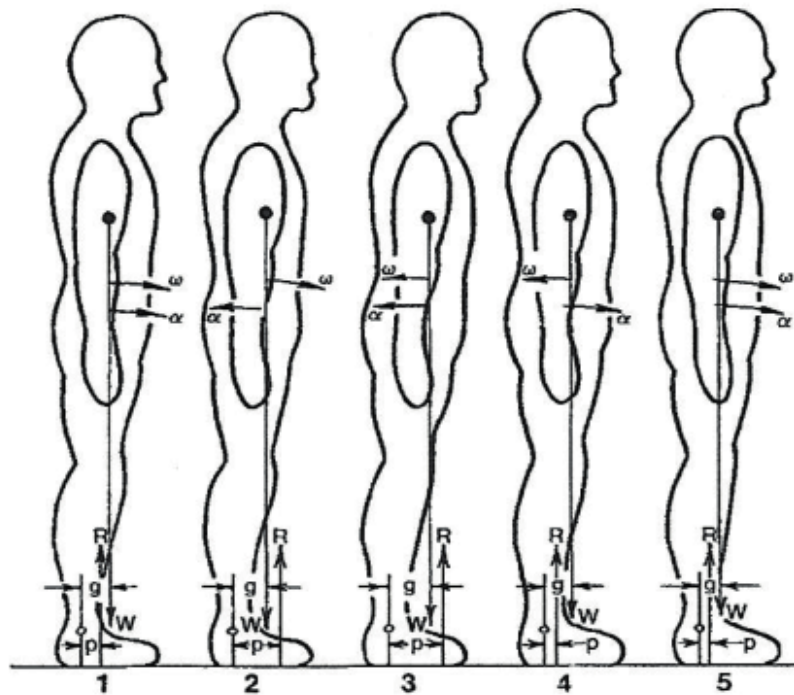
Durante el desarrollo del trabajo, se llevaron a cabo reuniones donde los especialistas establecían los objetivos y requerimientos de las rutinas desarrolladas. A partir de estas definiciones, se realizaron prototipos para que los especialistas evaluaran los resultados, sugirieran cambios, y así sucesivamente.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Postura

La bipedestación o postura ortostática define una posición particular y estable del cuerpo en el espacio en un momento dado [8], representada por un modelo de péndulo invertido simple. En la figura 2.1 se puede observar la oscilación del cuerpo de delante atrás alrededor de sus tobillos. Ésta posición representa dos funciones principales que juegan un papel prioritario en la organización y la realización de movimientos:

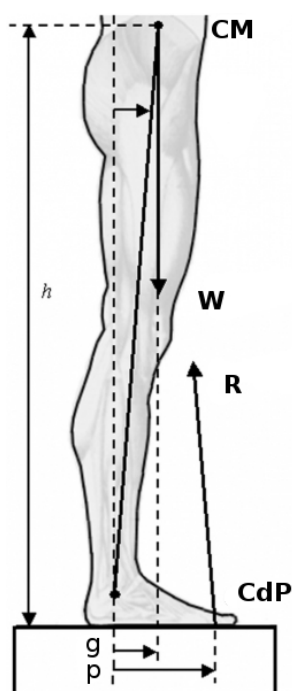
- Una función antigravitatoria que permite luchar contra las fuerzas grávitico-inerciales,
- Una función de interfaz con el mundo exterior que permite orientar los segmentos corporales en relación al entorno.



**Figura 2.1:** Ilustración del modelo del péndulo invertido. W: peso del sujeto, R: componente vertical de las fuerzas de reacción al suelo, g: localización del CM, p: localización del CdP,  $\alpha$ : aceleración angular del péndulo invertido,  $\omega$ : velocidad angular.

### 2.2.2. Equilibrio

Desde un punto de vista postural, el equilibrio de un individuo representa su capacidad para mantener la proyección de su centro de masa (CM) corporal en los límites de su polígono de sustentación. Los mecanismos fisiológicos hacen que el hombre bípedo no esté nunca en equilibrio, él se estabiliza mediante mecanismos de regulación multimodales. Las oscilaciones alrededor de la dirección grávitico-inercial ilustran la corrección de toda desviación en relación a la vertical y están estrechamente relacionadas con los desplazamientos del centro de presión (CdP) y del CM [9]. En la figura 2.2 se puede apreciar con más detalle los componentes físicos que interfieren cuando el cuerpo oscila hacia adelante alrededor de sus tobillos.



**Figura 2.2:** Descripción gráfica de cómo se deriva el centro de presión (CdP) y componentes. W: peso del sujeto, R: fuerzas de reacción al suelo, g: localización del CM, p: localización del CdP.

### 2.2.3. Centro de masa y centro de presión

Las denominaciones de centro de masa y centro de gravedad, suelen ser utilizadas como análogas en los textos sobre biomecánica [10–12]. En general, el centro de gravedad no coincide con el centro de masa porque el campo gravitatorio no es uniforme. Sin embargo, por la relación de tamaño entre la Tierra y el cuerpo humano y la cercanía entre ambos, se puede suponer que el campo gravitatorio es constante y por tanto los dos puntos coincidirán. Davidovits [10] expone que la tierra ejerce una fuerza de atracción de la masa de un objeto, de hecho, cada pequeño elemento de la masa del objeto es atraído por la tierra. La suma de estas fuerzas es el peso total del cuerpo, el cual se puede considerar como una fuerza que actúa a través de un único punto llamado centro de masa o centro de gravedad. Dicho de otra manera, el centro de gravedad o centro de masa (CM) es un concepto útil para el análisis del movimiento humano, ya que es el punto en el que se puede considerar que se concentra toda la masa o el peso del cuerpo. Por lo tanto la fuerza de la gravedad actúa hacia abajo a través de este punto [13].

Actualmente hay varias perspectivas relativas a la ubicación del CM del cuerpo humano para hombres y mujeres en posición anatómica [14]:

- Por delante de la segunda vértebra sacra en hombres y, 3 cm más abajo en mujeres [15].
- En un punto situado del 56 % al 57 % de la altura corporal medida desde el suelo en hombres y, 55 % en mujeres [16].

Las diferencias por género se deben a que las mujeres poseen una cintura pélvica más amplia y una pelvis más ancha, sus extremidades son más cortas y, su índice de masa magra/masa adiposa es menor; los hombres poseen una cintura escapular más amplia, sus extremidades son más largas y su índice de masa magra/masa adiposa es mayor.

Esta ubicación del centro de gravedad varía constantemente con la ejecución de diferentes actividades cotidianas y de gestos deportivos. Durante la marcha por ejemplo, en el apoyo unilateral en la locomoción, el cuerpo desciende al propulsarse sobre la pierna extendida, generando un ascenso del centro de gravedad de aproximadamente 5 cm.

El centro de presión (CdP) es el término dado al punto de aplicación del vector de fuerza de reacción al suelo. El vector de fuerza de reacción al suelo representa la suma de todas las fuerzas que actúan entre un objeto físico y su superficie de apoyo.

La posición de CdP puede obtenerse, de manera directa, desde los datos obtenidos por las plataformas de fuerzas, durante las pruebas de

---



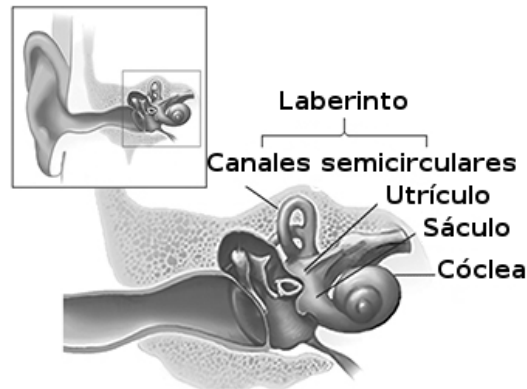
postura o marcha. Determinar la posición del CM de todo el cuerpo requiere el conocimiento de la posición y masa de los segmentos corporales. Estos datos rara vez se obtienen en pruebas de postura o locomoción y, en consecuencia, la posición del CM no se determina de manera directa con frecuencia. Se han desarrollado métodos que estiman la posición del CM a partir de los datos del CdP [12, 17].

### 2.2.4. Control postural

El control postural implica una coordinación motriz eficaz para permitir orientar los segmentos corporales, de esta manera, lucha contra la acción de la gravedad minimizando las oscilaciones posturales. Equilibrar el cuerpo humano, tanto en entornos estáticos como dinámicos, se logra a través de la colaboración entre diferentes sistemas del cuerpo: visual, vestibular y sistemas propioceptivos [18].

#### Sistema vestibular

El sistema vestibular (también llamado laberíntico), situado dentro del oído interno, está constituido por el utrículo y el sáculo por una parte y por los canales semicirculares por otra (figura 2.3). Participa de forma activa en la orientación y en el mantenimiento del equilibrio estático y dinámico representando un sistema especializado en la detección de las aceleraciones lineales y angulares de la cabeza en los tres planos del espacio [19]. El sistema vestibular se encarga principalmente de los movimientos reflejos que rigen el equilibrio del cuerpo y la fijación de mirada. Funcionalmente podemos dividir en dos a este sistema: el primero es el laberinto cinético que proporciona información sobre las aceleraciones y desaceleraciones de la cabeza y el segundo es el laberinto estático que detecta la orientación de la cabeza en relación con la atracción de la gravedad.



**Figura 2.3:** Sistema vestibular.

## Sistema visual

El sistema visual puede dividirse en dos tipos de visión [20]:

- **Visión central:** es la que posibilita la lectura, definir y decodificar signos escritos hacia la comprensión. Además es la que permite ver colores, utilizando la región foveal de la retina.
- **Visión periférica:** brinda la capacidad de localizar, reconocer y responder a la información en las distintas áreas del campo visual alrededor del objeto sobre el cual se fija la atención. Juega un papel muy importante en la coordinación visuomotora, la postura y locomoción en el espacio [21].

La visión juega un papel importante en nuestra capacidad para equilibrarnos, orientarnos en el espacio y procesar el movimiento de las cosas en nuestro entorno. El sistema vestibular y el sistema visual se coordinan entre sí a través de las vías del cerebro para controlar la capacidad de los ojos para mantener la mirada fija en un único punto. Esta conexión, conocida como el reflejo vestibulo-ocular, tiene un papel crítico en mantener los ojos inmóviles durante el movimiento de la cabeza y nos ayuda a mantener nuestro equilibrio.

## Sistema propioceptivo

El sistema propioceptivo está combinado por una cadena de receptores nerviosos que residen en los músculos, articulaciones y ligamentos, los cuales se encargan de detectar: el grado de tensión muscular y el grado de estiramiento muscular. Por lo que, es capaz de sentir la posición relativa de partes corporales contiguas, informando al organismo la posición de los mismos. A diferencia de los cinco sentidos de exterocepción (visión, gusto, olfato, tacto y audición) por los que percibimos el mundo exterior, la propiocepción es un sentido de interocepción por el que se tiene conciencia del estado interno del cuerpo.

A su vez, la propiocepción forma parte del sistema somatosensorial junto con el tacto, la temperatura, la nocicepción<sup>1</sup> (nociceptores: “receptores del dolor”<sup>2</sup>). Existen autores que integran a todo el sistema somatosensorial como partícipe del equilibrio [18], involucrando, además del sistema propioceptivo, el sentido del tacto (sobre todo de la planta del pie) como fuente de información necesaria [22].

### 2.2.5. Trastornos del equilibrio

Los trastornos del equilibrio se deben a la falla de algunos de los sistemas que componen el control postural. En este sentido, existen varias causas que generan trastornos del equilibrio; neurodegeneración relacionada con la edad, enfermedad de Parkinson o esclerosis múltiple, neurotrama causado por accidente cerebrovascular o lesión cerebral traumática, lesión de la médula espinal, trastornos del neurodesarrollo como ataxia espinocerebelosa, problemas neuroestructurales y circulatorios, algunas enfermedades autoinmunes e incluso algunas infecciones. Estos repercuten de forma importante en la calidad de vida de las personas. Algunas de sus consecuencias [3, 4, 23]:

- conducen habitualmente a un modo de vida sedentario: el paciente está bien acostado o sentado, pero empeora significativamente de pie y, sobre todo, caminando.
- reducen en gran medida muchas de las actividades cotidianas (laborales y de ocio).

---

<sup>1</sup>El proceso neuronal de señalización de daño tisular o irritación química que se percibe como dolor o picazón se conoce como nocicepción.

<sup>2</sup>Los nociceptores o nocirreceptores son receptores que responden a estímulos nocivos.

---

- suponen un aumento de la morbilidad, al aumentar el riesgo de caídas y las subsiguientes fracturas, sobre todo en pacientes ancianos.
- incluso pueden conducir a situaciones de riesgo vital, por ejemplo, en trabajadores de alturas: antenistas, albañiles,...

### 2.2.6. El rol de la terapia en la rehabilitación

En el proceso de neurorehabilitación del equilibrio, la terapia física juega un papel importante en el tratamiento, mejorando las capacidades del paciente para realizar tareas cotidianas, afrontando las dificultades que presenta realizarlas con este trastorno. Esta terapia contempla la realización de una variedad de ejercicios que sirven tanto para el tratamiento, como para determinar la evolución del paciente [4, 5]. Los profesionales terapéuticos evalúan la evolución del paciente con base en una serie de ejercicios, que se pueden complementar mediante la utilización de celdas o plataformas de fuerza (PF). Los pacientes realizan ejercicios sobre las plataformas y éstas miden las fuerzas de reacción y momentos, los cuales se utilizan para calcular el centro de presión (CdP) del paciente. La terapia física se nutre de este valor para diagnosticar de manera objetiva la capacidad de equilibrio del paciente y poder medir su evolución.

## 2.3. Exergames en rehabilitación

### 2.3.1. Exergames

Uno de los principales problemas en la rehabilitación de pacientes es lograr la adherencia de los mismos a la terapia y mantenerlos motivados. En este contexto, un nuevo género de videojuego denominado *exergame* se ha convertido en un importante ayuda para muchos profesionales del campo de la salud: fisioterapeutas, profesores de educación física, médicos, etc [7]. Particularmente, la Wii Balance Board (dispositivo de la consola Wii) ha sido validada como herramienta útil para la rehabilitación, y utilizando los juegos de la consola Wii como exergames se exponen mejoras respecto a realizar los ejercicios tradicionales [24–26](figura 2.4).

Los *exergames* poseen características intrínsecas de los videojuegos, pero además este tipo de aplicaciones busca entrenar alguna habilidad particular del individuo. Las consolas de videojuego: como Wii y Xbox, utilizan dispositivos sensoriales: Wii balance board (WBB) y Microsoft Kinect respectivamente, buscando detectar movimientos del usuario. Es



**Figura 2.4:** Wii Balance Board en rehabilitación por bestforbackpain.com.

mediante estos movimientos que el usuario interactúa con el mundo virtual del juego. Interpretando una realimentación visual de sus movimientos [27].

El éxito de los *exergames* depende de la atracción o diversión que genera al usuario y puede definirse como el balance entre las habilidades del jugador respecto de los desafíos del juego (componente psicológico del juego) [28]. A diferencia de otros videojuegos, los *exergames* incluyen un componente fisiológico que, para el ámbito de la neurorehabilitación, representa la evolución del paciente. Esta evolución, depende del balance entre las capacidades del paciente y la intensidad de la actividad. Si el *exergame* de rehabilitación es divertido, el paciente puede lograr un estado de afinidad con el juego. Esto es muy importante ya que genera concentración y foco en el ejercicio, alterando su percepción del paso del tiempo. Consecuentemente, es posible lograr una mayor frecuencia en la realización de los ejercicios y mayor motivación del paciente. Pero si el componente fisiológico no es efectivo, podría llevar a un deterioro de las capacidades del paciente sin importar la frecuencia de juego. Este doble objetivo es determinante tanto para la parametrización de los desafíos o dificultad del juego y la intensidad del ejercicio, como así también para el monitoreo del cumplimiento de los objetivos (habilidades del paciente) y la evolución de las capacidades del paciente. De esta manera se puede adaptar el juego a las habilidades y evolución del paciente, manteniéndolo comprometido con el ejercicio y evolucionando favorablemente (regla “*dorada del flujo*” de la teoría del flujo [29]).

### 2.3.2. Problemática del uso de las consolas comerciales en rehabilitación

Ya que estas consolas comerciales solamente persiguen el fin lúdico, no existe la posibilidad de adaptar los ejercicios a las capacidades de cada paciente. A su vez, no almacenan, ni permiten registrar los datos que sensan sus dispositivos. Estos datos podrían ser de utilidad para medir la evolución del paciente.

## 2.4. Definición de los ejercicios con el Instituto

A partir de lo expuesto, sobre la problemática de los exergames de consolas comerciales se propuso realizar los exergames a medida con la capacidad de adaptar los ejercicios a los pacientes.

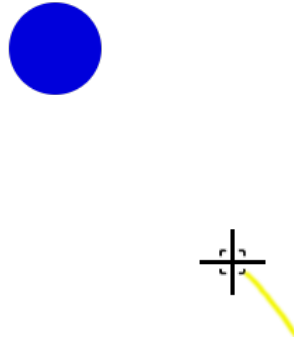
Para hacer ésto de forma apropiada se realizaron reuniones con los profesionales del Centro de Rehabilitación e Investigación “Dr. Esteban Laureano Maradona” y como resultado se obtuvo el diseño de 3 ejercicios terapéuticos que se pueden implementar a partir del uso de la plataforma de balance.

En todos los ejercicios el paciente debe mover un objeto que se representa con una forma de mira que se despliega en una pantalla (TV, monitor o proyección), balanceando el cuerpo hacia un objetivo (representado por un círculo, figura 2.5). A su vez, el paciente debe mantener el balance sobre dicho objetivo por un tiempo determinado. Los tres ejercicios se componen de un ejercicio de evaluación funcional, y dos de los llamados de entrenamiento. A su vez, uno de los ejercicios de entrenamiento tiene una tarea cognitiva extra mientras ejercita el balance.

### 2.4.1. Ejercicio 1

Este es un ejercicio catalogado como de evaluación o valoración funcional [30, 31]. Este tipo de ejercicios o pruebas exponen al paciente a posiciones donde se ven expuestas debilidades, desequilibrios y sobrecompensaciones musculares, donde en consecuencia se hace evidente la falta de estabilidad y la movilidad apropiadas. Es así, que mediante estas pruebas se pretende analizar los desequilibrios bilaterales así como la movilidad-estabilidad del paciente. De forma tal de poder abordar un plan de entrenamiento de manera mas eficiente. Además este tipo de ejercicios permiten evaluar la evolución de la persona tras un tiempo de

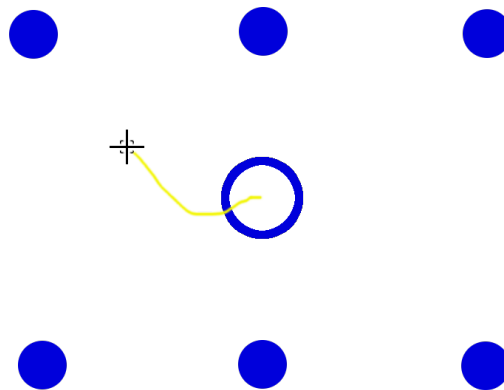
---



**Figura 2.5:** Representación del objeto que mueve el paciente (mira), y el objetivo que debe alcanzar.

rehabilitación, dado que los movimientos del paciente son siempre los mismos.

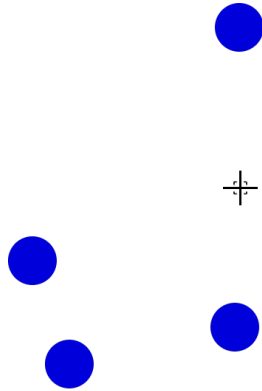
El ejercicio consiste en que el paciente debe inclinar su cuerpo en 6 direcciones preestablecidas: adelante-izquierda, adelante, adelante-derecha, atrás-izquierda, atrás, atrás-derecha (ver figura 4.2). Manteniendo el balance en dicha posición por un tiempo para luego regresar a la posición inicial (base). Seguidamente deberá balancear el cuerpo en la dirección del siguiente objetivo.



**Figura 2.6:** Representación del recorrido hacia un objetivo (ejercicio 1).

### 2.4.2. Ejercicio 2

Este ejercicio, uno de los de tipo entrenamiento, consiste en que el paciente debe balancear su cuerpo para llevar la mira de un objetivo a otro, sin tener que regresar a una posición inicial; el objetivo base no aparece en este ejercicio (figura 2.7). Cabe aclarar que la posición de los objetivos no es fija, varía en cada sesión.

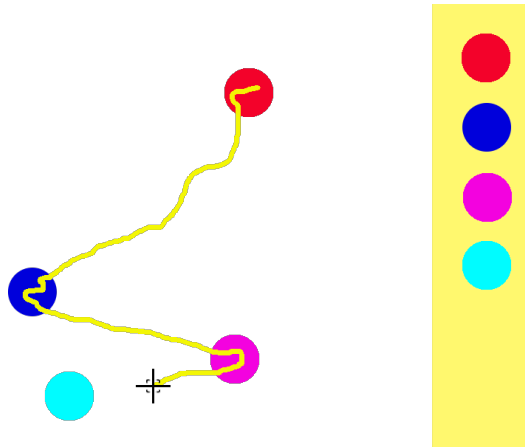


**Figura 2.7:** Exergame con el ejercicio 2 (entrenamiento).



### 2.4.3. Ejercicio 3

En este segundo ejercicio de entrenamiento es similar al ejercicio anterior: el objetivo base no aparece en el ejercicio y la posición de los objetivos varía en cada sesión. Si bien, este ejercicio plantea una tarea cognitiva extra, en la que el paciente debe respetar el orden en el que están planteados los objetivos y este orden se establece mediante colores.



**Figura 2.8:** Representación del recorrido por los objetivos del exergame (entrenamiento cognitivo).

sinc(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)  
C. H. Arrasin, E. M. Albornoz & A. Estepa, "Desarrollo de un sistema para rehabilitación basado en plataforma de balance y mini-pc (Undergraduate project)"  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral, 2021.

# Herramientas y módulos del sistema

En este capítulo se describen todas las herramientas y librerías utilizadas durante el desarrollo del sistema. Posteriormente se presenta el diseño general del sistema y las herramientas utilizadas en cada módulo.

## 3.1. Herramientas utilizadas

### 3.1.1. Wii Balance Board

La Wii Balance Board (WBB) es un dispositivo de la consola Wii (figura 3.1). Lo más destacable de la WBB es que posee componentes similares a los de una PF, pesa sólo 3,5 kg., tiene 4 sensores capaces de medir las fuerzas de reacción del jugador, y envía esta información a la consola por bluetooth [32, 33]. El precio de este accesorio, mucho menor que el de las PF, ronda un valor de US\$80. Existen trabajos previos en los que se han desarrollado diversos software, ejecutados en computadoras, para obtener los datos de los sensores vía bluetooth y calcular el CdP del paciente [34]. Se ha podido comprobar su fiabilidad y validez para la rehabilitación del balance [35], a pesar de las limitaciones técnicas de la WBB, como ser: la falta de sensado de momentos y de fuerzas de corte; una gran componente de ruido en las señales sensadas y una frecuencia de muestreo variable, entre otras.

Sin embargo, a la WBB le queda poco tiempo en el mercado ya que no es compatible con la nueva consola Nintendo Switch,<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup>Nintendo.com: Technical Specs (accedida 31/07/2018) <https://www.nintendo.com/switch/features/tech-specs/>

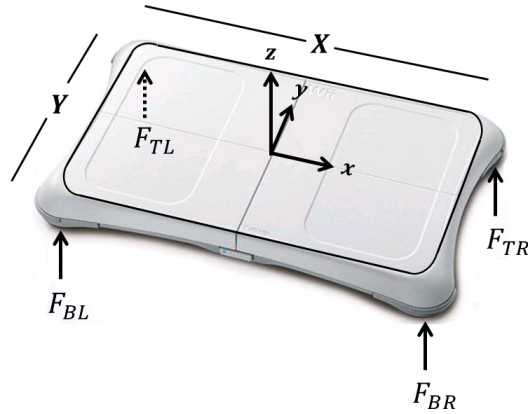


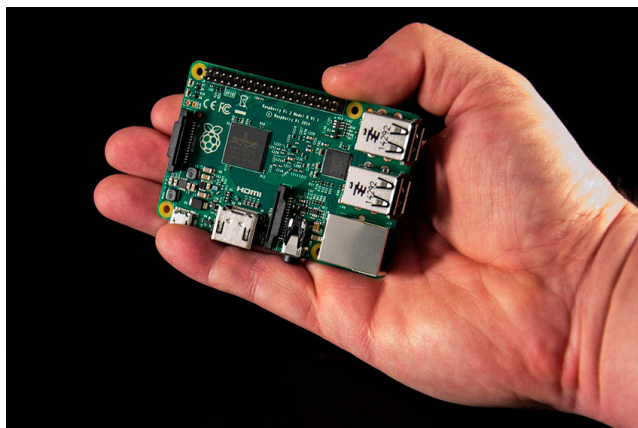
Figura 3.1: Wii Balance Board por Leach, 2014.

### 3.1.2. Mini-pc

El objetivo de este trabajo es abordar la implementación de *exergames* que utilicen la WBB para rehabilitación en una computadora, evitando el uso de la consola Wii. No sólo se evitará el uso de la consola porque ya no se fabrica; sino que también permitirá adicionar el software de seguimiento y la posibilidad de incorporar una cámara de video. Esta cámara junto con la portabilidad de la WBB, posibilitaría al profesional realizar el tratamiento de manera remota, trasladando únicamente los dispositivos al lugar donde esté el paciente. En este contexto de portabilidad, nos enfocaremos en las computadoras de tamaño reducido o mini-pc, obteniendo un sistema portable y útil. Al utilizar mini-pc con conexión a TV, permitirá al paciente tener una realimentación visual de su movimientos [27].

### 3.1.3. Raspberry Pi

La mini-pc Raspberry Pi fue desarrollada en 2012 por la Fundación Raspberry Pi con el objetivo de estimular la educación informática en las escuelas y en países en desarrollo. Desde el año de su lanzamiento han presentado diferentes variantes de sus modelos de computadora de placa de reducida (o SBC por su sigla en inglés de Single Board Computer), del tamaño de una tarjeta de crédito (figura 3.2). Estos modelos buscan un equilibrio de la relación de compromiso de sus objetivos: proveer el rendimiento de una PC y mantener un bajo costo. Esta fundación lleva adelante también el desarrollo de un sistema operativo, el mismo es libre basado en Debian Linux, llamado Raspbian.



**Figura 3.2:** Raspberry Pi.

Desde el modelo 'Raspberry Pi 3B+', lanzado en 2018, han logrado integrar una conexión inalámbrica, tanto WiFi como Bluetooth, incrementar notoriamente el rendimiento del procesador y el tamaño de la memoria (comparándolo con el modelo original 'Raspberry Pi 1 A'). A pesar de esta evolución del proyecto, existe una política de soporte prolongado, no solo porque continúan fabricándose modelos de la Raspberry Pi 1 (modelos A+ y B+ lanzados en 2014), además todos sus modelos respetan el mismo estándar de forma: manteniendo el tamaño de la placa, ubicación y compatibilidad de su conector de múltiple propósito. Característica importante si deseamos realizar un producto utilizando esta mini-pc, ya que no sólo porque seguirán fabricándose modelos varios años después de su lanzamiento, sino también que podemos ir mejorando nuestro producto con futuros modelos sin mayor esfuerzo. A modo de comparación, la Tabla 3.1 resume las características principales de las principales mini-pc que se encuentran en el mercado.

Otro factor a destacar es que la importación de este producto no presenta ningún inconveniente y es fácil de adquirir, existiendo varios importadores que lo tienen en su cartelera. Y que posee una amplia comunidad de usuarios que dan vida al proyecto de la fundación y prestan asistencia de su sistema operativo. Si bien Pine 64 LTS posee una política de soporte prolongado, se dificulta encontrar importadores que lo tengan en cartelera; teniendo que importar directamente de China el mismo. Y su comunidad no es tan amplia como la de Raspberry, tal vez porque es un producto más reciente.

En la Tabla 3.1, también se puede observar que la gran mayoría de las SBC poseen procesador de arquitectura ARM. Lo que fue un condicionante en la selección de librerías para el desarrollo de los exerga-

**Tabla 3.1:** Precio y características de mini-pcs, con WiFi y Bluetooth incorporado.

Mini-pc	CPU			Memoria	Precio (us\$)
	Arq	cores	GHz		
Raspberry Pi 4 B	ARM	4	1,5	1 GB	39
Raspberry Pi 3 B+	ARM	4	1,4	1 GB	39
Radxa Rock Pi 4 B	ARM	2	2	1 GB	39
Pine A64-LTS	ARM	4	1,2	2 GB	42
NanoPi Neo4	ARM	2	2	1 GB	50
Banana Pi M64	ARM	4	1,2	2 GB	61
NanoPC-T3 Plus	ARM	8	1,4	2 GB	75
NanoPi M4	ARM	6	2	2 GB	75
BeagleBone Black W.	ARM	1	1	512 MB	75
Asus Tinker Board S	ARM	4	1,8	2 GB	89
LattePanda	x86	4	1,8	2 GB	119

mes. Todas las compañías garantizan compatibilidad con distribuciones de GNU/Linux compiladas en esta arquitectura, por lo que se enfocó la búsqueda de librerías para dicho S.O.

### 3.1.4. Pygame

Los motores de videojuegos son una serie de librerías de programación que permiten el diseño, la creación y la representación de un videojuego. Dentro de las librerías podemos mencionar las de representación gráfica (puede ser en dos dimensiones “2D” o tres dimensiones “3D”); librerías para la física del escenario: permitiendo implementar leyes de la cinemática y la dinámica en los elementos del juego, o simplemente detección de colisiones; y librerías de audio.

En la actualidad existen diferentes motores de videojuegos, dentro de los más populares podemos nombrar: Unity, Godot y Unreal; todos estos compatibles con el SO Linux. El principal inconveniente a la hora de la selección son:

- compatibilidad con la arquitectura ARM: no todos los motores garantizan oficialmente la compatibilidad con ARM. Algunos como Unity lo hacen pero sólo para SO Android.
- Desarrollo de juegos 2D: dados los ejercicios planteados, no se utilizaran escenarios 3D. Por lo que no sería útil un motor orientado a este tipo de escenarios.

- Lenguaje con librerías que permitan conectarse a la WBB: debemos, de manera paralela, buscar la compatibilidad del lenguaje del motor con la búsqueda de librerías para la WBB.
- Curva de aprendizaje: la herramienta debe ser sencilla para un rápido aprendizaje.

Para el desarrollo de los exergames se seleccionó la librería Pygame, si bien no es un motor con amplias prestaciones como los mencionados anteriormente. Es una librería de código abierto del lenguaje de programación Python que permiten la creación de videojuegos 2D, es multiplataforma basada en la librería SDL 1.2; es simple y de rápido aprendizaje.

La misma posee funcionalidades para manejo de sprites, detección de colisiones, acceso a cámaras, transformaciones, filtrado, entre otras. Otro factor a destacar de dicha librería es que se encuentra disponible en los paquetes provistos por el S.O. Raspbian (con soporte ARM).

### 3.1.5. Wiiboard

Para la comunicación con la WBB se utilizó la librería wiiboard<sup>2</sup>, esta también es una librería de Python que extiende las funcionalidades de wiimote<sup>3</sup> permitiendo la comunicación con la WBB de Nintendo. Esto permite obtener los valores de los 4 sensores de fuerza.

El hecho de utilizar un lenguaje multiplataforma como Python, nos permitirá depurar los exergames en la PC del desarrollador (con arquitectura x86) sin necesidad de cambiar el código o realizar una compilación cruzada para ejecutar el ejercicio en la mini-pc (con arquitectura ARM).

### 3.1.6. Dash

Uno de los módulos del sistema se codificó utilizando el framework *Dash* de *Python* que permite crear paginas web analíticas, altamente personalizables [36]. Nutriéndose de otras librerías de Python cómo Flask para el servicio web, React.js<sup>4</sup> (librería de interfaz de usuario en Javascript) para el frontend, Plotly.js para la visualización de los datos. A su vez, soporta dataframes de la librería Pandas para la adquisición y exploración de datos, la cual admite una amplia variedad de fuentes: Motores de Base de datos ( PostgreSQL, Mysql, SQLite), JSON, y archivos CSV entre otros [37].

<sup>2</sup><https://code.google.com/archive/p/wiiboard-simple/>

<sup>3</sup>Wiimote: permite la comunicación con los controles remotos de la plataforma Wii.

<sup>4</sup><https://reactjs.org/>

## 3.2. Diseño y funcionamiento del sistema

Desde los requerimientos relevados, se diseñó el sistema dividiéndolo en dos grandes módulos: módulo exergame y módulo de control, análisis y seguimiento. Cada uno posee características muy diferenciadas:

- Usuarios: en el exergame el usuario es el paciente y en el de control y análisis, lo es el profesional.
- Interfaz de usuario: en el exergame es necesaria la interfaz mini-pc + WBB, para que el paciente realice el ejercicio y la TV a una distancia y altura acorde para no afectar el equilibrio del mismo. Mientras que en el módulo de análisis es necesaria una interfaz que le permita al profesional desplegar el ejercicio en una tablet, notebook o pc de escritorio.
- Tareas del sistema: las tareas de cada módulo no se encuentran relacionadas. En las figuras 3.4 y 3.5, donde se encuentran los diagramas de casos de uso de cada módulo, se pueden apreciar estas diferencias.
- Hardware: mientras en el exergame es un requerimiento que el software se ejecute en la mini-pc, en el de control, análisis y seguimiento no lo es.

Estas diferencias, permitieron analizar cada módulo como un producto independiente [38], con librerías y tecnologías propias. Seleccionado aquellas librerías que presenten la mejor alternativa para los requerimientos del módulo.

### 3.2.1. Módulo Exergame

Este módulo es el que se ejecuta en la mini-pc, utiliza las librerías Pygame, Wiiboard y sqlite para la ejecución del ejercicio, conexión a periféricos y registro de la sesión. El mismo se encuentra subdividido en tres componentes:

- Selección del ejercicio: posibilita al usuario elegir la rutina que desea realizar.
- Configuración de la sesión: tiene por objeto configurar la conexión de los dispositivos: WBB (utilizando la librería Wiiboard) y la Webcam (utilizando la librería Pygame junto con módulos del S.O.



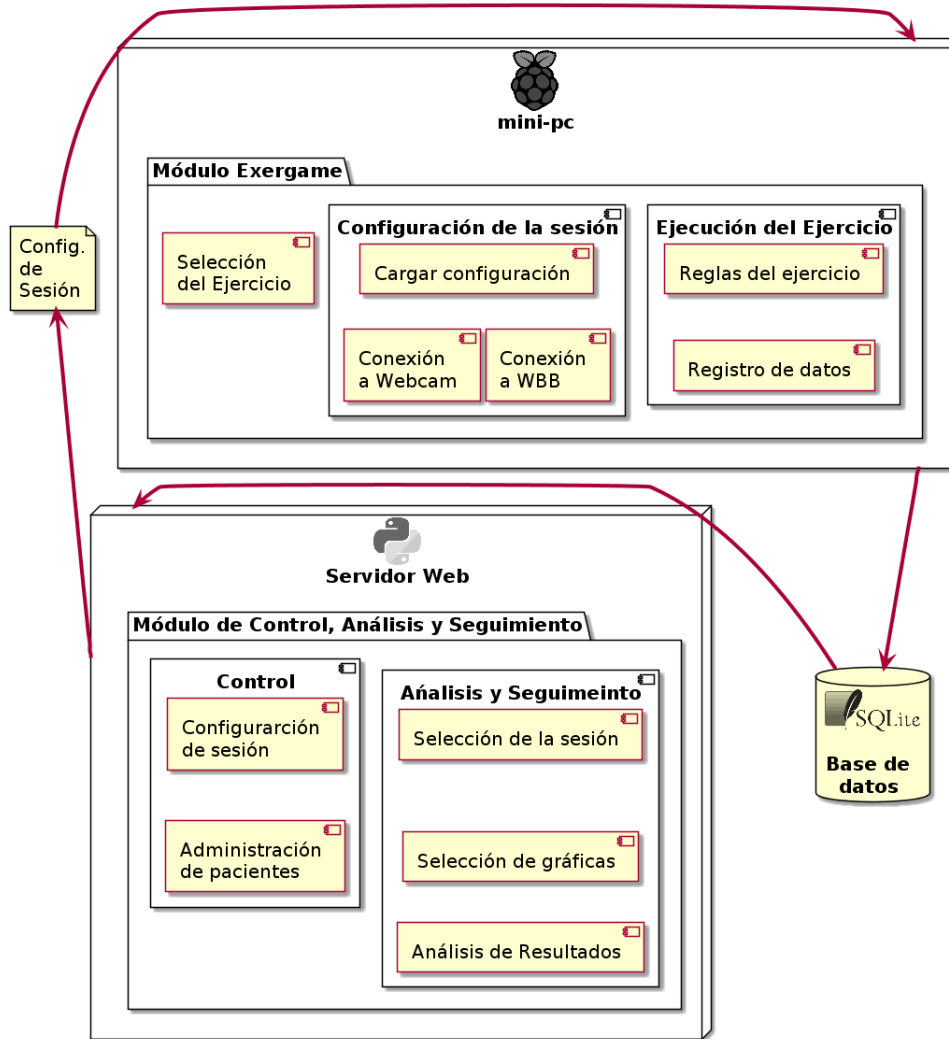


Figura 3.3: Esquema del Sistema.

Raspbian). Además este componente realiza la lectura los parámetros configurados para la sesión del paciente.

- Ejecución del ejercicio: Componente principal del módulo (utilizando la librería Pygame), donde se encuentra las reglas del ejercicio, y se realiza el registro de datos de la sesión (utilizando la librería Sqlite). Cabe destacar que existe uno por cada rutina.

### 3.2.2. Módulo de control, análisis y seguimiento

Se enfocó la búsqueda en librerías de interfaz web, pensando en la comodidad del profesional. Favoreciendo el acceso a los datos desde la pc de su escritorio, cómo desde una tablet o celular. Además, esta tecnología le concede propiedades de portabilidad al software del módulo. Otorgándole la posibilidad de estar alojado en la mini-pc, en una pc de usuario del instituto, o en un servidor en internet. El módulo posee los siguientes componentes:

- Selección de la sesión: posibilita al profesional seleccionar la sesión y paciente a analizar.
- Selección de gráficas: núcleo del componente de análisis, despliega una variedad de gráficas para un mejor estudio de la sesión.
- Análisis de resultados: componente que permite al profesional explorar los datos de la sesión.
- Configuración o carga de una sesión: tiene por objeto setear los parámetros de cada ejercicio por paciente.
- Administración de pacientes: posibilita al profesional agregar, borrar y modificar pacientes.

### 3.2.3. Interacción entre módulos exergames - control, análisis y seguimiento

El nexa entre estos dos módulos son los datos almacenados y el archivo de configuración de sesión (figura 3.3). Para almacenar estos datos se definió una base de datos, cuyo diagrama de entidad-relación se ve en la figura 3.6. Al momento de elegir una base de datos para el almacenamiento del ejercicio, se optó por una local, para ser ejecutado en la mini-pc; sin necesidad de que el paciente esté conectado a internet en el momento de realizar el ejercicio. Por lo que se seleccionó *SQLite*, un motor que consume pocos recursos y cumple correctamente con los requerimientos funcionales del registro de datos.

Como mejora a futuro, se evaluará una sincronización entre la base de datos local (en la mini-pc) y un servidor remoto, junto con las configuraciones de la sesión. Ya que actualmente dicha tarea no se encuentra automatizada. Analizando el uso de un motor de base de datos con mejores prestaciones para el análisis y que soporte una conexión remota (dicha funcionalidad no está soportada en *SQLite*).

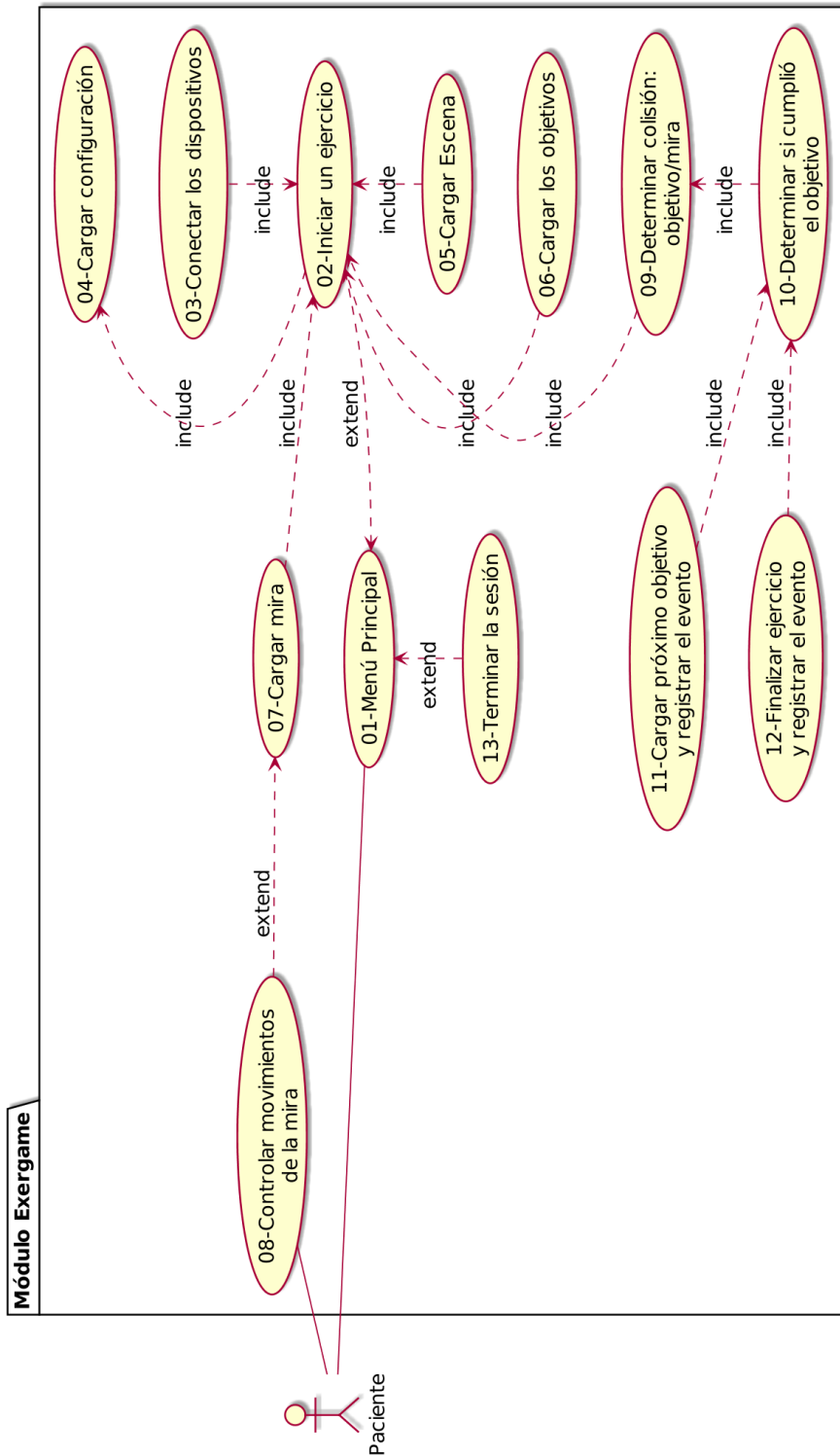


Figura 3.4: Casos de uso: módulo exergame.

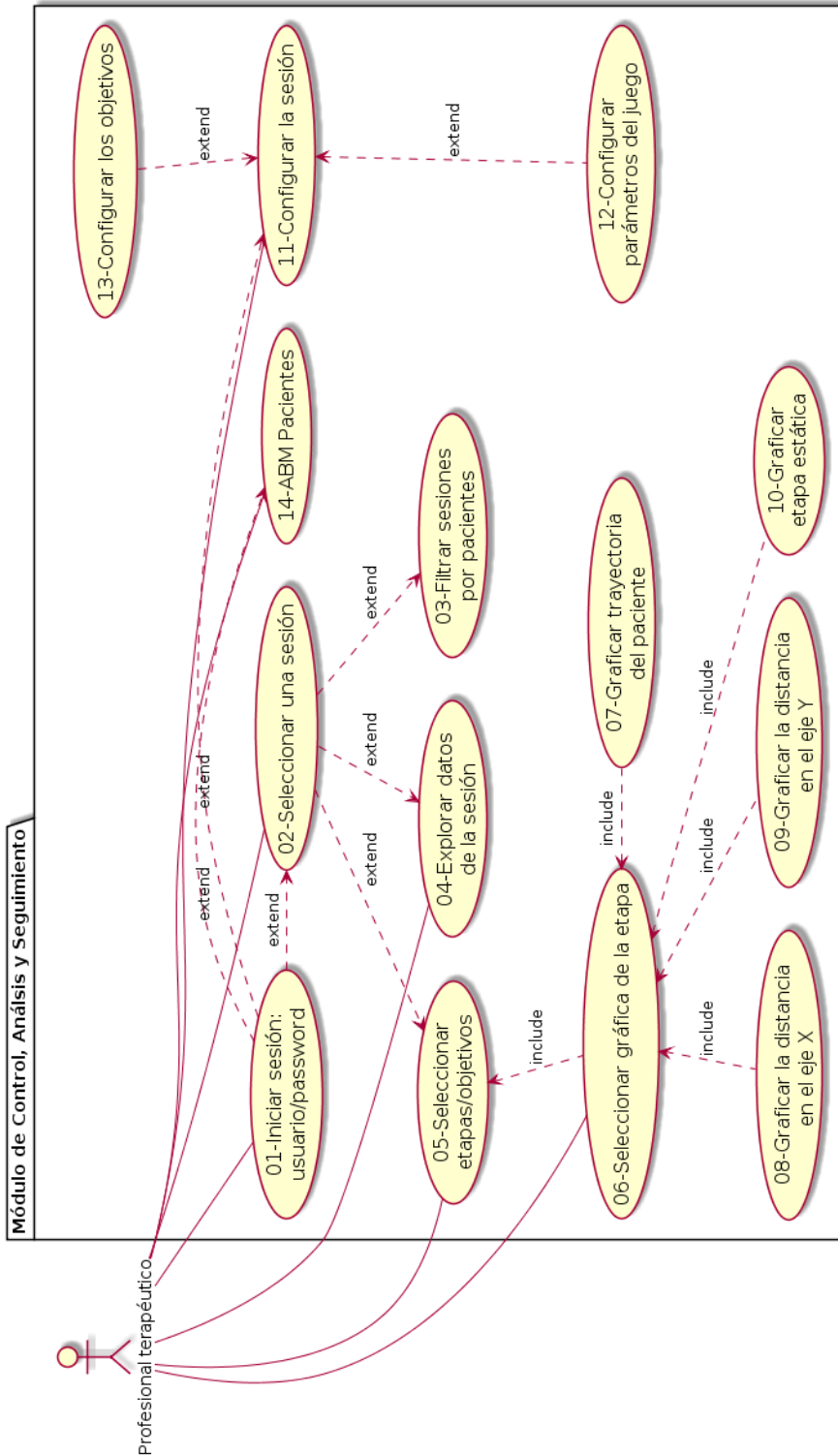


Figura 3.5: Casos de uso: módulo de control, análisis y seguimiento.

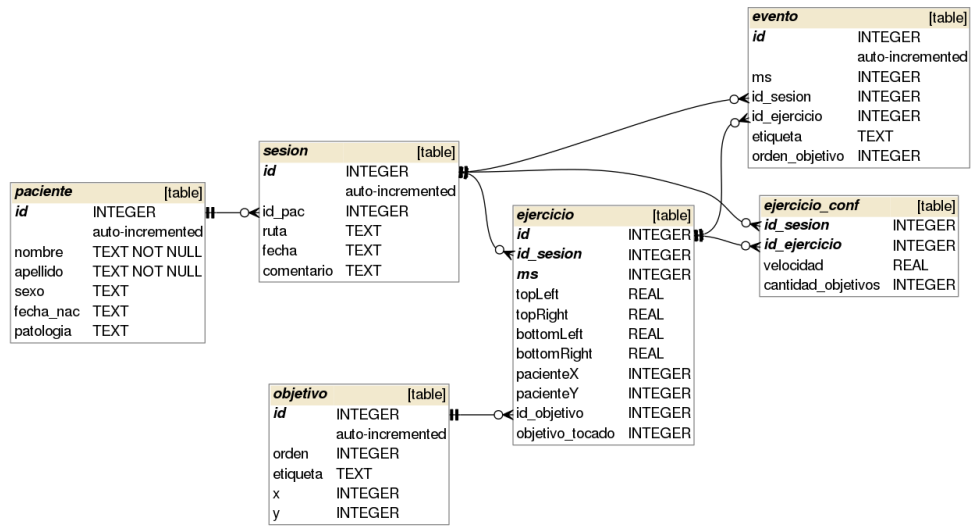


Figura 3.6: Base de datos: diagrama entidad relación.

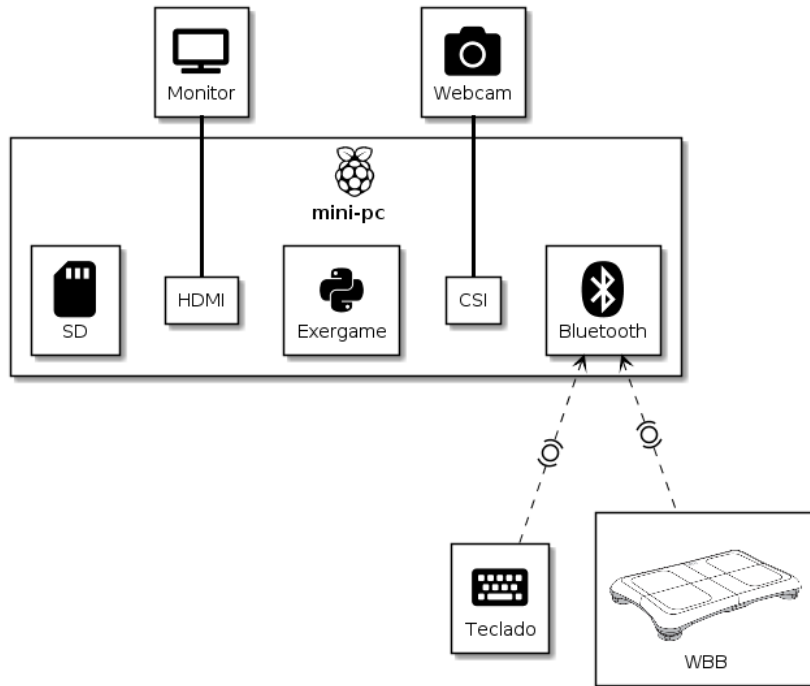
sinc(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)  
C. H. Arrasin, E. M. Albornoz & A. Estepa, "Desarrollo de un sistema para rehabilitación basado en plataforma de balance y mini-pc (Undergraduate project)"  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral, 2021.

# Diseño y codificación de ejercicios de rehabilitación

En este capítulo se describen las configuraciones necesarias para el inicio del ejercicio. Detallando la conexión entre la mini-pc y los dispositivos. Finalmente, se describe detalladamente la implementación de los exergames y los parámetros configurables.

## 4.1. Configuración de la mini-pc y dispositivos

Luego de la etapa de selección de mini-pc, eligiendo a ‘Raspberry pi 3B+’ (sección 3.1.3), se procedió a testear las librerías seleccionadas en dicho dispositivo. Cabe aclarar que en el momento de selección y compra de la mini-pc, el modelo ‘Raspberry pi 4’ aún no había sido lanzado al mercado. La compra de los componentes fueron realizadas mediante el subsidio otorgado por el Programa Ingeniar del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Provincia de Santa Fe. Este programa nos permitió comprar: dos Raspberry Pi 3 B+, dos Wii Balance Board, dos cámaras IP inalámbricas, dos cámaras Raspberry pi. La compra de equipos extras se realizó para mitigar el retraso del proyecto ante la falla o rotura de un dispositivo. Las librerías seleccionadas permitieron interconectar los dispositivos necesarios del módulo exergame (figura 4.1).



**Figura 4.1:** Dispositivos conectados a la mini-pc (Raspberry Pi).

#### 4.1.1. WBB

Se logró vincular exitosamente la WBB utilizando el componente Bluetooth integrado en la mini-pc. Las primeras pruebas de conexión se realizaron con las herramientas que provee la librería wiiboard. Esta vinculación se realiza de manera manual, presionando el botón de sincronización (SYNC) que posee la WBB. Dicho botón otorga unos segundos para la sincronización de la WBB y la mini-pc, en este tiempo es necesario ejecutar las funciones de conexión que posee la librería. Esta metodología es similar a la necesaria para vincular la WBB con la consola Nintendo Wii<sup>1</sup>.

Al presionar el botón de encendido de la WBB, se puede corroborar la vinculación exitosa con la mini-pc, ya que este posee un led que se mantiene encendido mientras la WBB este vinculada. Si por el contrario este led comienza a parpadear, se deberá realizar el procedimiento de vinculación. Mientras la WBB tenga carga en su batería, ‘recordará’ la

<sup>1</sup>Instalación de la Wii Balance Board (Accedida el 01/09/2020):  
<https://www.nintendo.es/Atencion-al-cliente/Wii/Utilizaci-oacute-n/Wii-Balance-Board/Instalacion-de-la-Wii-Balance-Board/Instalacion-de-la-Wii-Balance-Board-240188.html>



mini-pc con la que se sincronizó y no se vinculará a otra mini-pc, a menos que se presione el botón SYNC. Cabe aclarar, que dicha funcionalidad permite realizar múltiples sesiones de rehabilitación en un mismo recinto; donde cada WBB se comunicará con su respectiva mini-pc.

### 4.1.2. Monitor y teclado

La conexión entre el monitor y la mini-pc se realiza mediante la interfaz HDMI de ambos dispositivos. Se configuró la resolución al estándar HD (1280x720) para garantizar la mayor compatibilidad de monitores. El teclado es necesario para navegar por el menú principal del exergame, su conexión puede ser USB o inalámbrica. La opción inalámbrica para que el cable del teclado tiene la ventaja de no obstruir con el ejercicio.

### 4.1.3. Webcam

Al momento de seleccionar la funcionalidad de registro en video de la sesión, se evaluó entre utilizar una cámara IP con conexión inalámbrica y una cámara conectada en el zócalo CSI (Camera Serial Interface) de la placa de la mini-pc. Ambas implementaciones fueron probadas e implementadas exitosamente, registrando la sesión en la memoria SD de la mini-pc. Cada una de las opciones tiene sus puntos positivos (ver tabla 4.1). Se recomienda la opción de cámara inalámbrica cuando se desea realizar los ejercicios en el centro de rehabilitación, por la posibilidad de ubicar la cámara en cualquier lugar del recinto. Ubicándola en el lugar que el profesional prefiera. Para el caso de realizar los ejercicios en el hogar del paciente, se recomienda la opción de cámara CSI; por sus propiedades funcionamiento sin necesidad de configuración. Por lo tanto, no es necesario tener que configurar la conexión WiFi de la mini-pc y la Webcam.

### 4.1.4. Procedimiento de puesta a punto

El esquema de conexión recomendado para una sesión en el hogar del paciente puede apreciarse en la figura 4.1. El procedimiento de puesta a punto del sistema no presenta demasiadas dificultades: se debe conectar el Monitor mediante un cable HDMI, ubicar la webcam CSI en el mejor lugar posible. Luego conectar la alimentación de la mini-pc y encender la WBB. En el caso que la misma no se encuentre vinculada, se deberá presionar el botón de sincronización de la plataforma. Caso contrario,

**Tabla 4.1:** Ventajas y desventajas de cámara IP y cámara CSI.

	<b>Cámara IP</b>	<b>Cámara CSI</b>
<b>Ventajas</b>	<p>La cámara puede estar ubicada en cualquier lugar del recinto (Wireless)</p> <p>Podría utilizarse una cámara (de seguridad) ya este presente en el recinto</p> <p>Metodología compatible con una amplia variedad de productos disponibles en el mercado</p> <p>Se encuentra implementado el acceso remoto en tiempo real del video</p>	<p>No requiere configuración extra (Plug &amp; Play)</p> <p>No requiere alimentación externa</p> <p>Mayor fluidez en el momento de registrar el video</p>
<b>Desventajas</b>	<p>Requiere configuración previa (IP, url de acceso)</p> <p>Requiere alimentación extra</p> <p>Menor fluidez en el video registrado</p>	<p>La cámara debe estar cerca de la mini-pc (conexión cableada)</p> <p>Menor disponibilidad de productos en el mercado</p> <p>Requiere una implementación del acceso remoto en tiempo real del video de la sesión</p>

sólo se debe encender la WBB, parase sobre la misma y seleccionar, utilizando el teclado, el ejercicio a realizar. Al seleccionar un ejercicio el sistema cargará los parámetros configurados para el paciente, del archivo de configuración previamente cargado por el profesional. En dicho archivo, también se encuentran los datos necesarios para registrar la sesión identificando al paciente, evitando la tarea de selección del paciente antes de comenzar la sesión.

## 4.2. Diseño y codificación del ejercicio 1

En el momento que se selecciona el ejercicio, el paciente debe estar sobre la plataforma. El objeto que representa los movimientos del paciente se encontrará en el centro de la escena, sobre el objetivo central (llamado base). En la escena se visualizarán también el resto de los objetivos. Los objetivos se desplegarán en la escena de a uno por vez (figura 4.3), desapareciendo una vez cumplido el mismo, a excepción del objetivo base que siempre está presente en el juego. Cada vez que un objetivo aparece en escena, este comienza a parpadear, llamando la atención del paciente e indicándole que debe dirigirse al mismo. Una vez cumplido este objetivo el paciente, debe regresar a la base antes de dirigirse al próximo objetivo. En el siguiente enlace se muestra la secuencia detallada: <http://bit.ly/2F9nVbK>.

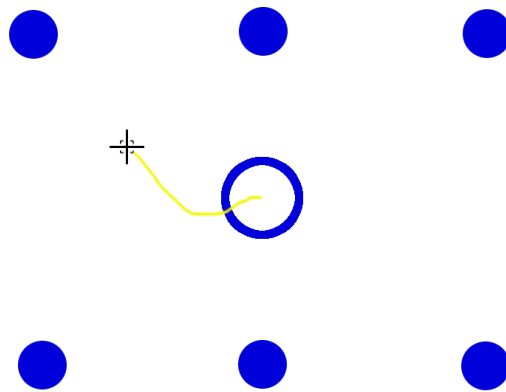
En este ejercicio, la posición de los objetivos y de la base están preestablecidas (ver figura 4.2). Esta característica es útil al profesional al momento de realizar evaluación funcional del paciente. Examinando la capacidad de equilibrio del paciente hacia ambos lados y hacia atrás y adelante. Estas ubicaciones no puede cambiarse desde los parámetros de configuración del ejercicio y por lo tanto son útiles para comparar distintas sesiones del ejercicio, evaluando la evolución del paciente.

Los parámetros configurables para el ejercicio 1 son:

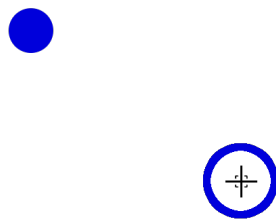
- Velocidad: parámetro que refleja la sensibilidad del objeto que representa los movimientos del paciente
- Tamaño de la mira
- Tamaño de los objetivos

## 4.3. Diseño y codificación del ejercicio 2

Cómo se explicó en la sección 2.4, en estos ejercicios de entrenamiento, el objetivo base no aparece en escena. Al igual que el ejercicio anterior, los objetivos se visualizan de uno por vez. Cuando un objetivo se cumple, éste desaparece de la escena; apareciendo el próximo objetivo. En el siguiente enlace puede apreciarse la secuencia detallada: <https://youtu.be/1SvykkqnkQM>. La ubicación de los objetivos varía en cada sesión y el profesional puede configurar la probabilidad con la que los objetivos pueden ubicarse en cada cuadrante de la escena (superior-izquierdo, superior-derecho, inferior-izquierdo, inferior-derecho). En la figura 4.4 se puede apreciar el inicio del ejercicio con mayor probabilidad



**Figura 4.2:** Ubicación de los objetivos en el ejercicio 1.

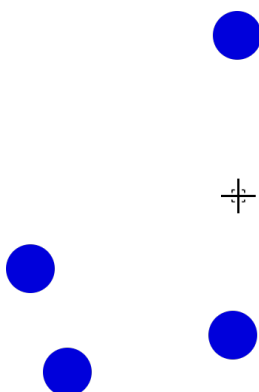


**Figura 4.3:** Inicio del Ejercicio 1 con el primer objetivo destellando.

de ubicación de objetivos en el cuadrante inferior-izquierdo. Ésto resulta muy útil para enfocar el ejercicio y la evaluación de diferentes formas de equilibrio.

Los parámetros configurables para el ejercicio 2 son:

- Velocidad
- Tamaño de la mira
- Tamaño de los objetivos
- Cantidad de objetivos
- Probabilidad del cuadrante superior-izquierdo



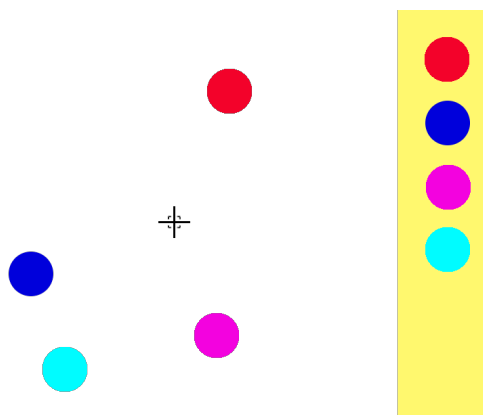
**Figura 4.4:** Inicio del ejercicio 2 con mayor probabilidad de ubicación de los objetivos en el cuadrante inferior-izquierdo.

- Probabilidad del cuadrante superior-derecho
- Probabilidad del cuadrante inferior-izquierdo
- Probabilidad del cuadrante inferior-derecho

## 4.4. Diseño y codificación del ejercicio 3

Este segundo ejercicio de entrenamiento es similar al ejercicio anterior pero suma una complejidad cognitiva extra. A diferencia de los ejercicios anteriores, todos los objetivos se visualizan desde el comienzo del juego. El paciente deberá ir cumpliendo los objetivos respetando el orden, explicado en la sección 2.4. Dicho orden estará planteado por los colores que se despliegan a la derecha de la escena (ver figura 4.5). En el siguiente video puede apreciarse la secuencia del ejercicio: <https://youtu.be/UjiMc3J3H9A>. Al igual que el ejercicio 2, el profesional puede elegir la cantidad de objetivos y las probabilidades de ubicación por cuadrante. Los parámetros configurables para el ejercicio 3 son:

- Velocidad
- Tamaño de la mira
- Tamaño de los objetivos
- Cantidad de objetivos
- Probabilidad del cuadrante superior-izquierdo
- Probabilidad del cuadrante superior-derecho
- Probabilidad del cuadrante inferior-izquierdo
- Probabilidad del cuadrante inferior-derecho



**Figura 4.5:** Inicio del ejercicio 3 con mayor probabilidad de ubicación de los objetivos en el cuadrante inferior-izquierdo.

sinc(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)  
C. H. Arrasin, E. M. Albornoz & A. Estepa, "Desarrollo de un sistema para rehabilitación basado en plataforma de balance y mini-pc (Undergraduate project)"  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral, 2021.





# Módulo de análisis, control y seguimiento de la evolución del paciente

En este capítulo se describe la interfaz de análisis y control del módulo. En primer lugar se detallan las variables a registrar por el sistema. Seguidamente se describe la codificación reactiva del módulo y una explicación del diseño de la interfaz. Finalmente, se muestran las gráficas generadas a partir de los datos recolectados.

Luego del desarrollo de los ejercicios utilizando la WBB, comienza la etapa de relevamiento de variables y diseño de la interfaz de usuario del módulo de análisis y control.

Se propuso implementar un módulo que tenga la capacidad de configurar sesiones, proveer información acerca de la realización de los ejercicios y facilitar el seguimiento de la evolución del paciente; necesidades manifiestas por los especialistas del Centro.

## 5.1. Relevamiento de requerimientos y variables

Como resultado de las reuniones con los profesionales del Centro, se relevaron los siguientes requerimientos:

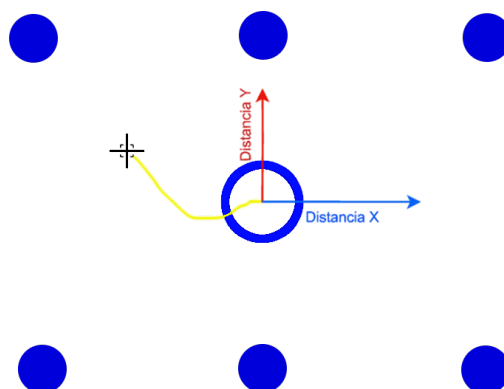
- Registrar el recorrido del paciente
- Registrar las posiciones de los objetivos
- Registrar el tiempo que le lleva realizar el ejercicio, y las diferentes etapas
- Poder dividir el recorrido del paciente por etapas/objetivos

- Poder dividir una etapa entre: el recorrido hacia el objetivo (parte dinámica), y el momento sobre el objetivo (parte estática)
- Registrar el video de la sesión

### 5.1.1. Variables

De lo relevado anteriormente, se decidieron registrar las siguientes variables:

- Ubicación de la mira (objeto que mueve el paciente). Tomando como origen (0,0) el centro del rectángulo de juego (figura 5.1)
- Instante de tiempo (en milisegundos) cuando se registra la ubicación de la mira/paciente
- Ubicación del objetivo (x,y)
- Orden en que los objetivos aparecen
- Instante de tiempo (en milisegundos) en el que suceden ciertos eventos del ejercicio:
  - Inicio del trayecto hacia un objetivo
  - Primer toque del objetivo
  - Objetivo cumplido
  - Inicio del trayecto de regreso a la posición de partida (base)

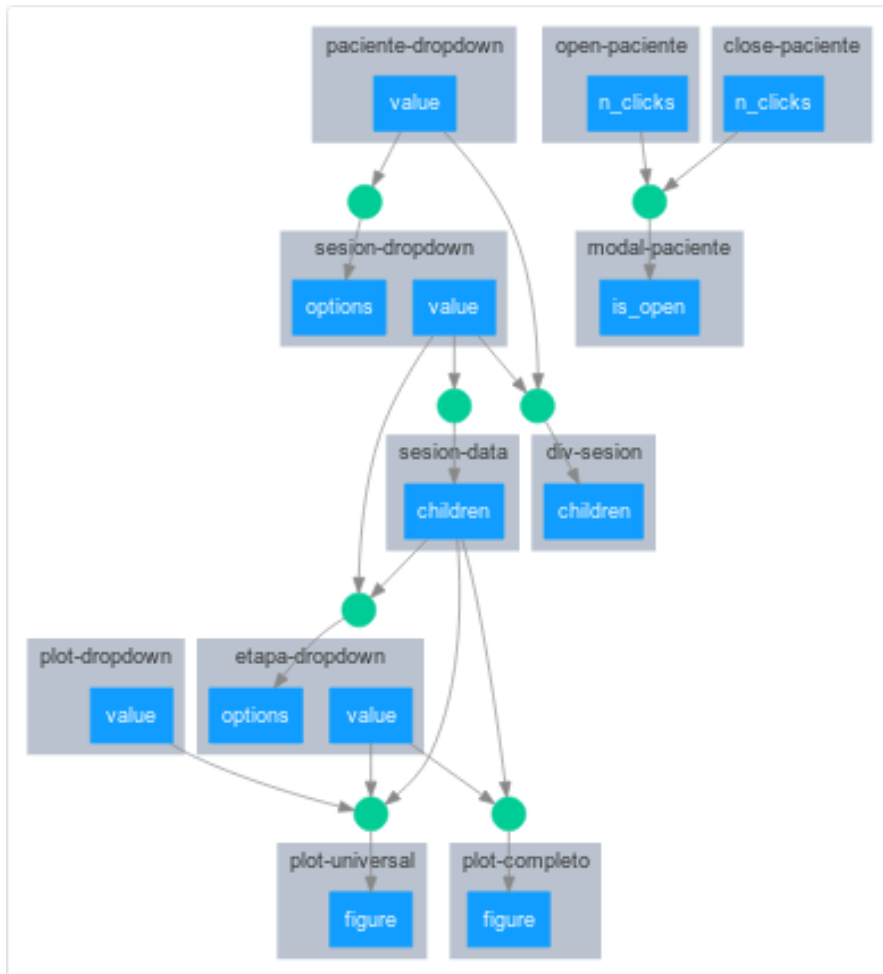


**Figura 5.1:** Representación de la medición del recorrido hacia un objetivo del exergame de evaluación funcional.

## 5.2. Codificación y diseño de la interfaz

*Dash* proporciona un conjunto de herramientas y clases en Python que permiten manipular componentes HTML de la librería React.js. Componentes tales como: menús desplegables (dropdowns), deslizadores (sliders), calendarios, tablas interactivas, entre otros. De la misma manera, mapea a clases en Python componentes de Plotly<sup>1</sup> (librería en Javascript), soportando crear una gran variedad de gráficos interactivos: gráficos de tipo científicos, financieros, gráficos 3D, estadísticos, mapas SVG, entre otros. Además, esta librería mapea los eventos de estos componentes de Javascript como entradas y salidas de funciones en Python. Dicho mapeo se realiza mediante callbacks declarados mediante decoradores en el código [39]. De este manera, se codificó el módulo de un modo reactivo, donde los cambios producidos por el usuario en un componente HTML (declarado como entrada) lanzan automáticamente una actualización de otro (declarado como salida) (ver figura 5.2). La disposición de estos componentes o layout también es codificada desde el framework, otorgando la flexibilidad para plantear cómo serán desplegados según el dispositivo con el que se accede. De esta forma, se puede crear una interfaz web interactiva en múltiples dispositivos que responda al posicionamiento del mouse sobre un componente, clicks, o selección de puntos sobre un gráfico u otro componente; sin necesidad de programar en HTML, CSS ni Javascript.

<sup>1</sup><https://plotly.com/>



**Figura 5.2:** Diagrama de interacción entre componentes de la interfaz (Callbacks).

### 5.2.1. Diseño de la interfaz

Se realizó un enfoque minimalista para el diseño de la interfaz (siguiendo las recomendaciones de la documentación oficial del framework [40]), desplegando toda la información que el usuario necesita en dos páginas: una de configuración y otra de análisis.

La página de carga de sesión o página de configuración se compone, principalmente, de un desplegable que le permite al profesional buscar el paciente al cuál desea configurar una nueva sesión y las variables a configurar por ejercicio (figura 5.3). Luego de finalizar la configuración de la sesión, el usuario exporta dicha configuración; descargando un archivo que deberá ser cargado en la mini-pc que utilice el paciente. Además,

ésta interfaz posee una ventana de administración de usuarios. En dicha ventana el usuario puede: agregar, buscar y modificar pacientes (figura 5.4).

Cabe destacar, que la página de configuración posee gráficos orientativos de la configuración que se desea cargar. En dichos gráficos se representa la probabilidad de generación de objetivos aleatorios de los ejercicios 2 y 3. En la figura 5.3 se puede apreciar que el profesional desea que haya una mayor probabilidad de generación de objetivos en la parte superior de la pantalla en el ejercicio 2 y en la parte izquierda en el ejercicio 3.

### Bastet: Nueva Sesión

**EXPORTAR SESIÓN**

Seleccione un Paciente

Arrasin César M patologia.[ninguna] x

**ADMINISTRAR PACIENTES**

Ejercicio 1 (evaluación funcional)


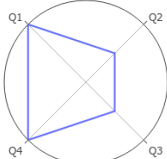
velocidad	6
tamaño de los objetivos	50
tamaño de la mira	10

Ejercicio 2 (entrenamiento)

velocidad	6
tamaño de los objetivos	50
tamaño de la mira	10
cantidad de objetivos	8
probabilidad Q1	4
probabilidad Q2	4
probabilidad Q3	2
probabilidad Q4	2

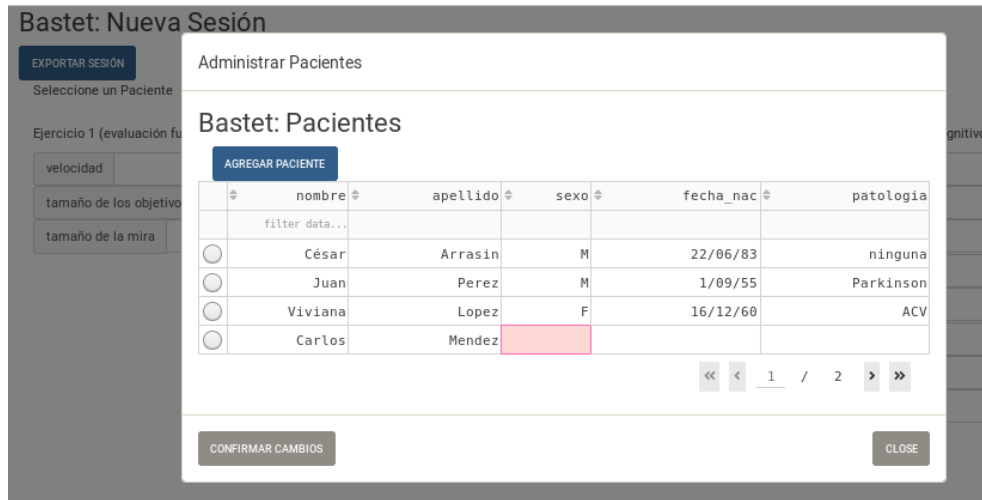
Ejercicio 3 (entrenamiento + cognitivo)

velocidad	6
tamaño de los objetivos	50
tamaño de la mira	10
cantidad de objetivos	6
probabilidad Q1	4
probabilidad Q2	2
probabilidad Q3	2
probabilidad Q4	4

**Figura 5.3:** Página de carga de una nueva sesión.

Luego, una vez realizados los ejercicios, el profesional accede a la interfaz de evaluación de la sesión que realizó el paciente (figura 5.5). La misma se compone, a grandes rasgos, de un gráfico principal, uno secundario y una ventana extra para la selección del paciente y la sesión (figura 5.6). Además, posee un botón que permite configurar una nueva sesión para un paciente (página de configuración). En el gráfico principal se despliega todo el recorrido del paciente a lo largo del ejercicio y el gráfico secundario es dinámico, dependiendo de la etapa seleccionada (figura 5.7), ofreciéndole al profesional la posibilidad de seleccionar entre las siguientes opciones (figura 5.8):



**Figura 5.4:** Ventana de administración de pacientes.

- Trayectoria del paciente hacia el objetivo (y de regreso a la base) (figura 5.8)
- Evolución en el tiempo de la distancia (x,y) del paciente (figura 5.10 y figura 5.11)
- Representación de la parte estática del ejercicio (figura 5.12)

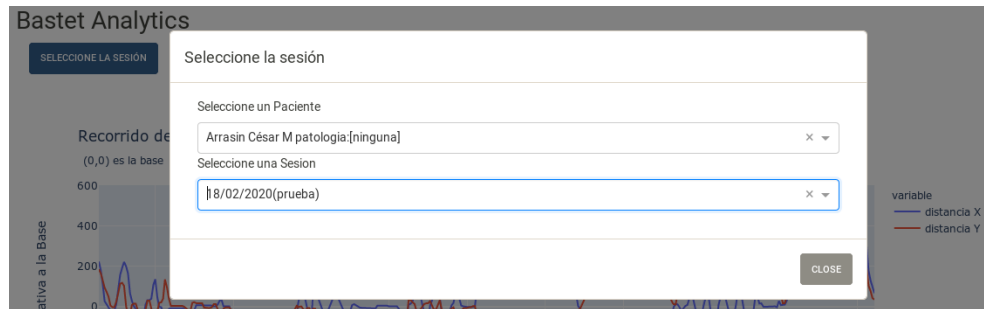
Para mostrar el funcionamiento del sistema completo, se generó un video explicativo que puede verse en <https://bit.ly/3lAkf6u>.

### 5.2.2. Representación gráfica

Para graficar las variables mencionadas, se decidió mostrar la evolución en el tiempo de la distancia (x,y) del paciente. En la figura 5.10 se ve la gráfica que indica las inclinaciones laterales del paciente (eje X) en función del tiempo, mientras intenta cumplir el objetivo. El objetivo definido por un punto central y un radio, se ve graficado como la “Región de contacto”. De igual manera, en la figura 5.11, se ve la gráfica que indica las inclinaciones hacia adelante y atrás del paciente (eje Y) mientras intenta cumplir el objetivo. Con estas gráficas se puede ver si el paciente se mantiene dentro del radio en la dirección X o Y cuando alcanza el objetivo, y en caso de que no, se puede ver cuanto se aleja de la zona indicada. También se grafica el recorrido del paciente en una etapa (figura 5.9, ya que ha demostrado ser de utilidad en otros trabajos publicados [41]).

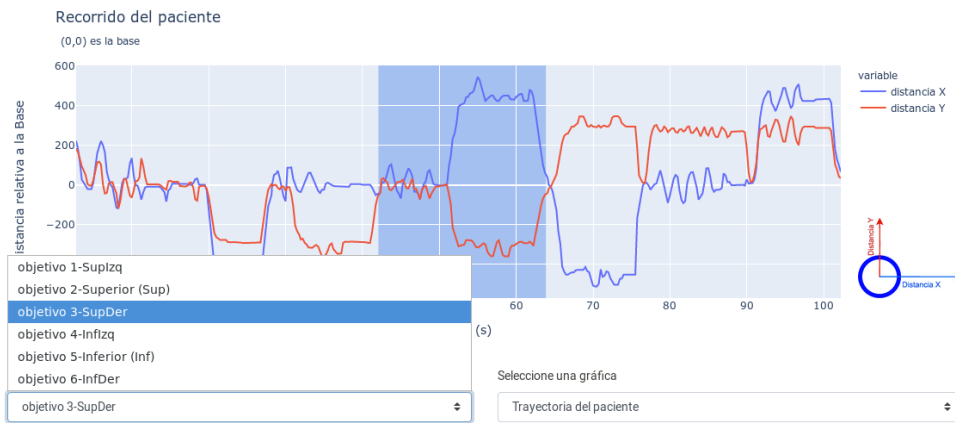


**Figura 5.5:** Página principal, con la gráfica del recorrido del paciente en Distancia X e Y (el centro de la base es el origen).

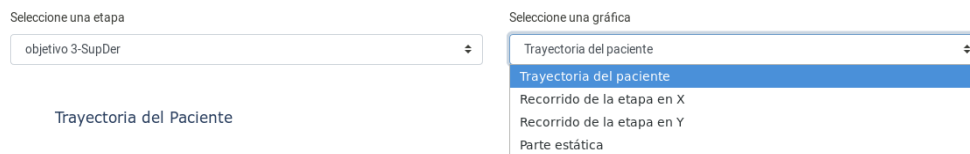


**Figura 5.6:** Pantalla de selección de la sesión.

Se decidió realizar una representación diferente para el momento del ejercicio en el que el paciente se encuentra haciendo equilibrio sobre el objetivo (tratando de mantener la mira sobre el mismo). Esta gráfica consiste en un histograma polar con las direcciones en las que el paciente se aleja del centro del objetivo (figura 5.12). A diferencia del resto de las gráficas donde el origen es el centro de la escena, en este caso, el origen (0,0) es el centro del objetivo. El objetivo de esta gráfica es que el especialista pueda ver en que direcciones el paciente pierde el equilibrio, o bien, cuando debe permanecer en balance sobre el objetivo, hacia donde tiene tendencia a direccionar su peso.



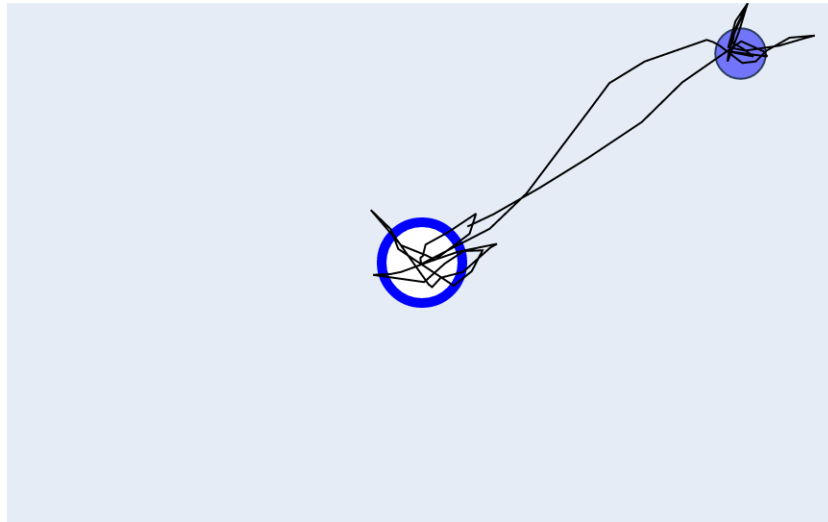
**Figura 5.7:** Pantalla de selección de las etapas del ejercicio.



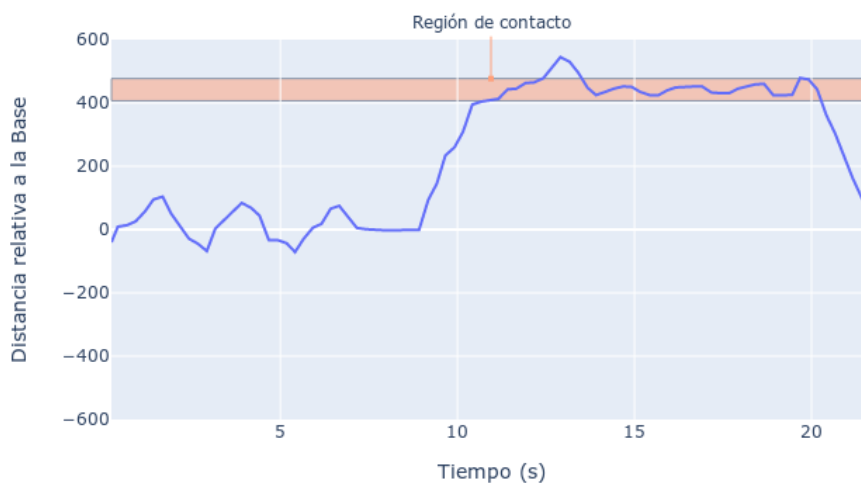
**Figura 5.8:** Pantalla de selección de las gráficas por etapa.



Trayectoria del Paciente

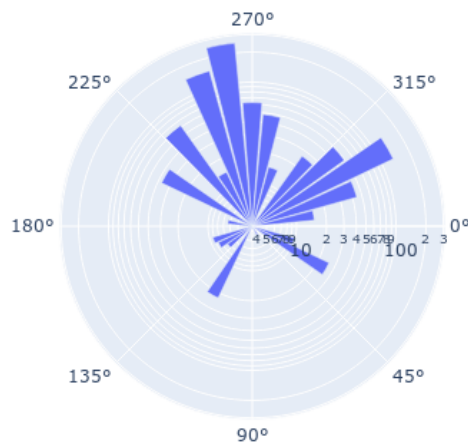
**Figura 5.9:** Trayectoria del paciente en la etapa seleccionada.

Recorrido de la etapa en X

**Figura 5.10:** Distancia en el eje X en la etapa seleccionada.



**Figura 5.11:** Distancia en el eje Y en la etapa seleccionada.



**Figura 5.12:** Parte estática de la etapa (representa la capacidad de equilibrio del paciente sobre el objetivo).

sinc(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)  
C. H. Arrasin, E. M. Albornoz & A. Estepa, "Desarrollo de un sistema para rehabilitación basado en plataforma de balance y mini-pc (Undergraduate project)"  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral, 2021.



# Conclusiones

Durante el trascurso de este trabajo ha sido necesario aprender diferentes tecnologías como *Pygame* del lenguaje *Python* e integrarlas en computadoras de tamaño reducido como *Raspberry Pi*. También, se ha explorado ampliamente la tecnología *Wii Balance Board*, lo que ha permitido plantear nuevos ejercicios que aprovechen las capacidades de este dispositivo.

El resultado de este trabajo es un sistema completamente funcional para la rehabilitación del equilibrio utilizando una plataforma de balance y una mini-pc. Una presentación sobre características y funcionalidades del sistema completo puede verse en <https://bit.ly/2LrkL8E>. Con esto se ha alcanzado tanto el objetivo general como todos los objetivos específicos propuestos en el ante-proyecto aunque dada la situación de pandemia que atravesamos las pruebas en el Centro con los profesionales y los pacientes aun no se llevaron adelante. Se han diseñado y desarrollado un conjunto de exergames a partir de las definiciones de los especialistas y cada uno puede ser configurado para cada paciente en particular. Además, se han dejado las bases para que cualquier otro ejercicio sea incorporado de forma sencilla. Fue posible integrar tanto el hardware como el software de fuentes muy diversas, con el objetivo de lograr un sistema económico en relación a las alternativas existentes en el mercado. El sistema está orientado al Plug&Play, por lo que su configuración y puesta a punto es muy simple. Se ha logrado desarrollar un sistema de configuración muy intuitivo y responsive para ser accedido desde cualquier dispositivo por un profesional de rehabilitación. Finalmente, se desarrolló un sistema que permite el análisis detallado de las sesiones de los pacientes, donde es posible explorar el comportamiento de múltiples variables en el tiempo y hacer un seguimiento detallado de la evolución del paciente. Adicionalmente a estos registros, se conserva un video de la sesión, para que el especialista pueda acceder directamente a la fuente a partir de la cual se obtuvieron los datos que se registraron.

## 6.1. Trabajos futuros

Con el fin de seguir una línea de desarrollo, comenzada por los directores de este proyecto, basada en la rehabilitación de pacientes neurológicos se proponen los siguientes trabajos a futuro:

- Realizar la etapa de pruebas en ejercicios con pacientes, el ajuste del sistema y la validación clínica del mismo
- Desarrollar y definir los protocolos y herramientas necesarias para registrar la sesión en una base de datos centralizada
- Desarrollar los componentes que permitan visualizar el video registrado de la sesión, en el módulo de análisis
- Desarrollar un acceso remoto a la mini-pc que le permita al profesional, cargar la configuración del ejercicio y observar la sesión en tiempo real
- Desarrollar nuevos ejercicios de rehabilitación donde el paciente esté sentado sobre la plataforma, registrando el balance del torso superior
- Lograr la integración con otro sensor utilizado en los videojuegos, llamado Kinect. Este es un dispositivo de visión 3D que posee algoritmos de reconocimiento y seguimiento de siluetas humanas. La idea de combinar estos dispositivos con una mini-pc, destacaría al sistema por sobre otros, ya que ambos dispositivos pueden utilizarse para rehabilitar las mismas enfermedades haciendo foco en ejercicios complementarios, optimizando el uso de lo sentido por cada uno

sinc(r) Research Institute for Signals, Systems and Computational Intelligence (sinc.unl.edu.ar)  
C. H. Arrasin, E. M. Albornoz & A. Estepa, "Desarrollo de un sistema para rehabilitación basado en plataforma de balance y mini-pc (Undergraduate project)"  
Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - Universidad Nacional del Litoral, 2021.





# Bibliografía

- [1] C. Arrasin, C. Martínez, and E. Albornoz, “Desarrollo de un sistema para neurorehabilitación basado en plataforma de balance y mini-pc,” *Congreso Argentino de Informática y Salud (JAIIO)*, pp. 28–38, 2019.
- [2] “Catalogo INNOVAR 2019 - 15 Aniversario.” [www.innovar.mincyt.gob.ar/catalogos/catalogo\\_innovar\\_2019.pdf](http://www.innovar.mincyt.gob.ar/catalogos/catalogo_innovar_2019.pdf). Accedido: 2020-09-25.
- [3] J. J. Martin, “Benefits and barriers to physical activity for individuals with disabilities: a social-relational model of disability perspective,” *Disability and rehabilitation*, vol. 35, no. 24, pp. 2030–2037, 2013.
- [4] W. Young, S. Ferguson, S. Brault, and C. Craig, “Assessing and training standing balance in older adults: a novel approach using the ‘nintendo wii’ balance board,” *Gait & posture*, vol. 33, no. 2, pp. 303–305, 2011.
- [5] A. Estepa, S. S. Piriz, E. Albornoz, and C. Martínez, “Development of a kinect-based exergaming system for motor rehabilitation in neurological disorders,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 705, no. 1, p. 012060, 2016.
- [6] M. D. Finco and R. W. Maass, “The history of exergames: promotion of exercise and active living through body interaction,” in *2014 IEEE 3rd International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, pp. 1–6, IEEE, 2014.
- [7] J.-W. Hung, C.-X. Chou, Y.-W. Hsieh, W.-C. Wu, M.-Y. Yu, P.-C. Chen, H.-F. Chang, and S.-E. Ding, “Randomized comparison trial of balance training by using exergaming and conventional weight-shift therapy in patients with chronic stroke,” *Archives of physical medicine and rehabilitation*, vol. 95, no. 9, pp. 1629–1637, 2014.

- [8] J. Massion, "Movement, posture and equilibrium: interaction and coordination," *Progress in Neurobiology*, vol. 38, pp. 35–56, 1992.
- [9] D. Winter, "Human balance and posture control during standing and walking," *Gait & Posture*, vol. 3, no. 4, pp. 193–214, 1995.
- [10] P. Davidovits, *Physics in biology and medicine – 3<sup>a</sup> ed.* Academic Press, 2008.
- [11] N. Vuillerme and G. Nafati, "How attentional focus on body sway affects postural control during quiet standing," *Psychological research*, vol. 71, pp. 192–200, 04 2007.
- [12] B. J. B. Benda, P. O Riley, and D. Krebs, "Biomechanical relationship between center of gravity and center of pressure during standing," *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, vol. 2, no. 1, 1994.
- [13] P. M. Mc Ginnis, *Biomechanics of sport and exercise – 2<sup>a</sup> ed.* Human Kinetics, 1999.
- [14] J. C. Arcila Arango, D. Cardona Nieto, and J. C. Giraldo García, "Algoritmos para la medición de centros de gravedad corporal en plataformas convencionales," *Lecturas: Educación Física y Deportes*, vol. 18, no. 181, 2013.
- [15] A. Viladot Voegeli, *Lecciones básicas de biomecánica del aparato locomotor.* Barcelona: Springer, 2001.
- [16] M. Guillén del Castillo and D. Linares Girela, *Bases biológicas y fisiológicas del movimiento humano.* 2002.
- [17] T. Shimba, "An estimation of center of gravity from force platform data," *J. Biomechanics*, vol. 17, pp. 53 – 60, 1984.
- [18] F. Viseux, "Postura, equilibrio y control postural," vol. 58, pp. 12–20, 04 2020.
- [19] A. Berthoz, *Le sens du mouvement – Odile Jacob Editions.* 1997.
- [20] A. Errondosoro Martínez and A. Fernández Camats, *Evaluación del sistema visual en relación al equilibrio.* 2018.
- [21] L. Quevedo and J. Fortó, "Visión periférica: propuesta de entrenamiento," *Apunts: Educación Física y Deportes*, vol. 88, pp. 75–80, 06 2007.

- [22] P. M. Kennedy and J. T. Inglis, "Distribution and behaviour of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole," *The Journal of physiology*, vol. 538, no. 3, pp. 995–1002, 2002.
- [23] S. PCF, *Libro virtual de formación en otorrinolaringología*. 2014.
- [24] M. Agmon, C. K. Perry, E. Phelan, G. Demiris, and H. Q. Nguyen, "A pilot study of wii fit exergames to improve balance in older adults," *Journal of geriatric physical therapy*, vol. 34, no. 4, pp. 161–167, 2011.
- [25] S. Hanneton *et al.*, "Coaching the wii," in *2009 IEEE International Workshop on Haptic Audio visual Environments and Games*, pp. 54–57, IEEE, 2009.
- [26] B. Rajaratnam, J. Kaien, K. Jialin, K. Sweesin, S. Fenru, L. Enting, E. Yihsia, N. Keathwee, S. Yunfeng, W. Yinghowe, and S. Siaoting, "Does the inclusion of virtual reality games within conventional rehabilitation enhance balance retraining after a recent episode of stroke?," *Rehabilitation research and practice*, vol. 2013, p. 649561, 08 2013.
- [27] A. e. a. Srivastava, "Post-stroke balance training: role of force platform with visual feedback technique," *Journal of the Neurological Sciences*, vol. 287(1-2), pp. 89–93, 2009.
- [28] J. Sinclair, P. Hingston, and M. Masek, "Considerations for the design of exergame," in *Proceedings of the 5th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australia and Southeast Asia*, pp. 289–295, 2009.
- [29] S. Jackson and M. Csikszentmihalyi, *Flow in sports*. Human Kinetics, 1999.
- [30] C. E. G., *Athletic body in Balance: Optimal movement skills and conditioning for performance*. Human Kinetics, 2004.
- [31] G. e. a. Cook, "Functional movement screening: the use of fundamental movements as an assessment of function - part 1," *International journal of sports physical therapy*, vol. 9, no. 3, pp. 396–409, 2014.
- [32] R. A. Clark, A. L. Bryant, Y. Pua, P. McCrory, K. Bennell, and M. Hunt, "Validity and reliability of the nintendo wii balance board for assessment of standing balance," *Gait & posture*, vol. 31, no. 3, pp. 307–310, 2010.

- [33] “Wii Balance Board - WiiBrew.” [http://wiibrew.org/wiki/Wii\\_Balance\\_Board](http://wiibrew.org/wiki/Wii_Balance_Board). Accedido: 2019-04-10.
- [34] R. A. Clark, B. F. Mentiplay, Y.-H. Pua, and K. J. Bower, “Reliability and validity of the wii balance board for assessment of standing balance: a systematic review,” *Gait & posture*, vol. 61, pp. 40–54, 2018.
- [35] A. Mengarelli, F. Verdini, S. Cardarelli, F. Di Nardo, L. Burattini, and S. Fioretti, “Balance assessment during squatting exercise: A comparison between laboratory grade force plate and a commercial, low-cost device,” *Journal of biomechanics*, vol. 71, pp. 264–270, 2018.
- [36] “Dash User Guide.” <https://dash.plotly.com/>. Accedido: 2020-08-25.
- [37] “Pandas User Guide.” [https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/user\\_guide/](https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/user_guide/). Accedido: 2020-08-25.
- [38] P. M. Institute, *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK) –Quinta edición*. Project Management Institute, 2013.
- [39] J. Hunt, *A Beginners Guide to Python 3 Programming*. Springer, 2019.
- [40] Plotly, *Top 10 Dash Tips & Tricks*. 2020.
- [41] Alessandrini, Micarelli, Viziano, Pavone, Costantini, Casali, Paolizzo, and Saggio, “Body-worn triaxial accelerometer coherence and reliability related to static posturography in unilateral vestibular failure,” *Acta otorhinolaryngologica Italica*, vol. 37, no. 3, pp. 231–236, 2017.