

Comparación de enfoques de ajuste dinámico de dificultad utilizando señales fisiológicas y desempeño en el contexto de un exergame



Universidad
del Cauca

Jonathan David Aguilar Betancourth

Director: Msc. Diego Enrique Guzmán
Codirector: PhD. Carlos Felipe Rengifo

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Popayán
2022

Comparación de enfoques de ajuste dinámico de dificultad utilizando señales fisiológicas y desempeño en el contexto de un exergame

Jonathan David Aguilar Betancourth

Trabajo de grado presentado a la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca para la obtención del título de

Ingeniero en:
Automática Industrial

Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control
Popayán
2022

Agradecimientos

A mi madre por brindarme su amor incondicional en todo momento, por apoyarme y guiarme en cada etapa de mi vida, por sus consejos, que me han ayudado a tomar decisiones correctas para llegar hasta este punto y culminar con esta etapa.

A mi pareja, que me brindó amor y apoyo incondicionalmente, y me animó a seguir adelante, por tantas ayudas y tantos aportes no solo para el desarrollo de mi tesis, sino, también para mi vida; eres mi inspiración y mi motivación.

A mi familia por todo el apoyo y los consejos brindados.

A mi Director Msc. Diego Enrique Guzmán y Codirector PhD. Carlos Felipe Rengifo, quienes me ayudaron constantemente en cada etapa del proyecto y con su conocimiento y experiencia guiaron este trabajo.

A la Universidad del Cauca, por acogerme durante toda esta etapa de aprendizaje.

A mis amigos, compañeros y todas las personas que me ayudaron en la recolección de datos y me brindaron palabras de apoyo.

Resumen

El sedentarismo se considera uno de los principales factores de riesgo de mortalidad según la organización mundial de la salud, debido a su asociación con enfermedades crónicas no transmisibles como diabetes e hipertensión. Este trabajo presenta un exergame para promover la actividad física, herramienta que permite almacenar datos de desempeño y ritmo cardíaco a partir de la interacción del usuario con esta. Para el desarrollo de la aplicación se utilizó Visual Studio Code, lenguaje de programación Python y librería pygame; aplicación que cuenta con un escenario de juego y una temática de invasión en la que el usuario debe realizar actividad física para salvar al mundo. Se realizaron dos procesos de toma de datos, en la primera toma de datos participaron 18 personas con edad media de 22.5 años, generando un conjunto de datos de 90 registros, los cuales se utilizaron para generar la caracterización de un algoritmo heurístico y el entrenamiento de una red neuronal artificial; posteriormente, ya establecidos los algoritmos de ajuste automático de parámetros en el juego, se realizó la segunda toma de datos, en la cual participaron 8 personas con edad media de 25.3 años. Participantes que fueron separados aleatoriamente en dos grupos, e interactuaron con el juego de configuración heurística y la basada en red neural artificial tres días a la semana durante 4 semanas, con el objetivo de generar conjuntos de datos referentes a la progresión de la frecuencia cardíaca y desempeño. Adicionalmente se realizaron encuestas para conocer información acerca de la motivación durante todo el proceso. Los resultados encontrados acerca de la comparación de los algoritmos (Heurístico - Red neuronal artificial), indican que el juego con algoritmo basado en red neuronal artificial incide en mayor medida en el progreso y motivación de los usuarios; resultados que fueron estadísticamente significativos.

Palabras clave: sedentarismo, exergame, actividad física, red neuronal artificial, adaptabilidad.

Abstract

A sedentary lifestyle is considered one of the main risk factors for mortality according to the World Health Organization, due to its association with chronic non-communicable diseases such as diabetes and hypertension. This work presents an exergame to promote physical activity, a tool that allows the storage of performance and heart rate data from the user's interaction with it. For the development of the application, Visual Studio Code, Python programming language and pygame library were used. The application has a game scenario and an invasion theme in which the user must perform physical activity to save the world. Two data collection processes were carried out. In the first data collection, 18 people with an average age of 22.5 years participated, generating a data set of 90 records, which were used to generate the characterization of a heuristic algorithm and the training of an artificial neural network. Later, once the automatic parameter adjustment algorithms were established in the game, the second data collection was carried out, in which 8 people with an average age of 25.3 years participated. Participants, who were randomly separated into two groups,

interacted with the heuristic and artificial neural network-based configuration game three days a week for 4 weeks, with the aim of generating data sets regarding the progression of heart rate and performance. Additionally, surveys were carried out to obtain information about motivation throughout the process. The results found about the comparison of the algorithms (heuristic and artificial neural network) indicate that the game with an algorithm based on an artificial neural network has a greater impact on the progress and motivation of the users. These results were statistically significant.

Keywords: sedentary lifestyle, exergame, physical activity, artificial neural network, adaptability.

Tabla de contenido

1. Generalidades	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Estado de arte	2
1.3. Objetivos	5
1.3.1. Objetivo general	5
1.3.2. Objetivos específicos	6
1.4. Distribución de la monografía	6
2. Desarrollo del software	7
2.1. Requisitos	7
2.2. Diseño	10
2.2.1. Diseño del juego	10
2.2.2. Diseño de interfaces iniciales	11
2.3. Diagramas de clase	16
2.4. Sensores	16
2.4.1. Comunicación Arduino - Python	16
2.5. Interfaces finales	20
2.6. Protocolo experimental	25
2.6.1. Protocolo experimental para la toma de datos	25
2.7. Encuesta de usabilidad - aplicación	28
2.7.1. Escala de evaluación - encuesta usabilidad	30
2.7.2. Resultados - encuesta usabilidad	30
3. Algoritmos de ajuste dinámico de dificultad	35
3.1. Método para la toma de datos	35
3.1.1. Recursos materiales y software	35
3.1.2. Participantes	36
3.1.3. Proceso toma de datos grupo de prueba	37
3.1.4. Datos de entrenamiento	39
3.2. Desarrollo de algoritmos de ADD	41
3.2.1. Estudio estadístico del conjunto de datos	42
3.2.2. Algoritmo heurístico	44
3.2.3. Algoritmo - Red neuronal artificial	47
3.3. Comparación de algoritmos de ADD	49
4. Resultados	51
4.1. Método para la toma de datos finales	51
4.2. Participantes	51
4.3. Parámetros para la toma de datos	52
4.4. Resultados estudio comparativo de los algoritmos de ADD	54
4.4.1. Análisis progresión pulso cardíaco	54

4.4.2. Análisis progresión motivación	55
5. Discusión, conclusiones y trabajos futuros	62
5.1. Discusión y Conclusiones	62
5.2. Trabajos futuros	63
Anexos	70
A. ANEXO: Instalación de software	71
A.1. Instalación Arduino	71
A.2. Instalación Python - Visual Studio Code	71
A.3. Instalación SQLite	71
A.4. Instalación RStudio	76
B. ANEXO: Comunicación (Python - SQLite)	79
C. ANEXO: Manual ejecución de la aplicación “Pathologhys”	82

Índice de tablas

1.	Requisitos Funcionales.	9
2.	Preguntas de encuesta.	30
3.	Valores - escala de evaluación.	30
4.	Recursos software.	35
5.	Recursos materiales.	36
6.	Características del grupo de prueba.	37
7.	Variables obtenidas interacción (usuario – aplicación).	38
8.	Datos de entrenamiento.	41
9.	Correlación entre variables.	42
10.	Diferencia del numero de vida en cada percepción de dificultad.	43
11.	Diferencia del porcentaje de vida en cada percepción de dificultad.	43
12.	Diferencia del pulso cardíaco en cada percepción de dificultad.	44
13.	Pruebas - Entrenamiento Red neuronal artificial.	48
14.	Comparación métricas de desempeño - algoritmos ADD.	50
15.	Características de la población final.	51
16.	Preguntas - Encuesta 1.	52
17.	Valores - escala de evaluación encuesta 1.	53
18.	Pregunta - Encuesta 2.	53
19.	Valores - escala de evaluación encuesta 2.	53
20.	Parámetros - progresión pulso cardíaco de los usuarios.	55
21.	Parámetros - diferencia de motivación entre algoritmos.	61

Índice de figuras

1.	Mockup inicio	11
2.	Mockup contexto	12
3.	Mockup calentamiento	12
4.	Mockup instrucción	13
5.	Mockup mundo	13
6.	Mockup mundo superado	14
7.	Mockup final	14
8.	Mockup estiramiento	15
9.	Mockup incentivos	15
10.	Diagrama de clase	16
11.	Diagramas de clase	16
12.	Diagrama de conexión	17
13.	Personajes del juego: avatar, instructor, virus respectivamente.	20
14.	Escena inicio	20
15.	Historia del juego	21
16.	Escena estiramiento dinámico	21
17.	Escena misión	22
18.	Escena mundo	22
19.	Escena mensaje	23
20.	Escena mensaje 2	23
21.	Escena estiramiento estático	24
22.	Escenas bonificaciones	24
23.	Escena encuesta	25
24.	Esquema de distribución	26
25.	Consentimiento informado.	28
26.	Preparación inicial.	31
27.	Nube de palabras - Preparación inicial.	31
28.	Aspectos del juego.	32
29.	Nube de palabras - Aspectos del juego.	33
30.	Jugabilidad.	33
31.	Nube de palabras - Jugabilidad.	34
32.	Esquema sesión toma de datos.	37
33.	Interacción usuaria/o con en el software desarrollado - Pathologhys.	38
34.	Ejercicios finales de estiramiento estático.	39
35.	Matriz de confusión – modelo árbol de decisión	45
36.	Árbol de decisión.	46
37.	Matriz de confusión – modelo red neuronal.	48
38.	Progresión del pulso cardíaco.	54
39.	Progresión motivación del grupo 1 - pregunta 1 - encuesta 1.	56
40.	Progresión motivación del grupo 1 - pregunta 2 - encuesta 1.	56
41.	Progresión motivación del grupo 1 - pregunta 3 - encuesta 1.	57

42.	Progresión motivación del grupo 1 - pregunta 4 - encuesta 1.	57
43.	Progresión motivación del grupo 1 - pregunta 1 - encuesta 2.	58
44.	Progresión motivación del grupo 2 - pregunta 1 - encuesta 1.	58
45.	Progresión motivación del grupo 2 - pregunta 2 - encuesta 1.	59
46.	Progresión motivación del grupo 2 - pregunta 3 - encuesta 1.	59
47.	Progresión motivación del grupo 2 - pregunta 4 - encuesta 1.	60
48.	Progresión motivación del grupo 2 - pregunta 1 - encuesta 2.	60
49.	Instalación de librería pyserial.	71
50.	Acceso a la descarga SQLite.	72
51.	Descarga de SQLite.	72
52.	Acceso a terminal PowerShell.	73
53.	Terminal PowerShell.	73
54.	Ventana - Propiedades del sistema.	74
55.	Ventana - Variables de entorno.	74
56.	Agregar dirección de la carpeta de SQLite en variables de entorno.	75
57.	Acceso a la descarga DB Browser for SQLite.	75
58.	Descarga DB Browser for SQLite.	76
59.	Página - Acceso a la descarga.	77
60.	Red integral de archivos R.	77
61.	Acceso a la descarga lenguaje R para Windows.	77
62.	Subdirectorios.	78
63.	Descarga de lenguaje R-4.2.1.	78
64.	Creación, conexión y estructura de la tabla base de datos.	79
65.	Insertar datos del juego en la tabla base de datos.	80
66.	Abrir comunicación por puerto serial.	80
67.	Ubicación de la base de datos.	80
68.	Base de datos - Parámetros del juego.	81
69.	Inicio - Visual Studio Code.	82
70.	Selección del juego con algoritmo de ajuste automático de parámetros.	83
71.	Verificación de la lectura de los sensores.	83
72.	Posición - sensor final de carrera.	84
73.	Ejecución del juego Pathologhys.	84
74.	Abrir comunicación entre Arduino y Python.	85
75.	Inicio de la aplicación Pathologhys.	85

Capítulo 1

1. Generalidades

1.1. Planteamiento del problema

Los Exergames o vídeo juegos activos, hacen referencia a un formato de vídeo juego interactivo que combina la Actividad Física (AF) y el juego [1]. Estos Exergame fomentan el aprendizaje mediante diversas experiencias que favorecen las relaciones sociales, el rendimiento cognitivo (RC), el rendimiento académico (RA), e incrementa el nivel de AF [2]. Adicionalmente, se calcula que más de un 70 % de la población en el mundo muestra comportamientos sedentarios, ya que no realizan suficiente AF como para mantener la salud y controlar el peso corporal, provocando así el aumento de enfermedades crónicas [3]; es por ello que el uso de Exergame, como una herramienta para la práctica de AF, ha generado un impacto positivo frente al problema de la obesidad ligada al sedentarismo [4].

Idealmente un Exergame debe considerar dos cuestiones fundamentales: incentivos y beneficio físico, con el fin de motivar a las personas a realizar AF [5], además de generar una sensación de autonomía, competencia y relación con los demás para mantener el interés del usuario [6]. Lo anterior supone características de diseño para el desarrollo de exergames orientados al usuario a partir de la teoría de la autodeterminación [7]. Adicionalmente, [8] sugiere que un exergame debe promover la movilidad del cuerpo mediante ambientes interactivos, la simulación de diferentes sensaciones, o aprovechar los factores intrínsecos que esta tecnología tiene por naturaleza [9], estas características están ligadas a lo que [10] llama estado de flujo.

Existen Exergames para promover la AF que utilizan el desempeño o variables fisiológicas para presentar información relevante al usuario, con un enfoque simplemente informativo, como se muestra en [11, 12, 13], los cuales no aprovechan las ventajas que ofrece un algoritmo de ajuste dinámico de dificultad (ADD); como por ejemplo, el ajuste automático de parámetros mediante el análisis de variables como desempeño, el comportamiento o variables fisiológicas para personalizar la experiencia del usuario. Aunque también existen desarrollos como [14, 15, 16], que utilizan variables de desempeño como insumo para el ADD, con el fin de obtener mejores resultados en cuanto a métricas de compromiso, como cantidad y tiempo empleado en el juego; sin embargo, [17] afirma que no hay evidencia suficiente que demuestre que el ADD incida en métricas de compromiso o desempeño.

Es así como lo expuesto hasta ahora, demuestra que no hay claridad sobre el efecto de la variable medida en el ADD (desempeño o señales fisiológicas), lo cual lleva a la pregunta de investigación ¿Qué diferencias presenta el ajuste dinámico de dificultad que emplea señales fisiológicas con respecto al basado en desempeño, en cuanto a la motivación y los resultados en un grupo de personas sedentarias que utiliza un Exergame?.

1.2. Estado de arte

Buscando respuesta a las siguientes preguntas: ¿Que eficiencia muestran los Exergame para combatir el sedentarismo? ¿Que relación existe entre estado de flujo y el ADD? y ¿Cuales son los efectos de la variable medida en el ADD en cualquier juego? Se realizo una búsqueda utilizando bases de datos como: Scopus y Scielo, además de palabras clave como: estado de flujo, estrategias, patologías, ajuste dinámico de dificultad, actividad física y Exergame; donde se encontraron 74 artículos tanto en español como en inglés, de los cuales se incluyeron 46 de ellos mediante criterios de inclusión como: la existencia de las palabras clave en los títulos y resúmenes de los artículos; a fin de reducir y centrar la investigación. Luego se paso a implementar criterios de exclusión como: la existencia de herramientas utilizadas para promover la AF, resultado y conclusiones acordes a la temática, con lo cual se establecieron 31 artículos finales que darán respuesta a las preguntas planteadas y que ayudaran en la construcción del estado del arte.

La Organización Mundial de la Salud (OMS), indica que en el mundo hay un alto riesgo de padecer enfermedades crónicas, a causa de la disminución del gasto de energía y aumento en la grasa corporal; esto debido a comportamientos sedentarios y falta de actividad física [18]. Frente a esta necesidad del generar motivación para realizar AF, aparece el test la escala (BPNES) [19], la cual fue adaptada a la AF, con el fin de poder evaluar las tres necesidades psicológicas básicas establecidas por la teoría de la autodeterminación, en el cual [20] muestra que la satisfacción de estas tres necesidades psicológicas, ayudaron significativa y positivamente la intención de seguir practicando ejercicio físico. Dicho test, también ha permitido determinar que existe una serie de patologías que suelen acompañar este contexto como se menciona en [21], y que a su vez ha reflejado que factores psicológicos, cognitivos, emocionales, sociales y culturales, son determinantes en la AF [22]; con lo planteado hasta ahora, [23] concluye que el concepto de AF, no solamente se relaciona con la ausencia de enfermedades y afecciones, sino que también abarca la perspectiva de salud mental, lo que repercute en el problema del sedentarismo si no se tienen en cuenta.

Es así, como el uso de aplicaciones Exergame que fomentan la AF con el fin de atenuar el problema del sedentarismo toma fuerza, uno de ellos es un Exergame basado en Kinect y Hopscotch para promover la AF, herramienta que busca beneficiar la población infantil entre los 5 a 7 años que tienen prevalencia a la obesidad, dicho juego consiste en evaluar ejercicios que involucran motricidad gruesa de miembros superiores e inferiores, como saltos y elevación de rodillas mediante instrucciones impuestas por escenarios del juego [7], concluyendo que

el juego contribuye con la adherencia a los programas de actividad física y que aproximadamente tiene un 90 % de aprobación, ya que los usuarios manifiesta querer seguir jugando. Así también, se realizó un estudio [24] tipo descriptivo, que tuvo como objetivo evaluar la percepción del uso de los Exergames o vídeo juegos de ejercicio; adaptando un medio de proyección, que para el caso fue un televisor de 42 pulgadas, una consola XBOX-360 con Kinect y un popular juego de fitness denominado *Your Shape Fitness Evolved* el cual trata de llevar a cabo distintos tipos de fitness o actividades de cardio como saltar o boxeo e incluso bailar al ritmo de la música; dando como resultado que de los 384 usuarios encuestados, el 64 % calificaron la herramienta como apropiada y novedosa, y el 34 % calificaron la experiencia de usuario como divertida y entretenida.

Por otro lado, también se han desarrollado Exergames como un complemento para la educación. Uno de ellos es un juego donde a partir de la AF implementan una metodología de enseñanza; la cual se basa en un lector de códigos QR, realidad aumentada, una aplicación que mide la actividad física y otra para compartir datos. Dicha actividad se planificó para que cada equipo deba desplazarse dentro y fuera del campus universitario, buscando las pistas que son los códigos QR ubicados en diferentes partes, los cuales poseen el reto que deben resolver y la pista para el siguiente reto, así como también datos e información acerca de algún tema educativo. Dando como conclusión que es viable aplicar con éxito actividades del tipo Exergames en el ámbito educativo, permitiendo un método complementario en procesos de enseñanza, aprendizaje y fomento de AF [25].

Según el autor Csikszentmihalyi, la teoría del estado de flujo [10], juega un papel importante al momento de determinar en qué medida las personas se involucran o no en la realización de una actividad. Así mismo, según el estudio [26], concluyen que las medidas de los componentes motivacionales, presentan un impacto positivo en los vídeo juegos, y a un más, sí es una version con adaptabilidad, lo que indica la necesidad de considerar en detalle los aspectos motivacionales en este campo.

Un ejemplo de lo anterior, es un Exergame enfocado en la neurorehabilitacion por medio de la AF, donde al utilizar un entorno divertido y la implementación de 3 ejercicios de evaluación funcional (ejercicios de equilibrio), logran obtener datos del recorrido del paciente, el tiempo en cumplir cada objetivo y la evolución de este. Dicho juego consiste en inclinar el cuerpo en 6 direcciones ya establecidas, con el fin de que el usuario mantenga el balance en dicha posición por un tiempo, para finalmente regresar a la posición inicial [27]; lo anterior, arrojo resultados positivos, puesto que el paciente logra alcanzar un estado de afinidad con el juego, alterando su percepción del tiempo y generando una concentración en el ejercicio, cuando el juego adapta la dificultad, al considerar el tiempo que demora el usuario en alcanzar un objetivo que se muestra en la escena del juego.

Así mismo, se desarrollo un Exergame basado en un conjunto de ejercicios enfocados en el movimiento de todo el cuerpo (MGH), ajustables manualmente, con versiones adaptativas e intervenciones de fisioterapeutas, en el cual dichos juegos consisten en atrapar objetos a

diferentes distancias con movimientos suaves, así como también mantener posiciones acordes a las exigidas por el juego, lo anterior con el propósito de obtener un rango de ajustes de movimiento a través de las zonas del cuerpo [26]. Concluyendo que los componentes motivacionales (esfuerzo - importancia) y funcionales (tensión - presión) arrojaron resultados positivos, ya que la adaptabilidad del juego se ajustaba de acuerdo al grado de éxito del componente funcional, que para este caso, es el desempeño del usuario, al realizar ejercicios en los que involucraba velocidad, precisión de movimiento y resistencia.

Otro ejemplo en el contexto de la salud, es presentado en [28], en el cual implementan un Exergame que consiste en usar las extremidades superiores para recoger manzanas virtuales que se muestran en los árboles, al mismo tiempo que el avatar se desplaza a diferentes velocidades por medio de una huerta de arboles que es la escena del juego; aplicación que surge como un medio alternativo para la instrucción de ejercicios en escenarios de aplicación como fisioterapia (PT) o rehabilitación; resaltando buenas puntuaciones de desempeño respecto al movimiento de la persona y la actitud de esta, que fueron significativamente más altas, resultado obtenido mediante la adaptabilidad del juego, puesto que se ajustaba en relación al desempeño del jugador, al mostrar escenografías que daban al usuario más concentración y adherencia a la AF.

También se desarrolló un ADD en un juego mediante Biofeedback ¹, donde la dinámica del juego se basa en saltar, correr, caminar y evadir obstáculos, cuya dificultad es modificada de acuerdo a las variaciones del pulso del jugador; y teniendo en cuenta variables como: grado de satisfacción, número de intentos y tiempo en completar cada nivel [29]. Concluyendo que la experiencia de aquellos participantes que fueron estimulados por el ADD durante la sesión de juego, presentaron mejores puntuaciones; ya que dentro de los comentarios recibidos en la sección de preguntas, los jugadores que experimentaron el ADD, expresaron agrado hacia la dificultad del juego, como también al diseño y adaptación de los diferentes niveles. En cambio, los participantes cuya experiencia mantuvo una dificultad constante, expresaron su agrado por las mecánicas presentes. Esto permite concluir que el ajuste dinámico de dificultad fue perceptible por parte de los jugadores.

A su vez también se desarrolló otra aplicación, un juego en el cual el objetivo es caminar un determinado número de pasos durante cada escena; estos pasos del usuario se registran mediante Kinect, y representan el desempeño del usuario, el cual será el insumo del ADD. Para agregar un elemento de desafío, el usuario debe intentar caminar a un ritmo determinado y evitar obstáculos como baches como se muestra en [14], el propósito de la investigación fue evaluar el efecto que tiene el componente adaptativo en el impacto motivacional del juego, así como evaluar la usabilidad del juego, el efecto en la condición física y la conexión social del usuario, arrojando resultados positivos, ya que los usuarios aumentaron métricas de compromiso como la cantidad de veces que utilizaron el juego y tiempo empleado en este.

¹Biofeedback: Proceso que permite que una aplicación de software interactivo como lo es un videojuego adapte su comportamiento en función de algún tipo de señal obtenida desde el usuario o jugador, con el fin de medir y procesar señales biológicas.

En concordancia a lo anterior, se desarrolló una aplicación Exergame, que tiene como objetivo, dar con un valor que equilibre la experiencia de usuario entre divertida y desafiante, evitando el aburrimiento y consiguiendo una evolución del dominio del jugador sobre el juego [30], dicho juego se basa en que el usuario debe recolectar una cantidad de objetos dispersos en un mapa, al mismo tiempo que deberá evitar obstáculos o eliminarlos. Obteniendo como resultado, una mejora sin intervención humana del 16% en cuanto a la calidad de la experiencia vivida por los usuarios en el juego, cuando este adapta la dificultad teniendo en cuenta la habilidad del jugador, en la que dicha adaptabilidad depende de las variables de desempeño (racha de derrotas y racha de victorias).

Lo presentado anteriormente evidencia que cada autor expone propuestas diferentes sobre las variable medidas y cómo estas influyen en el entorno y aceptación de un vídeo juego; sin embargo, según [31] dichos aspectos se ven afectados al momento de hacer que la dinámica del juego sea colectiva, y para justificar su afirmación, desarrollaron una aplicación basada en el juego *Pong* que tiene como propósito evaluar los efectos en el estado de flujo de dos jugadores, mediante puntuación entre ambos y la diferencia en el tiempo. Concluyendo que los resultados obtenidos no indican que el control asociado a la variable medidas haya tenido una influencia favorable en el juego.

Frente a lo planteado, cada autor presenta una propuesta propia de Exergame con ADD utilizando una variable medida definida y un enfoque de ADD específico; sin embargo, no se identificó un estudio comparativo que estableciera un enfoque recomendado. En adición a lo anterior, [32] sostiene que ha habido muchos esfuerzos para adaptar la teoría del flujo a muchos contextos, incluidos los vídeo juegos, lo que evidencia un desconocimiento sobre que características del juego llevan a los jugadores a un estado de flujo. Es así que este trabajo propone comparar diferentes enfoques de ADD en el contexto de un Exergame para medir su incidencia en el desempeño y el compromiso de usuarios sedentarios.

1.3. Objetivos

A continuación, se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de este proyecto.

1.3.1. Objetivo general

Comparar la incidencia de un algoritmo de ajuste dinámico de dificultad basado en señales fisiológicas frente a uno basado en el desempeño, en cuanto a la motivación y el progreso de un grupo de personas sedentarias, en un juego serio para la promoción de la actividad física.

1.3.2. Objetivos específicos

- Definir los parámetros de desempeño de un grupo de usuarios en un juego serio orientado a la actividad física, para el desarrollo de un ADD con enfoque heurístico.
- Desarrollar un clasificador perceptrón para mapear el ritmo cardíaco y la percepción de dificultad del usuario durante el juego serio.
- Evaluar estadísticamente la motivación y el progreso obtenido por un grupo de usuarios que utilice el ADD basado en desempeño, con respecto al grupo que utilice el ADD basado en señales fisiológicas.

1.4. Distribución de la monografía

Este documento contiene seis capítulos que abarcan la estructura de este trabajo de grado, los cuales son: Capítulo 1 generalidades, capítulo que contiene el planteamiento del problema, estado de arte y objetivos de este trabajo de grado. Capítulo 2 desarrollo del software, capítulo en el cual se presenta la especificación de parámetros, diseño y desarrollo del software, así como también información de las tecnologías utilizadas para la ejecución de este trabajo de grado. Capítulo 3 algoritmos ADD, este capítulo contiene los parámetros, desarrollo e implementación de los algoritmos de inteligencia artificial (IA), utilizados para generar un ajuste automático de parámetros en el juego serio (exergame). Capítulo 4 resultados, capítulo en el que se presenta el análisis de los resultados obtenidos de la comparación de enfoques de ajuste dinámico de dificultad, mediante la aplicación del exergame, y finalmente, capítulo 5 discusión, conclusiones y trabajos futuros, capítulo en el cual se presenta la discusión y conclusiones obtenidas del desarrollo de este trabajo de grado, además de los posibles trabajos futuros.

Capítulo 2

2. Desarrollo del software

Este capítulo aborda los requisitos planteados por un profesional en el área de AF, los cuales se utilizaron para el desarrollo del exergame; posteriormente, se indica el diseño del juego a partir mockups y finalmente, se establece el componente hardware y software necesario para el desarrollo de la aplicación.

2.1. Requisitos

Para definir las especificaciones del sistema, se han realizado consultas con una profesional especializada en el área de actividad física, así como también consultas bibliográficas que ayudaron al desarrollo de este.

Segun la OMS, la variable del índice de masa corporal (IMC) se utiliza frecuentemente para identificar el sobrepeso y la obesidad, puesto que es un indicador simple de la relación entre el peso y la talla [33]. Además, afirman que una de las causas fundamentales del sobrepeso y la obesidad, es un desequilibrio energético entre calorías consumidas y gastadas, y a su vez uno de los factores de esta causa, es la disminución en la actividad física debido a comportamientos cada vez más sedentarios, concluyendo que comportamientos sedentarios generan un IMC elevado, lo cual es un factor de riesgo de enfermedades, como: enfermedades cardiovasculares, trastornos del aparato locomotor y obesidad infantil.

Teniendo en cuenta lo anterior, se opto por aplicar un diseño de enfoque participativo, siguiendo los principios de [34]. Por medio de reuniones virtuales con una experta en el área de actividad física y siguiendo la metodología SCRUM - historias de usuario [35], se logró definir el ejercicio adecuado para la promoción de actividad física, así como también definir parámetros de tiempo que involucran un perdida calorífica mínima para la disminución del IMC, con lo cual se podría atenuar la problemática de comportamientos sedentarios, requisitos funcionales que se presentan en las siguiente tabla, Tabla 1:

Título requisito	Descripción del requisito	Condición de satisfacción
Evolución y estructura narrativa.	Yo como experta en el área de actividad física, quiero que la aplicación tenga una temática que motive y genere en el usuario compromiso al realizar AF de forma interactiva.	La aplicación (exergame), cuenta con una temática de invasión con el objetivo de darle al usuario un propósito para realizar AF.
Interfaces simples.	Yo como desarrollador, quiero que la aplicación cuente con interfaces intuitivas que faciliten la interacción con el usuario.	La aplicación (exergame), tiene interfaces con información concreta y relevante con el fin de no saturar visualmente al usuario.
Control de duración de la actividad física.	Yo como experta en el área de actividad física, quiero que la aplicación mantenga al usuario realizando actividad física durante 15 minutos, para garantizar que el usuario realice el mínimo requerido de actividad física diaria.	La actividad física que se realiza con la aplicación (exergame), tiene un tiempo de duración de 8 minutos, actividad que se realizara 2 veces al día.
Control de duración por cada sesión de actividad física.	Yo como experta en el área de actividad física, quiero que la aplicación temporice cada sesión de actividad física, con un tiempo mínimo de 8 minutos, para garantizar un rendimiento cardiorespiratorio estable y evitar su saturación.	La actividad física que se realizará con la aplicación, cuenta con 1 sesión que tiene un tiempo de duración de 8 minutos.
Ejercicios de resistencia	Yo como experta en el área de actividad física, quiero que la aplicación permita al usuario realizar ejercicios de resistencia física, para mejorar la fuerza muscular en los grandes grupos de músculos de las extremidades.	La actividad física que se realiza en la sesión de la aplicación, es un ejercicio de resistencia.
Ejercicios aeróbicos	Yo como experta en el área de actividad física, quiero que la aplicación permita al usuario realizar ejercicios aeróbicos, para mejorar las funciones cardiorrespiratorias, los factores de riesgo cardiovascular y otros factores de riesgo de enfermedades metabólicas.	La actividad física que se realiza en la sesión de la aplicación (exergame), es una actividad de ejercicio aeróbico, ya que genera beneficios cardiovasculares y musculares.

Segue en la página siguiente.

Título requisito	Descripción del requisito	Condición de satisfacción
Sesión de estiramiento	Yo como experta en el área de actividad física, quiero que la aplicación fomente al usuario a realizar ejercicios de estiramiento, para prepararlo articularia y muscularmente, con el fin de que este no sufra alguna lesión.	La aplicación (exergame), cuenta con un escenario de calentamiento muscular (estiramiento dinámico) antes de iniciar con la actividad física y un escenario de (estiramiento estático) después de finalizar el juego.
Incentivo visual.	Yo como experta en el área de actividad física, quiero que la aplicación muestre incentivos visuales como mensajes e imágenes después de finalizar la AF, el objetivo es generar motivación en el usuario.	La aplicación (exergame), incluye interfaces de bonificación, las cuales muestran mensajes motivadores.
Registro - datos percepción de dificultad.	Yo como desarrollador, quiero que la aplicación permita registrar y almacenar datos referentes a la dificultad percibida por el usuario después de cada interacción (usuario - aplicación).	La aplicación (exergame), genera archivos SQLite que contienen registros de datos referentes a la percepción de dificultad percibida por el usuario después de cada AF.
Interacción simple.	Yo como desarrollador, quiero que la aplicación permita reconocer el movimiento del usuario, con el objetivo de gamificarlo.	La gamificación del movimiento, se realiza a través de un sensor final de carrera ubicado en la pierna del usuario.
Registro - datos de desempeño.	Yo como desarrollador, quiero que la aplicación permita registrar y almacenar datos referentes al desempeño después de cada interacción (usuario - aplicación).	La aplicación (exergame), genera archivos SQLite que contienen registros de datos referentes al desempeño del usuario después de cada AF.
Parámetros del juego.	Yo como desarrollador, quiero que la aplicación incluya mecánicas ajustables, con el fin de incidir en la motivación y desempeño del usuario.	La aplicación (exergame) posee mecánicas de velocidad del enemigo ajustables.
Registro - datos fisiológicos.	Yo como desarrollador, quiero que la aplicación permita registrar y almacenar datos referentes al pulso cardíaco después de cada interacción (usuario - aplicación).	La aplicación (exergame), genera archivos SQLite que contienen registros de datos referentes al pulso cardíaco del usuario después de cada AF.

Tabla 1: Requisitos Funcionales.

2.2. Diseño

2.2.1. Diseño del juego

Para el diseño de este juego se tuvo como base los conceptos de estado de flujo, adherencia y motivación en actividades físicas, por lo cual se realizó una revisión bibliográfica con el fin de determinar técnicas y estrategias que ayuden en el desarrollo de este. Según [36], existen parámetros que generan en los videojuegos entretenimiento así como también aprendizaje, estos parámetros son: la evolución narrativa, la estructura narrativa, los escenarios y personajes; los cuales se aplicaron en este trabajo y se abordan a continuación:

- **Evolución narrativa**

Corresponde a los sucesos que pasan en la historia, en la cual, por medio de una narrativa tradicional se crea el concepto del juego [36].

Aplicando esta definición, la historia inicia cuando aparece un virus llamado (Pathologys) que comienza a consumir y devorar un mundo en el cual sus habitantes son (sedentarios), pero para detenerlo aparece un héroe, personaje que será la gamificación del usuario, el cual deberá realizar misiones de actividad física que harán que este virus se detenga, y así poder salvar el mundo.

- **Estructura narrativa**

La estructura, es la secuencia lineal de la historia del juego entre escenarios y como estos son influenciados por el usuario [36].

En este juego, el personaje aparecerá en un mundo, el cual tendrá 8 etapas y un tiempo determinado por cada etapa. El jugador deberá realizar en la primera etapa de este mundo, una actividad específica para superar la misión de lo contrario perderá una vida, una vez superada esta primera etapa, pasará a la segunda etapa, en la cual deberá realizar la misma actividad; sin embargo, cada etapa (8 etapas) tendrá un ajuste de parámetros dependiendo del desempeño del jugador. Una vez superado las 8 etapas, el jugador recibirá medicamentos por los logros obtenidos; con los que podrá detener al virus y salvar el mundo.

- **Escenarios**

Son los parámetros visuales en los cuales la historia del juego se lleva a cabo, y que contextualizan al jugador [36].

El escenario desarrollado para este juego es el mundo Legs. En este mundo, se desplegará la escena del juego, en la cual el jugador empezará con tres vidas las cuales se restablecerán al superar cada etapa. En la escena se podrá observar una barra de vida en la parte superior de la pantalla, al extremo derecho la representación del mundo en el que se encuentra así como una barra de tiempo, también se mostrará un indicador

que refleje el puntaje del jugador y el número de vidas que tiene, además en la parte inferior derecha de la pantalla estará un instructor gamificado el cual ayudará al jugador a entender la misión que debe realizar y finalmente el avatar que es la representación del jugador en el juego.

- **Personajes**

Los personajes constituyen un elemento absolutamente imprescindible para una historia, ya que a lo largo de su desarrollo producen el progreso de la narración [36]. Para la selección de los personajes de este trabajo, se procuró que estos mantengan coherencia con la historia y escena, así como también un aspecto amigable para el usuario.

2.2.2. Diseño de interfaces iniciales

Para realizar el diseño de las interfaces, se realizó la creación de los primeros mockups, que relaciona el escenario y los personajes mencionados anteriormente, con los cuales se dará una perspectiva de jugabilidad e historia del juego.

- **Escena de inicio:** En la figura 1, se presenta el nombre de la aplicación y el paso a seguir para dar inicio al juego presionando una tecla aleatoria.

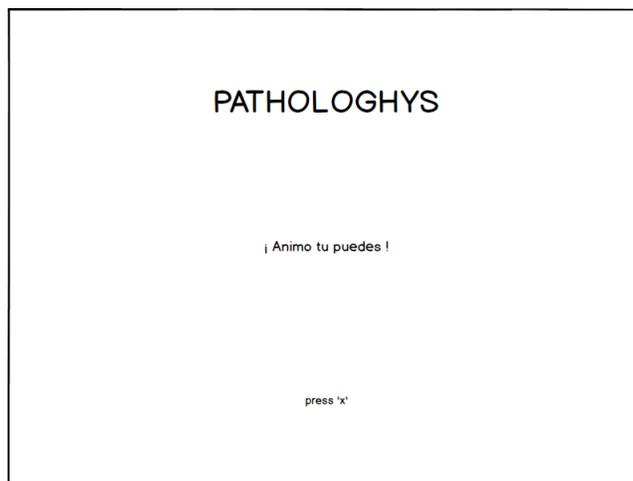


Figura 1: Mockup inicio

- **Contexto del juego:** En la figura 2, se presenta una introducción a la temática del juego, el jugador deberá leer dicha historia y posteriormente pulsar la tecla x para continuar.

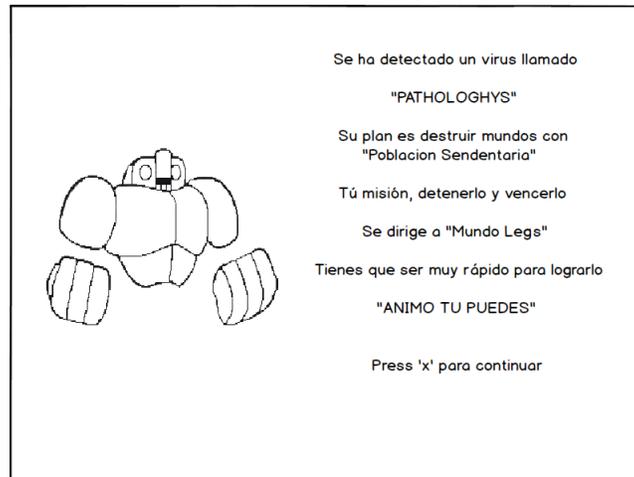


Figura 2: Mockup contexto

- **Escena calentamiento:** En la figura 3, se presenta una sección, en la cual se da instrucciones al jugador, para que realice una serie de ejercicios articulatorios, antes de comenzar con las misiones del juego.

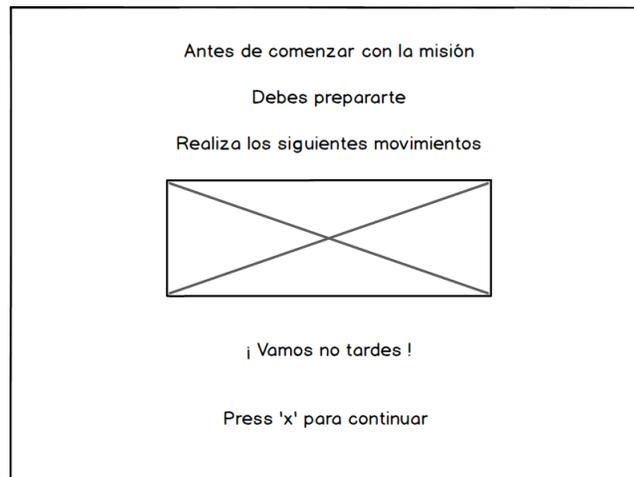


Figura 3: Mockup calentamiento

- **Instrucción:** En la figura 4, se presenta la instrucción, la cual da a conocer al jugador, la manera en la que deberá actuar ante el siguiente escenario.

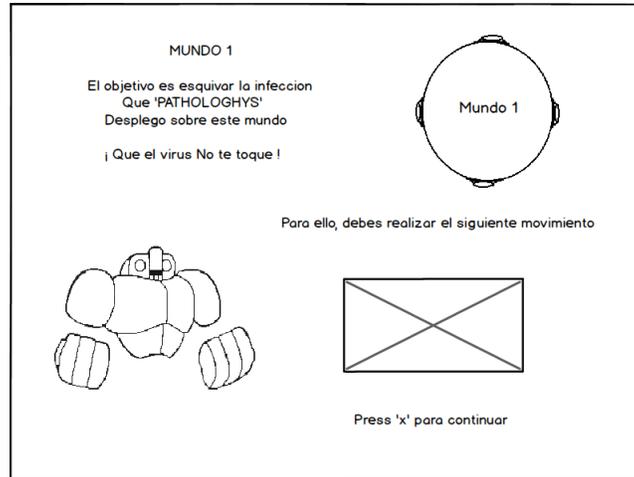


Figura 4: Mockup instrucción

- **Escena mundo:** En la figura 5, se presenta la escenografía del mundo, en el cual el jugador deberá completar ciertas actividades para poder superar dicha escena.

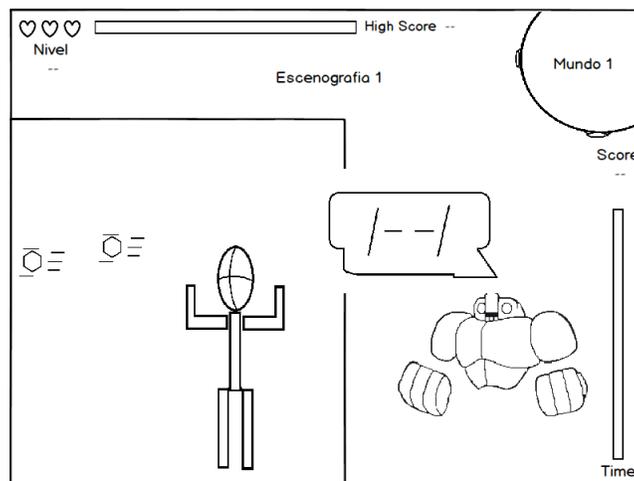


Figura 5: Mockup mundo

- **Mensaje mundo superado:** En la figura 6, se presenta un mensaje en el cual se motiva al jugador por salvar al mundo, y posteriormente, se muestra un mensaje final.

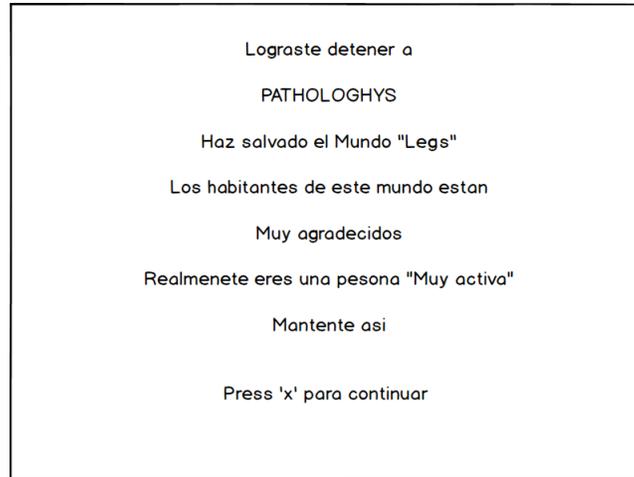


Figura 6: Mockup mundo superado

- **Mensaje final:** En la figura 7, se presenta un mensaje final con el fin de motivar y felicitar al jugador por superar y ganar el juego.



Figura 7: Mockup final

- **Escena estiramiento:** En la figura 8, se presenta una pequeña sección, en la cual se da instrucciones al jugador, para que realice una serie de ejercicios de estiramiento articulatorios, para dar fin con el juego.

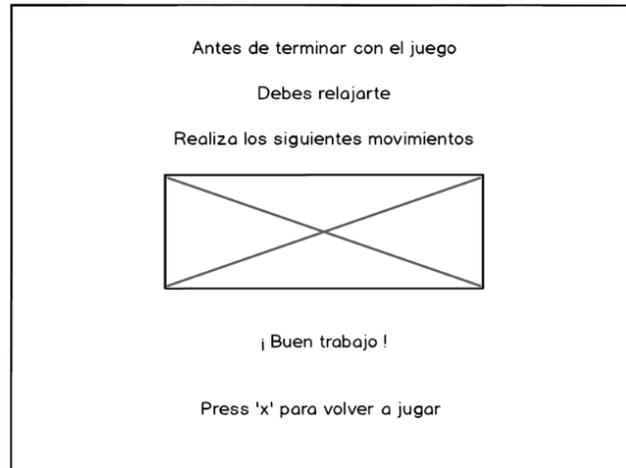


Figura 8: Mockup estiramiento

- **Escenas adicionales:** En la figura 9, se presenta un mensaje que motiva e incentiva al jugador por superar cada uno de los 8 niveles que tiene el mundo.



Figura 9: Mockup incentivos

2.3. Diagramas de clase

Un diagrama de clases recoge las clases de objetos y sus asociaciones. Con el fin de facilitar la comprensión de la estructura de una clase en la cual se definen los atributos y las operaciones o métodos, se realizó el siguiente diagrama que representa la estructura y el comportamiento de cada uno de los objetos del sistema y sus relaciones con los demás objetos.

Diagrama en el cual se puede apreciar que las clases hijas: Player y Mob, heredan los atributos de la super clase Explosión, como se muestra en la figura 10.

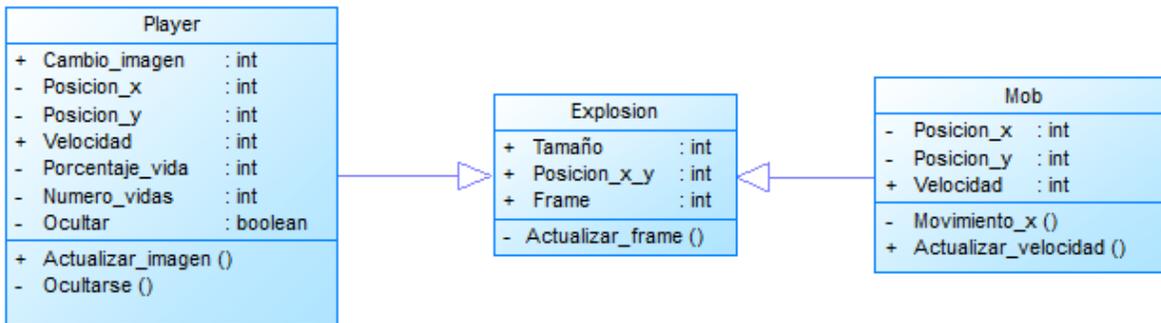
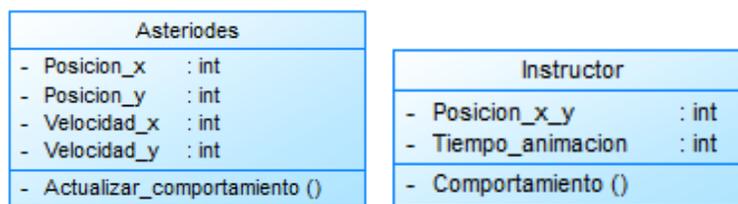


Figura 10: Diagrama de clase

Así mismo, se realizó los diagramas de la clase Asteroide y de la clase Instructor, en los cuales se representan los atributos de cada clase, así como también las operaciones o métodos que estas contienen. Figura 11.



(a) Clase asteroide

(b) Clase instructor

Figura 11: Diagramas de clase

2.4. Sensores

2.4.1. Comunicación Arduino - Python

1. Para la comunicación entre Arduino - Python y la recepción de datos, se necesita la implementación del siguiente circuito Figura 12, en el que se requerirán los siguientes

materiales:

- Una protoboard
- Una placa Arduino Nano
- Una resistencia de 30 k ohm
- Un sensor Final de carrera
- Un sensor de pulso cardíaco XD-58C
- Cables para la conexión

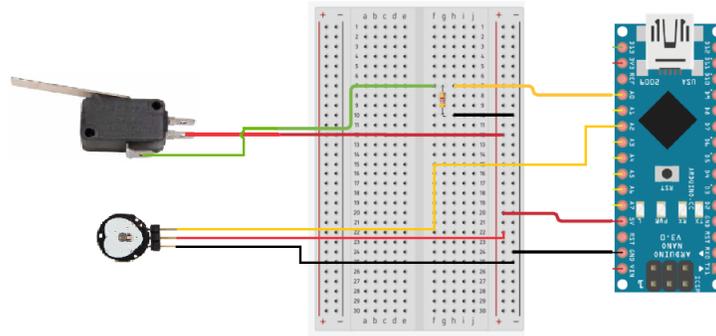


Figura 12: Diagrama de conexión

2. Una vez desarrollado lo anterior, se procede a realizar el código en Arduino, para leer y mostrar los datos de los sensores de los cuales se requiere la información. ver las siguientes líneas de código.

```
//Variable donde almacenaremos el valor del sensor
int valorSP;
int valorSPC;
int minimoEntreLatidos = 300;
int conteoLatidos = 0;
int Umbral = 518;
int Latidos;

// Inicializamos la comunicacion serial
void setup(){
  Serial.begin(9600);}

void loop(){
  // Tiempo Latidos Por Minuto con valor actual devuelto por millis()
  static unsigned long tiempoLPM = millis();
  // Tiempo entre Latidos con valor actual devuelto por millis()
  static unsigned long entreLatidos = millis();
```

```

// Leemos las entradas analogicas A0 y A2
valorSP = analogRead(A0);
Serial.print(valorSP);
Serial.print(",");

valorSPC = analogRead(A2);

if((valorSPC >= Umbral) && (millis() > entreLatidos+ minimoEntreLatidos
)){
// Actualiza variable entreLatidos con millis
entreLatidos = millis();
conteolatidos++;}

// Si transcurrieron 5 segundos
if (millis() >= tiempoLPM + 5000){
Latidos = conteolatidos * 12;
conteolatidos = 0;
// Actualiza variable con valor de millis()
tiempoLPM = millis();}

Serial.println(Latidos);
delay(50);}

```

Código Arduino - lectura de sensores.

3. Paso siguiente, se procede a abrir Python para realizar la comunicación entre estos dos softwares, para que los datos obtenidos en Arduino se puedan observar en Python, y posteriormente usarse en conjunto con pygame.

a) Se Importan las siguientes librerías que se necesitan para la comunicación entre Arduino – Python.

```

import serial
import signal
import sys
import serial.tools.list_ports

```

Librerías.

b) Se realiza el código que permitirá la comunicación entre Arduino y Python mediante puerto serial:

1) Para abrir la comunicación, se pedirá ingresar por medio de teclado el nombre del puerto por el cual se hará la comunicación, dato que se guardará en la variable “porta”, posteriormente, con el comando “serial.Serial” se abre mencionado puerto y finalmente se guarda el dato en la variable “ser”, como se

muestra a continuación en las siguientes líneas de código.

```
ports = list(serial.tools.list_ports.comports())

for SerialPortName in ports:
    print(SerialPortName)

try: porta=input("INGRESE EL NOMBRE DEL PUERTO SERIE DONDE ESTA
                CONECTADO EL ARDUINO: ")

    ser = serial.Serial(str(porta))
    print(ser.name)

except serial.SerialException:
    print("PUERTO INEXISTENTE")
    sys.exit(0)
```

Abrir comunicación.

- 2) Una vez realizado lo anterior, se procede a leer dicho dato guardado en la variable "ser" que contiene la información del puerto por el cual se obtendrá los datos desde Arduino a Python. Para la lectura de dicho puerto se usa las siguientes líneas de código.

```
datos = ser.readline()
print(datos)
```

Lectura de datos.

- 3) Para cerrar la comunicación de forma segura, se realiza una función la cual una vez ejecutado el programa indicara al usuario un mensaje con la instrucción a seguir para cerrar la comunicación de forma segura, como se muestra a continuación en las siguientes líneas de código.

```
def signal_handler(signal, frame):
    print("HAS SALIDO CTRL + C FUE PRESIONADO")
    sys.exit(0)

signal.signal(signal.SIGINT, signal_handler)

print("PARA SALIR PRESIONAR CTRL + C")
```

Cerrar comunicación.

2.5. Interfaces finales

En esta sección, se presentan los escenarios, personaje y objetos finales que hacen parte de la aplicación exergame. Elementos gráficos tomados de los siguientes sitio web [37, 38, 39]. Repositorios que ofrecen activos de contenido abierto y con licencia gratuita como: imágenes, imágenes vectoriales, audios y vídeos.

El software denominado Pathologhys, fue creado en Visual Studio Code, con lenguaje Python y librería pygame. Este, permite a los usuarios realizar actividad física de forma interactiva.

- **Personajes:** La aplicación Pathologhys presenta una temática de invasión en la cual se muestra la gamificación del usuario mediante un avatar, un virus llamado (Pathologhys) que representa el enemigo y un personaje que contextualiza escenarios del juego, muestra mensajes motivacionales e instrucciones a seguir, llamado instructor, ver figura 13.

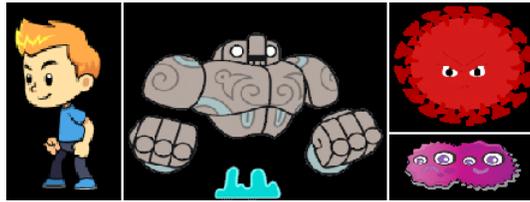


Figura 13: Personajes del juego: avatar, instructor, virus respectivamente.

- **Escena inicial del juego:** la escena inicial de la aplicación da instrucciones al jugador de iniciar el juego cuando se presione una tecla, como se muestra en la figura 14.

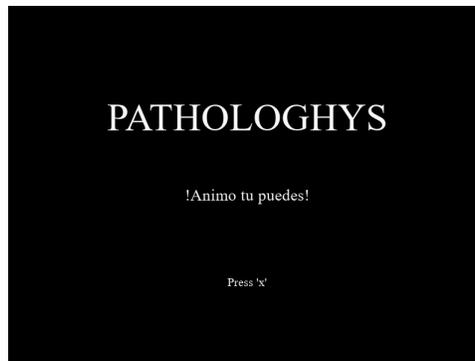


Figura 14: Escena inicio

- **Historia del juego:** Posteriormente aparece la historia del juego, en la cual se contextualiza al jugador sobre la temática del juego, escena en la cual aparece la representación del instructor, figura 15.



Figura 15: Historia del juego

- Escenarios del juego:** Una vez el jugador decida continuar, se presentaran escenas en las cuales se tratara de persuadir al jugador de realizar una serie de ejercicios, los cuales deberá superar para conseguir avanzar de nivel y posteriormente superar el mundo, para lograr el objetivo que es vencer el virus.

Iniciando así, con la escena de calentamiento figura 16, en la cual se pretende informar al jugador que es recomendable hacer un calentamiento general (estiramiento dinámico) antes de desempeñar cualquier actividad física. La idea es que tanto el sistema cardiovascular como los grupos articulares y musculares del cuerpo estén preparados.



Figura 16: Escena estiramiento dinámico

Una vez cumplida la etapa de calentamiento del juego, el jugador estará preparado físicamente para realizar la actividad que se presenta en la figura 17, en la cual se contextualiza la misión y el objetivo a realizar, mediante un pequeño mensaje e instrucciones de los movimiento que el jugador deberá replicar para poder superar el mundo.



Figura 17: Escena misión

Posteriormente, se da inicio a la primera sesión de actividad física. En un escenario que tiene 8 etapas de juego, etapas que poseen un tiempo de duración de 1 minuto, el jugador deberá realizar ejercicios aeróbicos de resistencia (sentadillas) para evitar ser golpeado por el virus, el cual se mueven horizontalmente y tiene diferentes variaciones de velocidad, que van en un rango de 4.0 a 6.0 con aumentos o disminuciones de 0.5. Dichas variaciones de velocidad (se pueden manipular para incidir en la percepción de dificultad del usuario) representan la dificultad de las etapas del juego. En total el usuario realizará 8 minutos de actividad física, ver figura 18.

Sentadillas: El ejercicio consiste en flexionar los brazos, posicionar los pies a la anchura de los hombros, flexionar las rodillas y bajar el cuerpo manteniendo la verticalidad (espalda recta), para luego regresar a una posición erguida.



Figura 18: Escena mundo

Como se muestra en la figura 18, en cada etapa del juego, el usuario observará una barra que muestra el porcentaje de una de las tres vidas que este tendrá, barra de vida que disminuirá si el usuario es golpeado por el virus, recibiendo un total de daño equivalente a 20 unidades sobre 100 totales, lo que representa un máximo de 5 golpes

por cada vida dentro del juego; al llegar a este límite el usuario perderá una vida. Las vidas se restablecerán al superar cada etapa del juego y este finaliza cuando el jugador culmine todas las etapas o pierda todas sus vidas.

Una vez superadas las 8 etapas de la escena (mundo), se muestra un mensaje para generar motivación al jugador. figura 19.

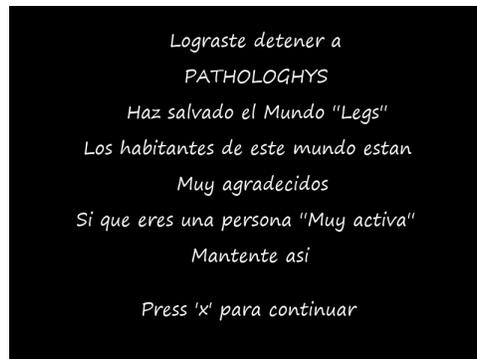


Figura 19: Escena mensaje

Finalmente, se presentará la escena final con un mensaje de victoria para dar motivación al jugador y contextualizar que el juego finalizo y que ha derrotado a Pathologhys. figura 20.



Figura 20: Escena mensaje 2

Para terminar con la interacción, se mostrara una escena de estiramiento final, figura 21, en la cual se informa al jugador que es recomendable realizar un estiramiento final (estiramiento estático) después de finalizar cualquier actividad física. La idea es que tanto el sistema cardiovascular como los grupos articulares y musculares del cuerpo se relajen.



Figura 21: Escena estiramiento estático

- **Escenas de bonificación:** A continuación se presentan todas las escenas de bonificación existentes para este exergame. Se cuenta con ocho escenas las cuales muestran un mensaje de motivación y bonificación por superar cada una de las 8 etapas que tiene el mundo, bonificaciones que se representan con estrellas para generar en el usuario una motivación visual. Figura 22.



Figura 22: Escenas bonificaciones

- **Escena encuesta:** Esta sección figura 23, brinda una frase de motivación al jugador, además de dar instrucciones para que este responda una encuesta dando clic en alguno de los cinco cuadros que se indican en ella. Sección que se muestra después de cada escena de bonificación y detalla como el usuario evalúa su percepción de la etapa culminada.



Figura 23: Escena encuesta

Dicha encuesta permitirá establecer el grado de dificultad percibido por el usuario al final de cada etapa. Encuesta basada en la escala de likert [40]. Método directo, usado para medir las actitudes en el cual, por medio de una pregunta se logrará conocer cuál es la percepción, sentimiento u opinión acerca de un determinado objeto de actitud.²

2.6. Protocolo experimental

2.6.1. Protocolo experimental para la toma de datos

El desarrollo del siguiente protocolo fue realizado de acuerdo a la revisión bibliográfica encontrada, como el realizado en [41], así como también la determinación de algunos aspectos específicos propios de este trabajo.

1. Técnicas a emplear

- a) Proceso de captura de movimiento.
- b) Proceso de captura de señales fisiológicas.
 - **Recursos materiales:** videoprojector y/o TV, sensor final de carrera, sensor de pulso cardíaco, computador, Arduino nano, accesorio (banda elástica) y cableados.
 - **Recursos humanos:** investigador y personal (grupo de prueba) para la toma de los datos.
 - **Recursos físicos:** salón adecuado para el procedimiento de toma de datos.

Nota: Dar entrega del consentimiento informado a cada usuario; consentimiento informado donde se detalla el objetivo del proyecto y su finalidad, así como también algunas especificaciones que se deberá tener en cuenta antes del proceso de toma de datos.

²Objeto de actitud: Es un producto, termino, concepto, variable o cualquier elemento con que el usuario interactúa.

2. Fases de la recepción de datos

a) Antes de la toma de datos.

- Revisar que el consentimiento informado, se encuentre debidamente diligenciado y firmado por el usuario del cual se tomaran los datos.
- Asegurarse que el código Arduino, para la lectura de los sensores, este cargado en la placa Arduino nano, la cual será utilizada en la intervención de la toma de datos.
- Revisar que los recursos materiales se encuentren disponibles, conectados y listos para ser utilizados, así como también, que programas (Python - SQ-Lite) funcionen correctamente para la intervención y que estén listos para ejecutarse.
- Revisar que las instalaciones donde se llevara a cabo el procedimiento de la toma de datos, cumplan con los protocolos de bioseguridad.
- Situar el sensor y accesorio en la extremidad (pierna) del usuario, para la interacción con la aplicación y posterior toma de datos.
- Revisar si la lectura de datos de los sensores está funcionando correctamente.

Esquema de distribución propuesto para el proceso de toma de datos.

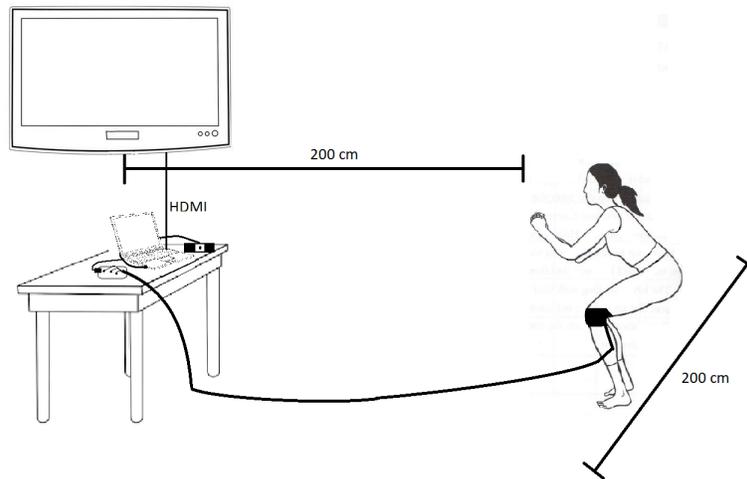


Figura 24: Esquema de distribución

Esquema guía con las recomendaciones metrológicas del área, además del posicionamiento del sensor y accesorio en el usuario, así como también de los recursos materiales. Figura 24.

Nota: se recomienda para la implementación de este protocolo experimental, contar con un lugar de área 400 x 400 cm cuadrados, con el fin de garantizar un

espacio adecuado para la interacción del usuario con la aplicación.

b) Durante la toma de datos.

- Ubicar al usuario de acuerdo a las recomendaciones establecidas anteriormente, Figura 24.
- Dar una pequeña introducción al usuario del modo de juego y la temática de este.
- Explicar al usuario, el modo del registro de los datos. Una vez iniciado el juego, el usuario deberá superar cada uno de los niveles del juego, donde por cada nivel superado aparecerá una pequeña encuesta que el usuario deberá responder de manera breve, indicando al investigador la puntuación que este diga, para que posteriormente el investigador ingrese el dato en el juego; una vez finalizado este proceso, el usuario deberá seguir jugando hasta volver a repetir dicha dinámica.
- Finalmente dar inicio al juego.

Nota: la aplicación cuenta con una sección de ejercicios de estiramiento dinámico adecuado, para un calentamiento breve antes de la actividad física (AF).

c) Después de la toma de datos.

- Una vez finalizado el juego, restablecer al usuario a su estado normal de reposo y calma, mediante ejercicios de estiramientos estáticos que presenta el juego al final.
- Recopilar los datos registrados durante el proceso de toma de datos.
- Iniciar la desconexión de los recursos materiales como accesorio y sensor.

3. Uso de los datos obtenidos en este procedimiento.

La recopilación y registro de los datos de cada usuario que realice el procedimiento para la toma de datos, serán utilizados para generar un proceso de ajuste automático de parámetros en la aplicación, mediante el entrenamiento de una red neuronal artificial y la configuración de un algoritmo heurístico.

4. Consideraciones éticas.

Con base en la resolución numero 8430 de 1993 ministerio de salud de Colombia, riesgo mínimo y la ley estatutaria 1581 de 2012 sobre la confidencialidad y manejo de la información, se realizó el siguiente consentimiento informado, ver Figura 25.

<p style="text-align: center;">CONSENTIMIENTO INFORMADO</p> <p style="text-align: center;">COMPARACION DE ENFOQUES DE AJUSTE DINAMICO DE DIFICULTAD UTILIZANDO SEÑALES FISIOLÓGICAS Y DESEMPEÑO EN EL CONTEXTO DE UN EJERCICIO.</p> <p>Se entrega a usted, este documento (consentimiento informado) para dar a conocer las características del estudio, con el fin de que pueda decidir voluntariamente si desea participar o no, en esta investigación.</p> <p>Le pedimos participar en la siguiente investigación que tiene como director al Msc. Diego Enrique Guzmán, investigador al PhD. Carlos Felipe Rangel y al estudiante del programa de Ingeniería en Automática Industrial Jonathan David Aguilera, aspirante al título de Ingeniero en Automática Industrial de la universidad del Cauca.</p> <p>OBJETIVO DEL ESTUDIO. Comparar la incidencia de un algoritmo de ajuste Dinámico de dificultad basado en señales fisiológicas frente a uno basado en el desempeño en cuanto a la motivación y el progreso de un grupo de personas, en un juego serio para la promoción de la actividad física.</p> <p>PROPÓSITO DEL PROCEDIMIENTO DE TOMA DE DATOS Registrar y determinar objetivamente el desempeño que usted presenta al interactuar con el juego PATHOLOGYS, así como también registrar y determinar subjetivamente la dificultad que usted percibe, al interactuar con la aplicación; procedimiento que tiene como finalidad usar dichos datos para generar un proceso de adaptabilidad en la aplicación, mediante el entrenamiento y configuración de dos algoritmos de inteligencia artificial.</p> <p>IMPORTANCIA DEL ESTUDIO. Actualmente existen ejercicios como una alternativa para la promoción de la actividad física (AF) que cuentan con un ajuste automático de parámetros, los cuales utilizan variables como desempeño, el comportamiento o variables fisiológicas para personalizar la experiencia del usuario, sin embargo no hay claridad del efecto de la variable medida en el ajuste dinámico de dificultad (DD) basado en el desempeño o en basado en señales fisiológicas; por lo tanto este estudio busca comparar la incidencia que tienen estos algoritmos específicos en el progreso de un grupo de personas, al interactuar con un juego serio para la promoción de la actividad física, además de fomentar una alternativa para contrarrestar el sedentarismo que actualmente va en aumento debido a la poca actividad física de las personas.</p>	<p style="text-align: center;">CONSENTIMIENTO DEL SUJETO DE ESTUDIO</p> <p>He leído y escuchado las explicaciones sobre este estudio. Autorizo el uso de la información para los propósitos de la investigación. Yo estoy de acuerdo en participar en este estudio.</p> <p>Nombre del participante: _____</p> <p>Número de identificación: _____</p> <p>Género: _____</p> <p>Edad: _____</p> <p>Teléfono / celular: _____</p> <p>DATOS DE LA PERSONA RESPONSABLE DE LA TOMA DE DATOS</p> <p>Nombre y apellido: _____</p> <p>Número de identificación: _____</p> <p>Teléfono / celular: _____</p> <p>INFORMACION PRELIMINAR</p> <p>Nombre del videojuego: <u>PATHOLOGYS</u></p> <p>Lugar para la toma de datos: _____</p> <p>Fecha de toma de datos: _____</p> <p>Hora de inicio: _____</p> <p>Hora de finalización: _____</p> <p>NOTA: se recomienda al usuario llegar al lugar establecido para la toma de datos, con ropa deportiva, específicamente pantalón corto y camiseta manga corta.</p> <p>_____ Firma participante.</p> <p>_____ Persona responsable.</p>
--	--

Figura 25: Consentimiento informado.

2.7. Encuesta de usabilidad - aplicación

Con el objetivo de conocer la experiencia del usuario al momento de interactuar con la aplicación, se realizó una encuesta de usabilidad para evaluar características como: simplicidad, estética de la interfaz, coherencia y accesibilidad; características que permitirán conocer qué tan fácil es la interacción con la aplicación.

Teniendo en cuenta lo anterior, se estableció tres secciones para evaluar características y funcionamiento de la aplicación, las cuales son:

- **Preparación inicial:** Evaluación de características alusivo a la simplicidad del sistema de interacción de la aplicación.
- **Aspectos del juego:** Evaluación de características alusivo a parámetros y mecánicas de la aplicación.
- **Jugabilidad:** Evaluación de características alusivo a aspectos visuales y funcionales de la aplicación.

A su vez, se realizó una serie de preguntas que ayudaron a valorar las secciones establecidas anteriormente; preguntas que se observan en la Tabla 2.

Funcionalidad	Pregunta	Descripción
Preparación inicial	¿Considera usted que el proceso de situar el sensor y accesorio en la extremidad (pierna) para hacer uso de la aplicación, es sencillo?	En esta pregunta se quiere saber si la acción de ubicar el sensor y accesorio, resulta un procedimiento complejo o fácil para el usuario.
	¿Considera usted que el accesorio (banda elástica) y sensor utilizados para la interacción con la aplicación son cómodos?	Se pretende conocer que tan cómodo se siente el usuario usando el sistema de sensores, al momento de interactuar con el juego.
	¿Considera que la ejecución de la aplicación respecto al acceso, y el manejo del sistema de sensores, es sencillo?	En esta pregunta se desea conocer si la acción de acceder al juego y el uso de los sensores resulta complejo o fácil para el usuario.
Aspectos del juego	¿Considera que los gráficos reflejan de manera acertada la temática (invasión de un virus) que tiene la aplicación?	Se quiere saber si para el usuario los objetos visuales son adecuados.
	¿Considera usted que la selección del ejercicio propuesto para la sesión de actividad física en el juego, es acertada?	Aquí se pretende conocer si el usuario considera que el ejercicio cumple su expectativa y es acertado para este contexto de actividad física.
	¿Considera usted que el tiempo propuesto para cada (sección) nivel de juego de la aplicación Pathology, es acertado?	En esta pregunta se quiere conocer si el usuario aprueba o desapruueba el tiempo establecido en cada nivel de juego.
	¿Considera que es fácil, la interacción con la aplicación, mediante el accesorio (banda elástica) y sensores?	Se quiere conocer, si la interacción con las dinámicas del juego le resulta fácil o complejo al usuario.
	¿Considera que el ejercicio que se debe realizar en el juego es sencillo?	Con esta pregunta se quiere saber que tan fácil o difícil le parece realizar el ejercicio propuesto para el juego.
	¿Considera que el manejo de botones para acceder a las siguientes etapas del juego es cómodo?	Se pretende conocer que tan fácil o complejo le resulta al usuario navegar por las escenas del juego.

Sigue en la página siguiente.

Funcionalidad	Pregunta	Descripción
Jugabilidad	¿Considera que la estética, el ambiente y los mensajes motivacionales del juego son agradables?	Esta pregunta se realizó con el propósito de conocer que tan agradable resulta para el usuario los sonidos, las escenas y los mensajes que se presentan en el juego.

Tabla 2: Preguntas de encuesta.

2.7.1. Escala de evaluación - encuesta usabilidad

Para cuantificar las respuestas que los usuarios determinen de cada pregunta establecida en la Tabla 2, se usó la escala de likert [40], herramienta que permite medir actitudes y conocer el grado de conformidad del encuestado; escala de evaluación que se presenta en la Tabla 3.

ESCALA DE EVALUACIÓN	
Respuesta	Puntaje
Muy de acuerdo	5
Algo de acuerdo	4
Ni de acuerdo, ni en desacuerdo	3
Algo en desacuerdo	2
Muy en desacuerdo	1

Tabla 3: Valores - escala de evaluación.

2.7.2. Resultados - encuesta usabilidad

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del cuestionario para evaluar la usabilidad de la herramienta software; evaluación que se realizó de manera virtual, mediante una encuesta desarrollada en la herramienta de formularios de Google, la cual fue diligenciada por 18 usuarios.

- Preparación inicial:** Para esta sección se obtuvo 18 respuestas que muestran los resultados de las preguntas de la sección de preparación inicial, en la cual se observa una media de 4.2 en las respuestas, mostrando un nivel de aceptación del 84% por parte de los encuestados, ver Figura 26.

- **Aspectos del juego:** Para esta sección se obtuvo 18 respuestas que muestran los resultados de las preguntas de la sección de aspectos del juego, en la cual se observa una media de 4.6 en las respuestas, mostrando un nivel de aceptación del 92 % por parte de los encuestados, ver Figura 28.

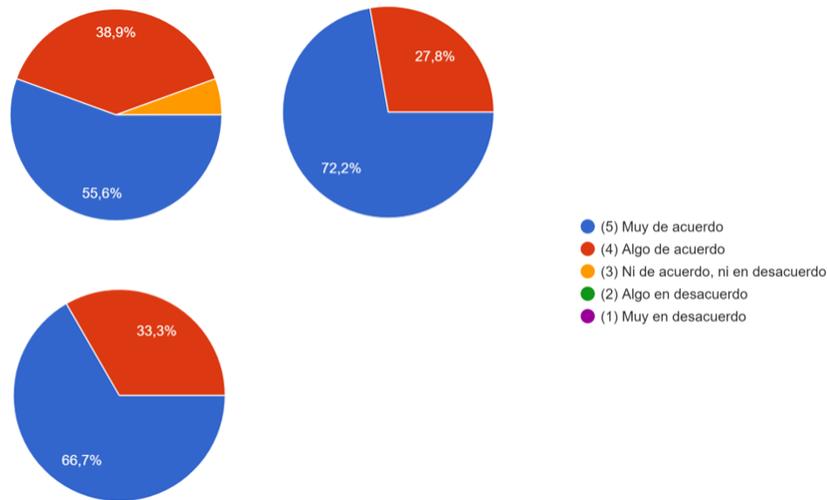


Figura 28: Aspectos del juego.

Pregunta abierta ¿Que otras recomendaciones propone usted con respecto a la parte de Aspectos del juego?

Para esta pregunta se obtuvo 9 respuestas, las cuales ayudaron a formar una nube de palabras, con el propósito de identificar e interpretar de manera rápida y sencilla las palabras con mayor relevancia, ver Figura 29. Donde se sugiere adecuar el aspecto visual del objeto enemigo, otorgándole un mayor tamaño, así como también buscar más alternativas de sonido en cada sesión.



Figura 29: Nube de palabras - Aspectos del juego.

- Jugabilidad:** Para esta sección se obtuvo 18 respuestas que muestran los resultados de las preguntas de la sección de jugabilidad, en la cual se observa una media de 4.5 en las respuestas, mostrando un nivel de aceptación del 90 % por parte de los encuestados, ver Figura 30.

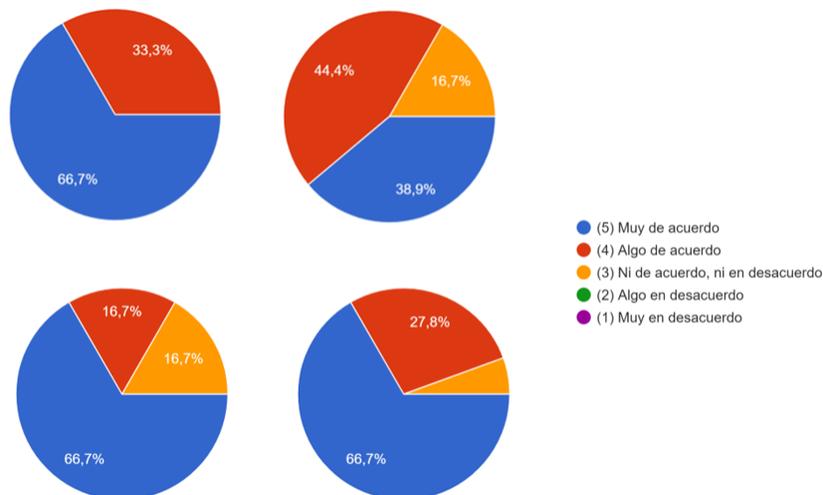


Figura 30: Jugabilidad.

Pregunta abierta ¿Que otras recomendaciones propone usted con respecto a la parte de Jugabilidad?

Para esta pregunta se obtuvo 7 respuestas, las cuales ayudaron a formar una nube de palabras, con el propósito de identificar e interpretar de manera rápida y sencilla las palabras con mayor relevancia, ver Figura 31. Se sugiere, buscar mas diversidad

Capítulo 3

3. Algoritmos de ajuste dinámico de dificultad

Los algoritmos con ADD, consisten en un sistema que cambia automáticamente los parámetros, escenarios o comportamientos en las escenas o niveles de un videojuego en función de las capacidades del jugador, en tiempo real, con el fin de llevar al usuario a un estado de flujo, en el que se logre mantener una motivación al realizar la acción de juego [16]. Este capítulo, muestra el proceso para la toma de datos del grupo de prueba, datos a los cuales se les realizó un estudio estadístico, para posteriormente, utilizarlos en la caracterización de un algoritmo heurístico y el entrenamiento de un algoritmo basado en una red neuronal artificial, con el fin de generar un ADD para la aplicación.

3.1. Método para la toma de datos

El método usado para el caso de estudio de este proyecto, se basa en la implementación del protocolo experimental expuesto anteriormente, que tiene como propósito dar a conocer datos de desempeño, fisiológicos y percepción de dificultad de cada usuario al interactuar con la aplicación "Pathologhys"; además, se realizó una encuesta de usabilidad para conocer datos adicionales de la aplicación, resultados que fueron abarcados en el capítulo anterior.

3.1.1. Recursos materiales y software

Los recursos materiales y software necesarios para el proceso de toma de datos con la aplicación Pathologhys, se describen en las siguientes tablas: Tabla 4, Tabla 5.

Recurso	Especificaciones	Propósito
Visual Studio Code.	Versión 1.65.2 64bit.	Edición del código de la aplicación Pathologhys.
Python.	Versión 3.7.6 64bit.	Lenguaje de programación para la creación de la aplicación Pathologhys.
SQLite.	Versión 3.12.2.	Permite registrar y almacenar datos de la interacción con la aplicación.
Software Arduino.	Versión 1.8.9.	Permite el reconocimiento y tratamiento de los datos de sensores.

Tabla 4: Recursos software.

Recurso	Especificaciones	Propósito
Computador portátil.	Intel Core i7 CPU.	Acceder al exergame "Pathologhys".
Arduino Nano.	ATMega328P.	Permite la lectura de los sensores.
Interruptor final de carrera.	Palanca 3cm.	Permite la lectura del movimiento e interacción con el exergame.
Protoboard.	830 puntos.	Permite la conexión para el sistema de sensores.
Sensor Pulso Ritmo Cardíaco.	5V - 4mA.	Permite la lectura del pulso ritmo cardíaco.
Resistencia.	30 Kohm.	Modifica el paso de corriente para la lectura de sensores.
Banda elástica.	30 cm de largo.	Instrumentos para posicionar los sensores en el usuario.

Tabla 5: Recursos materiales.

3.1.2. Participantes

La población del presente estudio consistió de 18 personas, con edad media de 22.5 años y una desviación estándar $\pm\sqrt{3,8}$, Tabla 6. Población a la cual se pidió firmar un consentimiento informado, y que interactuó con la aplicación propuesta mediante una sesión de actividad física en un espacio controlado, donde se tomó datos de desempeño y pulso cardíaco.

Usuario	Género	Edad (años)
Sujeto 1	Masculino	22
Sujeto 2	Masculino	24
Sujeto 3	Masculino	24
Sujeto 4	Femenino	22
Sujeto 5	Masculino	26
Sujeto 6	Masculino	21
Sujeto 7	Masculino	20
Sujeto 8	Masculino	21
Sujeto 9	Femenino	23
Sujeto 10	Masculino	26
Sujeto 11	Masculino	19
Sujeto 12	Femenino	24
Sujeto 13	Masculino	20
Sujeto 14	Femenino	24
Sujeto 15	Femenino	21

Sigue en la página siguiente.

Usuario	Género	Edad (años)
Sujeto 16	Masculino	24
Sujeto 17	Femenino	22
Sujeto 18	Femenino	22

Tabla 6: Características del grupo de prueba.

3.1.3. Proceso toma de datos grupo de prueba

Para la interacción usuario - aplicación se utilizó un sensor final de carrera ubicado en la pierna del usuario mediante una banda elástica. Dicho sensor permite leer el movimiento (sentadillas) que realiza el usuario, el cual se refleja en el juego cuando se genera contacto pierna - sensor; además, para obtener el registro del pulsó cardíaco generado después de cada etapa de AF, se utilizó un sensor de frecuencia cardíaca. Figura 32.

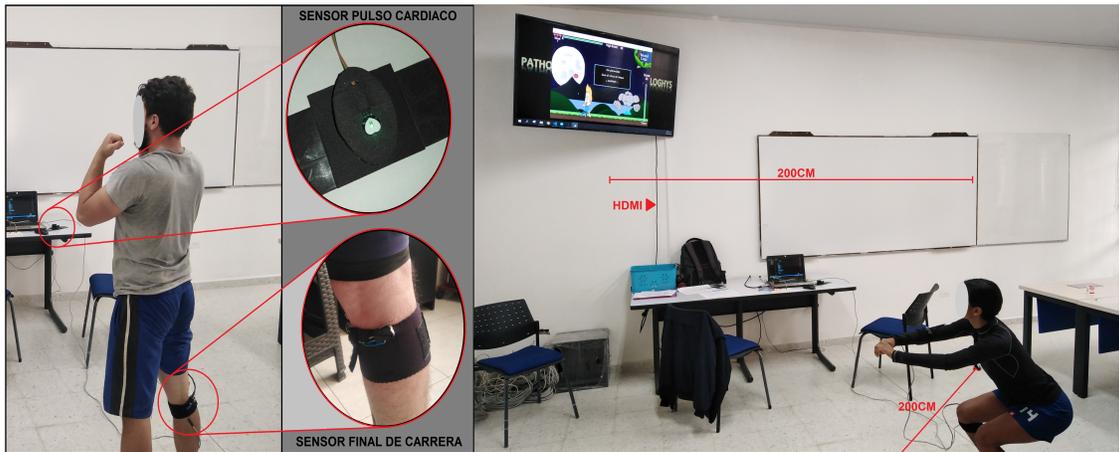


Figura 32: Esquema sesión toma de datos.

Para la toma de datos con el grupo de prueba, se citó a cada usuario, en las instalaciones de la Universidad del Cauca en el salón 124 de FIET, en horarios diferentes, donde se dio entrega del consentimiento informado a cada usuario; consentimiento informado que detalla el objetivo del proyecto y su finalidad, así como también algunas especificaciones que se deberá tener en cuenta antes de dicho proceso, el cual consiste en 3 fases:

1. Antes de la toma de datos:

Se prepara los recursos materiales y software como sensor (pulso cardíaco), se posiciona el sensor (final de carrera) y accesorio (banda elástica) en la extremidad (pierna) de los usuarios, finalmente se revisa si la lectura de los sensores funciona correctamente para la interacción con la aplicación y posterior toma de datos.

2. Durante la toma de datos:

Se ubica a los usuarios de acuerdo al esquema de distribución Figura 24, posteriormente se da una pequeña introducción a los usuarios del modo de juego y la temática de este, explicando a cada usuario, la actividad (sentadillas) que deberá realizar para interactuar con el juego serio (exergame), ver Figura 33.



Figura 33: Interacción usuaria/o con en el software desarrollado - Pathologhys.

Posteriormente, se explica el modo del registro de los datos, en el cual finalizado cada nivel, los usuarios reposaran 1 minutó e indicaran el grado de dificultad que percibieron, variable que se almacenara en la base de datos SQLite. De igual manera se almacenaran variables de desempeño y fisiológicos como se observa, Tabla 7.

VARIABLE SALIDA	VARIABLES ENTRADAS		
	Desempeño	Fisiológica	Parámetro
Percepción de dificultad	Porcentaje de vida	Pulso	Velocidad del enemigo
	Numero de vidas	Cardíaco	

Tabla 7: Variables obtenidas interacción (usuario – aplicación).

3. Después de la toma de datos:

Una vez finalizado el juego, se restablece al usuario a su estado normal de reposo, mediante ejercicios de estiramientos estáticos que se presentan al final del juego; se recopilan los datos registrados en "SQLite" durante el proceso de toma de datos y se inicia la desconexión de los recursos materiales como accesorio y sensor, Figura 34.



Figura 34: Ejercicios finales de estiramiento estático.

3.1.4. Datos de entrenamiento

A continuación, se muestran los datos obtenidos de la prueba piloto que se realizó al grupo de prueba, en los cuales se aprecian las variables que se utilizarán para caracterizar los algoritmos de ADD. Ver Tabla 8.

Usuario	Porcentaje de vida	Número de vidas	Pulso cardíaco	Velocidad del enemigo	Percepción de dificultad
Sujeto 1	1.0	3	104	4.0	2
	0.8	3	108	4.5	4
	1.0	3	112	5.0	5
	0.6	3	112	5.5	5
	0.4	3	120	6.0	5
Sujeto 2	1.0	3	84	4.0	2
	1.0	3	88	4.5	1
	1.0	3	88	5.0	1
	0.8	3	88	5.5	1
	0.8	3	88	6.0	2
Sujeto 3	1.0	3	100	4.0	4
	0.4	3	104	4.5	4
	1.0	2	108	5.0	4
	0.4	1	108	5.5	4
	0	0	104	6.0	4
	1.0	3	72	4.0	3
	0.6	3	84	4.5	4
	0.8	1	88	5.0	5

Sigue en la página siguiente.

Usuario	Porcentaje de vida	Número de vidas	Pulso cardíaco	Velocidad del enemigo	Percepción de dificultad
Sujeto 4	0	0	96	5.5	5
	0	0	100	6.0	5
Sujeto 5	1.0	3	84	4.0	3
	1.0	3	100	4.5	4
	0.8	2	116	5.0	5
	1.0	1	120	5.5	5
	0	0	92	6.0	5
Sujeto 6	1.0	3	96	4.0	3
	0.6	3	100	4.5	3
	1.0	3	100	5.0	3
	0.6	3	104	5.5	3
	0.2	3	104	6.0	4
Sujeto 7	1.0	3	92	4.0	1
	1.0	3	96	4.5	3
	1.0	3	96	5.0	4
	1.0	3	100	5.5	4
	0	0	92	6.0	3
Sujeto 8	1.0	2	84	4.0	4
	1.0	2	92	4.5	4
	0.4	2	92	5.0	4
	0.4	1	104	5.5	5
	0	0	92	6.0	5
Sujeto 9	1.0	3	76	4.0	1
	1.0	3	80	4.5	3
	1.0	3	84	5.0	3
	0.8	3	88	5.5	4
	1.0	3	100	6.0	4
Sujeto 10	1.0	3	96	4.0	3
	1.0	3	104	4.5	3
	0.6	3	104	5.0	4
	0.8	3	108	5.5	4
	1.0	3	108	6.0	4
Sujeto 11	0.6	3	92	4.0	2
	1.0	3	96	4.5	2
	0.8	3	108	5.0	3
	0.6	3	96	5.5	3
	0.8	1	108	6.0	4
	1.0	3	112	4.0	4
	1.0	3	116	4.5	4
	0.2	2	124	5.0	5

Sigue en la página siguiente.

Usuario	Porcentaje de vida	Número de vidas	Pulso cardíaco	Velocidad del enemigo	Percepción de dificultad
Sujeto 12	0.2	1	128	5.5	5
	0	0	136	6.0	5
Sujeto 13	0.8	3	92	4.0	3
	0.8	3	100	4.5	3
	0.8	3	96	5.0	3
	1.0	3	100	5.5	4
	0.4	3	108	6.0	5
Sujeto 14	0.6	2	92	4.0	3
	0	0	96	4.5	3
	0	0	100	5.0	4
	0	0	96	5.5	4
	0	0	104	6.0	5
Sujeto 15	0.8	2	100	4.0	3
	0.4	2	96	4.5	3
	0	0	100	5.0	5
	0.6	1	100	5.5	5
	0	0	92	6.0	4
Sujeto 16	0.8	3	96	4.0	1
	0.8	3	96	4.5	2
	0.4	2	100	5.0	2
	0	0	100	5.5	3
	1.0	1	108	6.0	3
Sujeto 17	0.6	3	76	4.0	3
	1.0	3	84	4.5	4
	0.6	3	96	5.0	5
	0.8	3	92	5.5	4
	0.4	3	100	6.0	5
Sujeto 18	0.6	3	84	4.0	2
	1.0	3	92	4.5	2
	0.4	3	96	5.0	4
	0.2	2	100	5.5	4
	0	0	104	6.0	5

Tabla 8: Datos de entrenamiento.

3.2. Desarrollo de algoritmos de ADD

A continuación, se presentan la propuesta de dos algoritmos de ADD basados en los datos de la señal fisiológica y de desempeño obtenidos en el juego. Para ello, se realizó un estudio estadístico al conjunto de datos de entrenamiento que consistió en:

3.2.1. Estudio estadístico del conjunto de datos

Para el siguiente estudio estadístico se utilizó el software RStudio, entorno de desarrollo integrado para el lenguaje de programación R, dedicado a la computación estadística y gráficos.

1. Coeficiente de correlación:

A partir del coeficiente de correlación, método estadístico definido como una medida de dependencia lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas, y que es utilizado como un índice para medir el grado de relación de dos variables siempre y cuando ambas sean cuantitativas y continuas [42], se busca obtener el coeficiente de correlación entre los datos (variables) obtenidos del juego para conocer el grado de correlación entre dichos datos. Se evidencio que la variable velocidad del enemigo en relación con la variable percepción de dificultad, presenta un coeficiente de correlación de (0.52), ver Tabla 9:

Variable 1	Variable 2	Coeficiente de correlación
Velocidad del enemigo	Percepción de dificultad	0.52

Tabla 9: Correlación entre variables.

Concluyendo que existe una correlación positiva, ya que dicho coeficiente indica una dependencia en cierto grado; sin embargo, no es suficiente para considerarse una correlación fuerte y con relación directa, ya que este no es aproximado a 1, por tanto, cuando una variable aumenta, la otra no lo hace en proporción constante.

Con base en lo anterior, se decidió omitir dicha variable (velocidad del enemigo) como dato de entrada para el entrenamiento de los algoritmos.

2. Test de Tukey:

Por medio de la prueba de rango de Tukey; procedimiento de comparación múltiple y una prueba estadística, utilizada para encontrar medidas que son significativamente diferentes entre sí [43], se busca conocer entre que datos (variables) obtenidos del juego se presentaron diferencias significativas.

Después de aplicar el test de Tukey al conjunto de datos de entrenamiento en el cual se compara cada percepción de dificultad (1,2,3,4,5) entre sí, con respecto a las variables: número de vidas, porcentaje de vida y pulso cardíaco, con el objetivo de conocer si existen diferencias significativas, se evidenció los siguientes resultados, los cuales muestran las comparaciones que presentaron un ($\rho < 0.05$).

- a) **Número de vidas:** Aplicando el test de Tukey para el número de vidas que presentaron los usuarios en cada percepción de dificultad, se puede evidenciar que existe una diferencia significativa ($\rho < 0.05$) con respecto al número de vidas para

la percepción de dificultad (5) en relación con las percepciones de dificultad (1,2,3 y 4) en las cuales las diferencias en el número de vidas no fueron significativas, ver Tabla 10:

Percepciones de dificultad	Significancia
5 - 1	0.005
5 - 2	0.002
5 - 3	0.004
5 - 4	0.008

Tabla 10: Diferencia del numero de vida en cada percepción de dificultad.

- b) **Porcentaje de vida:** Aplicando el test de Tukey para el porcentaje de vida que presentaron los usuarios en cada percepción de dificultad, se puede evidenciar que existe una diferencia significativa ($\rho < 0.05$) con respecto al porcentaje de vida para la percepción de dificultad (5) en relación con las percepciones de dificultad (1,2,3 y 4) en las cuales las diferencias en el porcentaje de vidas no fueron significativas, ver Tabla 11:

Percepciones de dificultad	Significancia
5 - 1	0.002
5 - 2	0.008
5 - 3	0.002
5 - 4	0.007

Tabla 11: Diferencia del porcentaje de vida en cada percepción de dificultad.

- c) **Pulso cardíaco:** Aplicando el test de Tukey para el pulso cardíaco que presentaron los usuarios en cada percepción de dificultad, se puede evidenciar que existe una diferencia significativa ($\rho < 0.05$) con respecto al pulso cardíaco para la percepción de dificultad (5) en relación con las percepciones de dificultad (1,2 y 3) en las cuales las diferencias en el pulso cardíaco no fueron significativas, ver Tabla 12:

Percepciones de dificultad	Significancia
5 - 1	≤ 0.001
5 - 2	0.003
5 - 3	≤ 0.001

Tabla 12: Diferencia del pulso cardíaco en cada percepción de dificultad.

Con base en lo anterior se evidencia que para las percepciones de dificultad (1,2,3), no existen diferencias significativas de las variables (número de vidas, porcentaje de vida y pulso cardíaco); a su vez también se evidenció que entre las percepciones de dificultad (4,5), no se presentaron diferencias significativas de dichas variables. Por tanto, se decidió fusionar las clases (1,2,3) para generar una sola clase llamada (3) y de igual manera se decidió fusionar las clases (4,5) para generar una clase llamada (5). Según los resultados de esta prueba, dichas clases (1,2,3) y (4,5) son los grupos que se pueden distinguir y clasificar. Los cuales ayudaron a establecer las siguientes condiciones: La clase (3) representara una percepción de dificultad normal (ni fácil, ni difícil) y la clase (5) representara una percepción de dificultad difícil, condiciones que permitirán generar un ajuste automático de parámetros en el juego.

Es así como teniendo en cuenta el anterior estudio estadístico, se realizó la propuesta de dos algoritmos de ADD, las cuales se detallan continuación:

3.2.2. Algoritmo heurístico

Con el objetivo de formular un algoritmo heurístico formal, se opta por implementar la técnica de árbol de decisión, la cual esta enmarcada dentro del desarrollo de métodos y sistemas de razonamiento utilizados en investigaciones de inteligencia artificial, por su estructura son fáciles de comprender, analizar y su utilización cotidiana se puede dar para la toma de decisiones [44].

Para la generación del árbol de decisión se utilizaron 70 datos de 14 usuarios, y se validó dicho algoritmo con 20 datos de los 4 usuarios restantes de una población de 18 usuarios. Con el fin obtener un modelo capaz de generar una diferencia y clasificación entre estos grupos de datos, se utilizaron las variables (número de vidas, porcentaje de vida, pulso cardíaco) como datos de entrada y las clases de percepción de dificultad, como dato de salida. Procedimiento que se realizó en el software RStudio.

Usando la técnica CART (Classification And Regression Trees) [45], técnica de aprendizaje supervisado en la cual se tiene una variable objetivo (dependiente), cuyo propósito es obtener una función que permita predecir a partir de variables predictoras (independientes), además de una particularidad de CART, conocida como Recursive Partitioning and Regression Trees o RPART [46], ver las siguientes líneas de código (Código Árbol de decisión.); se evidencio

lo siguiente:

```
set.seed(1, sample.kind = "Rounding")
utest <- sample(1:90, 20)
df_train <- df %>% select( user, speed) %>% slice( utest)
df_test <- df %>% select( user, speed) %>% slice(utest)
set.seed(2, sample.kind = "Rounding")
modell <- train(difficulty ~ ., method = "rpart", data = df_train)
yhat1 <- predict(modell, df_test)
cm1 <- confusionMatrix(yhat1, df_test$difficulty)
print(cm1, digits = 3)
print(cm1$overall["Accuracy"], digits = 3)
rpart.plot(modell$finalModel)
```

Código Árbol de decisión.

Tomando como referencia el modelo general presentado por [47], en el cual se muestran métricas para evaluar el desempeño en la clasificación; y realizando el entrenamiento para este algoritmo, se obtuvo la siguiente matriz de confusión, presentada en Figura 35.

		Referencia	
		3	5
Predicción	3	6	1
	5	3	10

Figura 35: Matriz de confusión – modelo árbol de decisión

Los valores de la diagonal principal (verdadero positivo) $Vp = 6$ y (verdadero negativo) $Vn = 10$, corresponden a los valores estimados de forma correcta por el modelo, tanto los valores verdaderos para la clase (3), como los valores verdaderos para la clase (5).

La otra diagonal, por tanto, representa los casos en los que el modelo “se ha equivocado” (falso negativo) $Fn = 3$ es valor falso para la clase (5), y (falso positivo) $Fp = 1$ es el valor falso para la clase (3).

Una métrica a medir, es el **Accuracy** (Ac), que es el cociente entre los casos bien clasificados por el modelo (verdaderos para la clase (3) y verdaderos para la clase (5), es decir, los valores en la diagonal de la matriz de confusión), y la suma de todos los casos.

$$Ac = (Vp + Vn)/(Vp + Fp + Fn + Vn) = 16/20 = 0,8 \rightarrow 80\% \quad (1)$$

Resultado que representa el porcentaje de predicciones correctas frente al total de las predicciones del modelo.

Otras métricas a medir son: **la sensibilidad y la especificidad**; parámetros que nos indican la capacidad de nuestro estimador para discriminar la clase (3), de la clase (5).

- **Sensitivity:** se representa como el cociente de los valores verdaderos de la clase (3) bien clasificados por el modelo, respecto al total de valores de la clase (3):

$$Sensitivity = Vp / (Vp + Fn) = 6 / 9 = 0,666 \rightarrow 66,6\% \quad (2)$$

- **Specificity:** se representa como el cociente de los valores verdaderos de la clase (5) bien clasificados por el modelo, respecto al total de valores de la clase (5):

$$Specificity = Vn / (Vn + Fp) = 10 / 11 = 0,909 \rightarrow 90,9\% \quad (3)$$

Finalmente, se obtuvo el Diagrama árbol de decisión, en el que se puede apreciar un conjunto de reglas SI-NO-ENTONCES; funciones lógicas que ayudarán a determinar la percepción de dificultad del usuario y clasificarla en algunas de las dos clases definidas anteriormente, ver Figura 36.

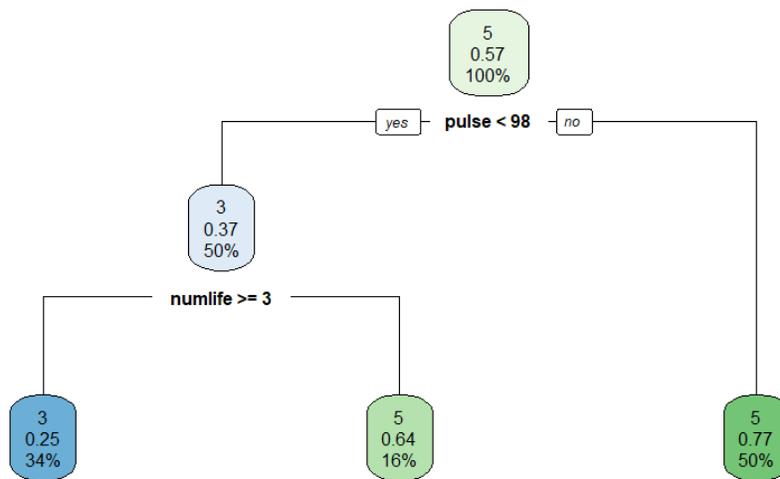


Figura 36: Árbol de decisión.

El diagrama de la Figura 36 muestra las siguientes condiciones: Si el pulso cardíaco es menor a 98 pulsaciones por minuto, la percepción de dificultad es 3, si y sólo si, el número vidas es mayor igual a 3, sino la percepción de dificultad es 5. Caso contrario si el pulso cardíaco es

mayor igual a 98 pulsaciones por minuto, entonces la percepción de dificultad es 5.

Diagrama que permite establecer umbrales que se utilizaran en el algoritmo heurístico para el ADD de la aplicación en función de la habilidad del jugador; cuando la clasificación de percepción de dificultad es igual a 5, significa que el jugador presenta dificultad en el juego por tanto el algoritmo bajaría la dificultad de este; caso contrario si la clasificación de percepción de dificultad es igual a 3, significa que el jugador no presenta dificultad en el juego, por tanto el algoritmo mantendría constante la dificultad de este; sin embargo, si esta clasificación persiste dos veces seguidas el algoritmo aumentaría la dificultad del juego.

3.2.3. Algoritmo - Red neuronal artificial

Una red neuronal artificial, es una forma de computación compuesta por un modelo matemático, con un gran número de elementos procesales organizados en niveles, los cuales procesan información por medio de su estado dinámico como respuesta a entradas externas. Concluyendo así, que las redes neuronales artificiales son redes interconectadas masivamente con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico [48].

Para el entrenamiento de la red neuronal artificial, se utilizaron 70 datos de 14 usuarios, y se validó dicho entrenamiento con 20 datos de los 4 usuarios restantes de una población de 18 usuarios. Con el objetivo de obtener un modelo capaz de generar una diferencia y clasificación entre estos grupos de datos, se utilizaron las variables (número de vidas, porcentaje de vida, pulso cardíaco) como datos de entrada y (las clases de percepción de dificultad), como dato de salida. Algoritmo que se realizó en Visual Studio Code, con lenguaje de programación Python.

Se usó la librería Tensorflow, librería de computación numérica que computa gradientes (conjunto de todas las derivadas parciales de una función) automáticamente, y la biblioteca de redes neuronales Keras, que proporciona facilidad en la creación de redes de aprendizaje automático; además se utilizó un optimizador RMSprop paquete que mantiene un promedio móvil del cuadrado de los gradientes y divide el gradiente por la raíz de este promedio, y una función de pérdida de entropía cruzada de categoría (sparse categorical crossentropy).

Para el desarrollo de la red neuronal artificial, se realizaron varias pruebas de configuración en las que se utilizó diferente número de capas y diferente número de neuronas por capas; las cuales arrojaron métricas (accuracy) con los siguientes valores, ver Tabla 13.

Estructura	Capas ocultas	Neuronas por capa	Accuracy
Monocapa	1	1	55 %
Monocapa	1	5	60 %
Monocapa	1	15	65 %
Multicapa	2	(1,5)	65 %

Sigue en la página siguiente.

Estructura	Capas ocultas	Neuronas por capa	Accuracy
Multicapa	2	(15,5)	80 %
Multicapa	3	(5,5,5)	55 %
Multicapa	3	(6,15,10)	75 %
Multicapa	4	(3,5,5,3)	55 %

Tabla 13: Pruebas - Entrenamiento Red neuronal artificial.

Pruebas que ayudaron a establecer los parámetros para esta red neuronal artificial, la cual tiene una estructura multicapa, compuesta por dos capas ocultas densas de (15 y 5) neurona respectivamente, con función de activación (relu) y un entrenamiento supervisado, ver las siguientes líneas de código (Código Red neuronal artificial.); del cual se evidencio lo siguiente:

```
inputs = keras.Input(shape = (3, ), name = 'digits')
x = layers.Dense(15, activation = 'relu', name = 'dense_1')(inputs)
x = layers.Dense(5, activation = 'relu', name = 'dense_2')(x)
outputs = layers.Dense(15, activation = 'softmax', name = 'predictions')(x)

model = keras.Model(inputs = inputs, outputs = outputs, name = '3_layer_mlp')

model.summary()

model.compile(loss = 'sparse_categorical_crossentropy', optimizer = keras.
    optimizers.RMSprop(), metrics = ['accuracy'])
history = model.fit(x_train, y_train, batch_size = 10, epochs = 500)
scorese = model.evaluate(x_train, y_train, verbose = 0)
print(" % s: % .2f %% % (model.metrics_names[1], scorese[1]*100))
```

Código Red neuronal artificial.

Tomando como referencia el modelo general presentado por [47], en el cual se muestran métricas para evaluar el desempeño en la clasificación; y realizando el entrenamiento para este algoritmo, se obtuvo la siguiente matriz de confusión, presentada en Figura 37.

		Referencia	
		3	5
Predicción	3	7	2
	5	2	9

Figura 37: Matriz de confusión – modelo red neuronal.

Los valores de la diagonal principal para esta matriz son: (verdadero positivo) $Vp = 7$ y (verdadero negativo) $Vn = 9$, datos que corresponden a los valores estimados de forma correcta por el modelo, tanto los valores verdaderos para la clase (3), como los valores verdaderos para la clase (5).

La otra diagonal, por tanto, muestra los casos en los que el modelo “se ha equivocado” (falso negativo) $Fn = 2$ es valor falso para la clase (5), y (falso positivo) $Fp = 2$ es el valor falso para la clase (3).

El parámetro **Accuracy** (Ac), es el valor que representa el porcentaje de predicciones correctas frente al total de las predicciones de este modelo. Casos verdaderos para la clase (3) y verdaderos para la clase (5), y la suma de todos los casos.

$$Ac = (Vp + Vn)/(Vp + Fp + Fn + Vn) = 16/20 = 0,8 \rightarrow 80\% \quad (4)$$

Al igual que en el algoritmo heurístico, las métricas a medir son: **la sensibilidad y la especificidad**; parámetros que nos indican la capacidad de nuestro estimador para discriminar la clase (3), de la clase (5).

- **Sensitivity:** representa el cociente de los valores verdaderos de la clase (3) bien clasificados por este modelo, respecto al total de valores de la clase (3):

$$Sensitivity = Vp/(Vp + Fn) = 7/9 = 0,777 \rightarrow 77,7\% \quad (5)$$

- **Specificity:** es el valor que representa el cociente de los valores verdaderos de la clase (5) bien clasificados por este modelo, respecto al total de valores de la clase (5):

$$Specificity = Vn/(Vn + Fp) = 9/11 = 0,818 \rightarrow 81,8\% \quad (6)$$

Finalmente, se obtuvo un modelo el cual se utilizará para generar un ajuste automático de parámetros en la aplicación; ajuste que se realizará en función de las habilidades del jugador, y dependiendo de variables como: porcentaje de vida, número de vidas y puso cardíaco que el jugador presente en el juego, este predecirá si su percepción de dificultad se encuentra en (3 o 5), con lo cual el algoritmo ajustara automáticamente la dificultad del juego en función de esta variable predicha. Bajara la dificultad del juego si la predicción es 5, mantendrá la dificultad del juego si la predicción es 3 y subirá la dificultad del juego si la predicción 3 permanece dos veces seguidas.

3.3. Comparación de algoritmos de ADD

Una vez realizado el entrenamiento de cada algoritmo, se obtuvieron métricas las cuales permiten conocer y evaluar el desempeño de cada modelo. Dichas métricas se puede observar en la siguiente tabla, ver Tabla 14.

MÉTRICAS DESEMPEÑO	ALGORITMOS ADD	
	Heurístico	Red Neuronal Artificial
Accuracy	0.8	0.8
Sensitivity	0.666	0.777
Specificity	0.909	0.818

Tabla 14: Comparación métricas de desempeño - algoritmos ADD.

Al comparar las métricas de desempeño de cada modelo, se puede apreciar que la sensibilidad y especificidad que se obtuvo del modelo Red Neuronal Artificial, indica que la capacidad para discriminar la clase (5) es mejor que la capacidad para discriminar la clase (3), dicha capacidad de discriminación también se puede observar del modelo Heurístico obtenido por árbol de decisión; sin embargo, la discriminación del algoritmo Heurístico se da en mayor medida en comparación al algoritmo Red Neuronal Artificial.

Capítulo 4

4. Resultados

Este capítulo presenta los lineamientos del proceso para la toma de datos finales, el cual fue realizado por un segundo grupo de usuarios, los cuales interactuaron con los algoritmos de ADD. Se detalla los resultados obtenidos a partir de un estudio comparativo entre los algoritmos.

4.1. Método para la toma de datos finales

El proceso de toma de datos para la comparativa de los algoritmos desarrollados en este proyecto, se basa en la implementación de un protocolo experimental final, que tiene como propósito dar a conocer datos de desempeño y fisiológicos de cada usuario al interactuar con la aplicación "Pathologhys"; adicionalmente, se usaran dos encuestas como instrumento para conocer datos cualitativos acerca de la motivación durante este proceso.

4.2. Participantes

La población final del presente estudio consistió de 8 personas, con edad media de 25.3 años y una desviación estándar $\pm\sqrt{2,9}$, Tabla 15. Población a la cual se le pidió firmar un consentimiento informado y fue separada aleatoriamente en dos grupos de 4 integrantes: grupo 1 y grupo 2, los cuales interactuaron con la aplicación de configuración heurística y la basada en red neuronal artificial respectivamente.

Usuario	Algoritmo	Género	Edad (años)	Clasificación sedentarismo
Sujeto 1	Heurístico	Masculino	26	Muy activo
Sujeto 2		Masculino	27	Muy activo
Sujeto 5		Femenino	24	Activo
Sujeto 8		Masculino	25	Sedentario moderado
Sujeto 3	Red neuronal artificial	Masculino	25	Muy activo
Sujeto 4		Femenino	22	Activo
Sujeto 6		Femenino	28	Sedentario moderado
Sujeto 7		Masculino	26	Activo

Tabla 15: Características de la población final.

4.3. Parámetros para la toma de datos

Con el propósito de generar grupos de datos referentes a la interacción de los usuarios con la aplicación de configuración heurística y la basada en red neuronal artificial, así como también, obtener información referente a la motivación. Se realizó un protocolo experimental que tiene los siguientes parámetros:

1. **Test:** Se aplicó el test de clasificación del sedentarismo. Prueba que se realizó al inicio del proceso de la toma de datos finales, con el objetivo de conocer el nivel de sedentarismo de cada usuario antes de este proceso.
2. **Interacción:** Cada usuario interactuó con la aplicación 3 días a la semana, durante cuatro semanas seguidas, realizando un total de 12 días de AF. Para garantizar el mínimo de actividad física requerido al día, el usuario jugó dos sesiones de 8 etapas, equivalentes a 16 minutos de AF, tomando un tiempo de reposo de 5 minutos entre cada sesión para una recuperación física. Dichas sesiones iniciaron con una dificultad de juego de 5.0.

Entre cada etapa finalizada, el usuario reposo un minuto, en el cual se tomó la frecuencia cardíaca y respondió la encuesta de percepción de dificultad, finalmente se obtiene un registro de datos de desempeño, pulso cardíaco y percepción, además de parámetros del juego.

3. **Encuestas:** Se realizaron dos encuestas, las cuales se usaron para obtener información referente a la motivación de los usuarios durante todo el proceso. La encuesta 1, se realizó tres veces a la semana después de que cada usuario finalizara los 16 minutos de AF, ver Tabla 16.

ID	Preguntas - Encuesta 1
p1.	¿Te entusiasma venir a realizar sesiones de actividad física, con la aplicación Pathologhys?.
p2.	¿Has pensado en dejar de asistir a las sesiones de actividad física con la aplicación Pathologhys?.
p3.	¿Cuándo interactúas con la aplicación Pathologhys, te concentras por completo para realizar la sesión de actividad física?.
p4.	¿Recomendaría la aplicación Pathologhys, como una herramienta para la promoción de actividad física ha amigos y familiares?.

Tabla 16: Preguntas - Encuesta 1.

Para cuantificar las respuestas que los usuarios determinen de cada pregunta establecida en la Tabla 16, se usó la escala de likert [40], herramienta que permite medir actitudes

y conocer el grado de conformidad del encuestado; escala de evaluación que se presenta en la Tabla 17.

ESCALA DE EVALUACIÓN	
Respuesta	Puntaje
Siempre	5
Casi siempre	4
Tal vez	3
Casi nunca	2
Nunca	1

Tabla 17: Valores - escala de evaluación encuesta 1.

La encuesta 2, se realizó una vez al finalizar cada semana, ver Tabla 18, y para cuantificar la respuesta que los usuarios determinen de la pregunta establecida en esta tabla, se usó la escala de likert [40]; escala de evaluación que se presenta en la Tabla 19.

ID	Pregunta - Encuesta 2
p1.	¿Considera usted que la dificultad que posee cada nivel del juego de la aplicación Pathologhys, es acertada?.

Tabla 18: Pregunta - Encuesta 2.

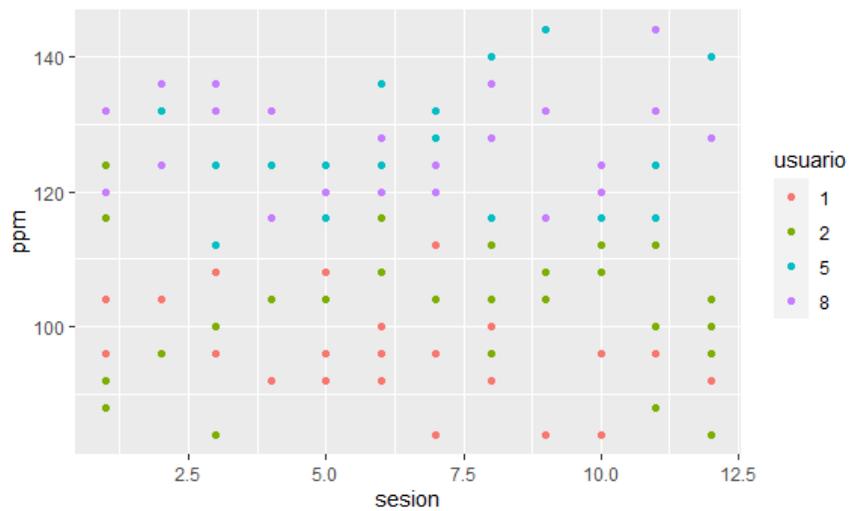
ESCALA DE EVALUACIÓN	
Respuesta	Puntaje
Muy de acuerdo	5
Algo de acuerdo	4
Ni de acuerdo, ni en desacuerdo	3
Algo en desacuerdo	2
Muy en desacuerdo	1

Tabla 19: Valores - escala de evaluación encuesta 2.

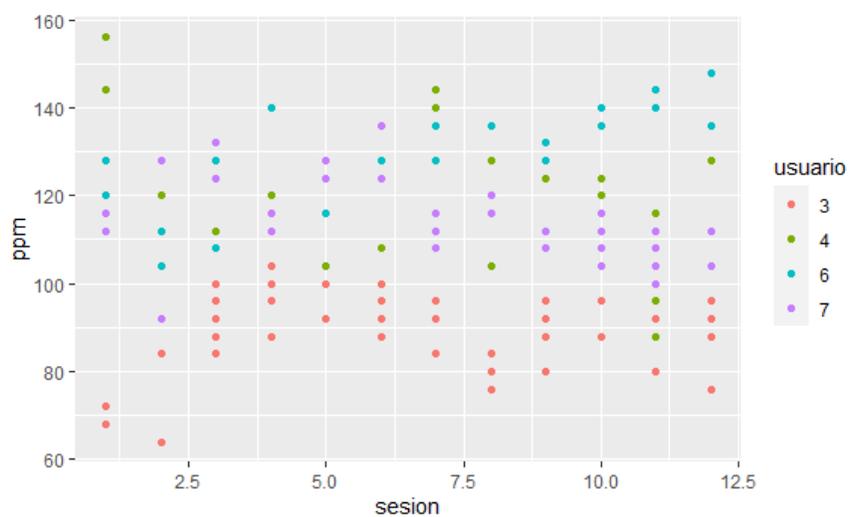
4.4. Resultados estudio comparativo de los algoritmos de ADD

4.4.1. Análisis progresión pulso cardíaco

En esta sección se evidencian los resultados obtenidos de la interacción del grupo 1 y grupo 2 con la aplicación de configuración heurística y la basada en red neuronal artificial respectivamente, en los cuales se observan las variaciones del pulso cardíaco de los diferentes usuarios al interactuar con una dificultad de juego igual a 5.0, durante 12 días de AF, ver Figura 38.



(a) Grupo Heurístico.



(b) Grupo Red neuronal artificial.

Figura 38: Progresión del pulso cardíaco.

A su vez, después de 12 días de AF, se aplicó a la progresión del pulso cardíaco de los usuarios del grupo 1 y 2 el siguiente modelo de regresión lineal:

$$ppm = m1 * sesion + b \quad (7)$$

En el cual, ppm (pulsaciones por minuto) es la variable respuesta, m1 la pendiente, sesión son los 12 días de AF y b el intercepto. Modelo del cual se obtuvieron los siguientes valores de pendiente m1 y su significancia, ver Tabla 20.

Usuario	Algoritmo	Pendiente	Significancia
Sujeto 1	Heurístico	-0.3330	0.04
Sujeto 2		-0.8036	≤ 0.001
Sujeto 5		1.0752	≤ 0.001
Sujeto 8		0.1713	0.27
Sujeto 3	Red neuronal artificial	0.7055	≤ 0.001
Sujeto 4		-1.4622	≤ 0.001
Sujeto 6		2.1084	≤ 0.001
Sujeto 7		-1.1952	≤ 0.001

Tabla 20: Parámetros - progresión pulso cardíaco de los usuarios.

De igual manera, utilizando el mismo enfoque de regresión lineal, se realizó una comparación entre los algoritmos (heurístico - red neuronal artificial) para conocer la incidencia de estos en la progresión del pulso cardíaco y datos de desempeño después de 12 días de AF.

El resultado de la comparación referente a la progresión del pulso cardíaco, muestra que el grupo 2 que interactuó con la aplicación basada en red neuronal artificial tuvo un valor de pendiente más negativo ($m = -3.36979$) en comparación a el grupo 1 heurístico, valor que tuvo una significancia ($\rho \leq 0.001$).

Finalmente, el resultado de la comparación referente a la progresión del desempeño (vidas restantes más porcentaje de vida), muestra que el grupo 2 que interactuó con la aplicación basada en red neuronal artificial tuvo un valor de pendiente más positivo ($m = 0.134115$) en comparación al grupo 1 heurístico, valor que tuvo una significancia ($\rho \leq 0.001$). Análisis realizado en RStudio, entorno de desarrollo integrado para el lenguaje de programación R, dedicado a la computación estadística y gráficos.

4.4.2. Análisis progresión motivación

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las encuestas 1 y 2, en los cuales se observa la progresión de la motivación de los usuarios en el día 1 en comparación al día 12 para encuesta 1 y la progresión de la motivación de los usuarios al final de la semana 1 en comparación con las respuestas al final de la semana 4 para encuesta 2. Encuestas que fueron

diligenciadas por los 8 usuarios, los cuales están divididos en dos grupos: grupo 1 heurístico y grupo 2 red neuronal artificial.

1. Resultados del grupo 1 heurístico - encuesta 1 y 2

- **Pregunta 1 de la encuesta 1:** Para esta pregunta se obtuvieron 4 respuestas, en las cuales se observa una media de 3.25 en la respuesta del día 1, mostrando un nivel de aceptación del 65 % por parte de los encuestados, y una media de 4.75 en la respuesta del día 12, indicando un nivel de aceptación del 95 % por parte de los encuestados, ver Figura 39.

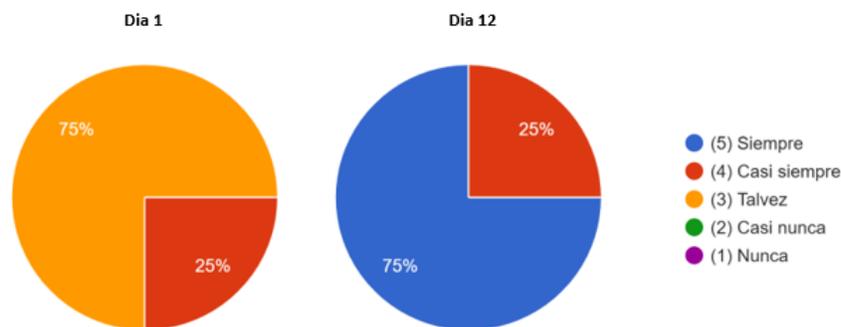


Figura 39: Progresión motivación del grupo 1 - pregunta 1 - encuesta 1.

- **Pregunta 2 de la encuesta 1:** Para esta pregunta se obtuvieron 4 respuestas, en las cuales se observa una media de 2 en la respuesta del día 1, mostrando un nivel de aceptación del 80 % por parte de los encuestados, y una media de 1 en la respuesta del día 12, indicando un nivel de aceptación del 100 % por parte de los encuestados, ver Figura 40.

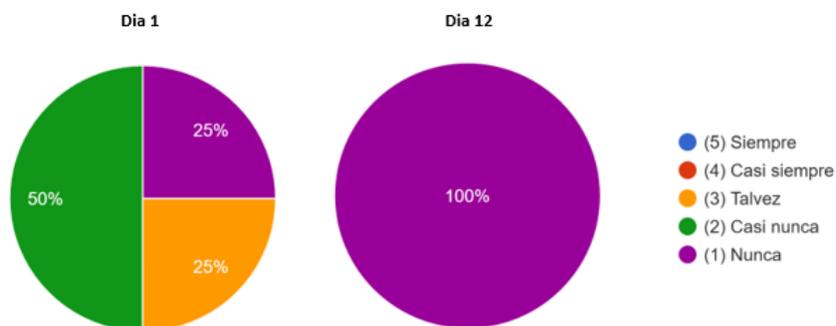


Figura 40: Progresión motivación del grupo 1 - pregunta 2 - encuesta 1.

- **Pregunta 3 de la encuesta 1:** Para esta pregunta se obtuvieron 4 respuestas, en las cuales se observa una media de 4.75 en la respuesta del día 1, mostrando

un nivel de aceptación del 95 % por parte de los encuestados, y una media de 4.5 en la respuesta del día 12, indicando un nivel de aceptación del 90 % por parte de los encuestados, ver Figura 41.

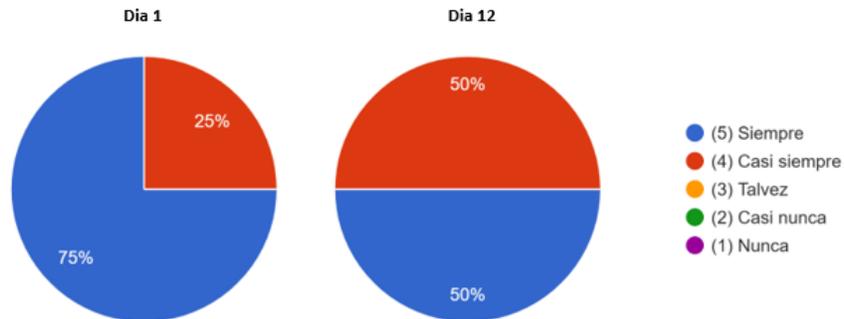


Figura 41: Progresión motivación del grupo 1 - pregunta 3 - encuesta 1.

- Pregunta 4 de la encuesta 1:** Para esta pregunta se obtuvieron 4 respuestas, en las cuales se observa una media de 4.75 en la respuesta del día 1, mostrando un nivel de aceptación del 95 % por parte de los encuestados, y una media de 4.5 en la respuesta del día 12, indicando un nivel de aceptación del 90 % por parte de los encuestados, ver Figura 42.

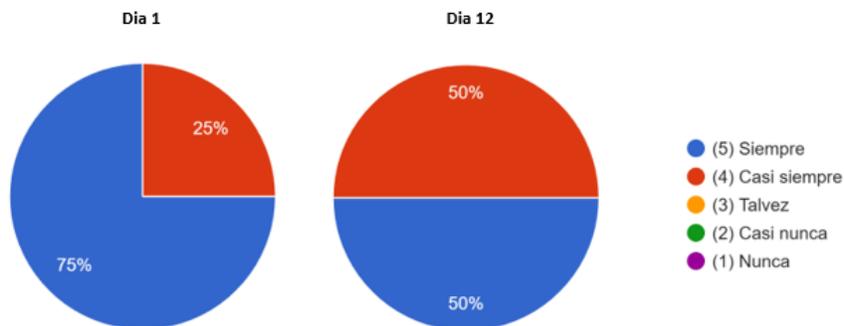


Figura 42: Progresión motivación del grupo 1 - pregunta 4 - encuesta 1.

- Pregunta 1 de la encuesta 2:** Para esta pregunta se obtuvieron 4 respuestas, en las cuales se observa una media de 4.25 en la respuesta del día 1, mostrando un nivel de aceptación del 85 % por parte de los encuestados, y una media de 4.75 en la respuesta del día 12, indicando un nivel de aceptación del 95 % por parte de los encuestados, ver Figura 43.

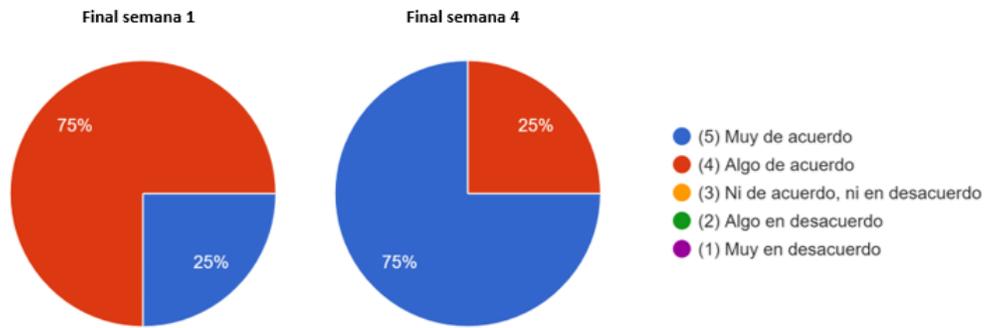


Figura 43: Progresión motivación del grupo 1 - pregunta 1 - encuesta 2.

2. Resultados del grupo 2 red neuronal artificial - encuesta 1 y 2

- Pregunta 1 de la encuesta 1:** Para esta pregunta se obtuvieron 4 respuestas, en las cuales se observa una media de 4.25 en la respuesta del día 1, mostrando un nivel de aceptación del 85 % por parte de los encuestados, y una media de 4.75 en la respuesta del día 12, indicando un nivel de aceptación del 95 % por parte de los encuestados, ver Figura 44.

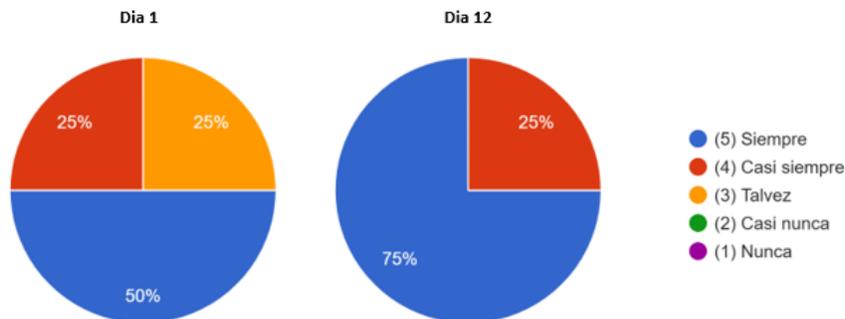


Figura 44: Progresión motivación del grupo 2 - pregunta 1 - encuesta 1.

- Pregunta 2 de la encuesta 1:** Para esta pregunta se obtuvieron 4 respuestas, en las cuales se observa una media de 1, mostrando un nivel de aceptación del 100 % por parte de los encuestados, tanto para el día 1 como para el día 12, ver Figura 45.

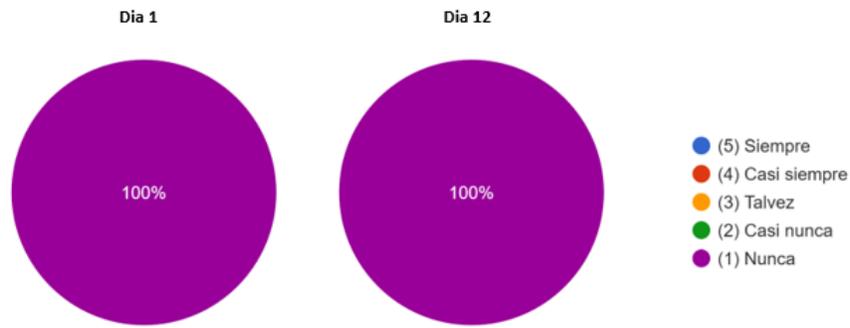


Figura 45: Progresión motivación del grupo 2 - pregunta 2 - encuesta 1.

- Pregunta 3 de la encuesta 1:** Para esta pregunta se obtuvieron 4 respuestas, en las cuales se observa una media de 4.25 en la respuesta del día 1, mostrando un nivel de aceptación del 85 % por parte de los encuestados, y una media de 4.75 en la respuesta del día 12, indicando un nivel de aceptación del 99 % por parte de los encuestados, ver Figura 46.

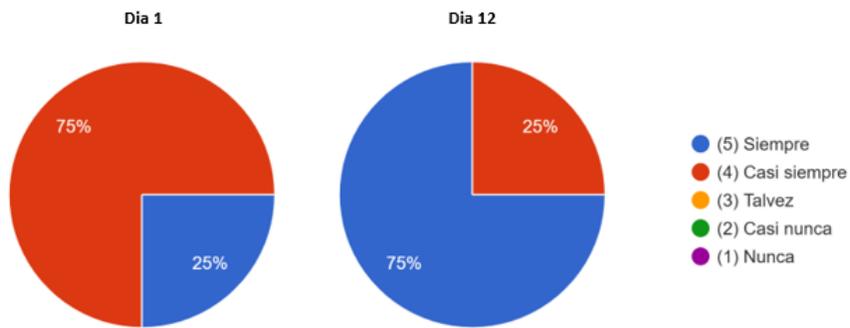


Figura 46: Progresión motivación del grupo 2 - pregunta 3 - encuesta 1.

- Pregunta 4 de la encuesta 1:** Para esta pregunta se obtuvieron 4 respuestas, en las cuales se observa una media de 4.75 en la respuesta del día 1, mostrando un nivel de aceptación del 95 % por parte de los encuestados, y una media de 5 en la respuesta del día 12, indicando un nivel de aceptación del 100 % por parte de los encuestados, ver Figura 47.

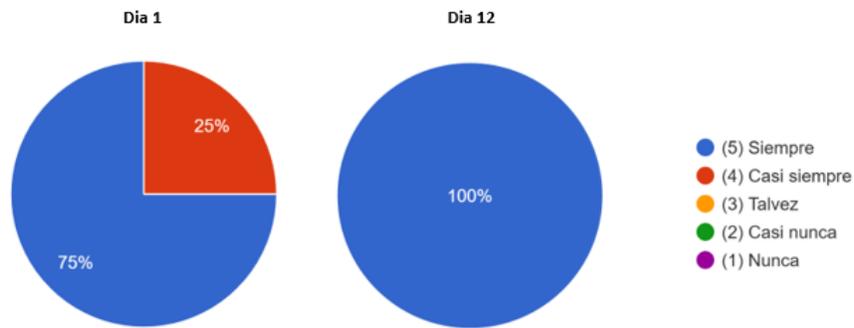


Figura 47: Progresión motivación del grupo 2 - pregunta 4 - encuesta 1.

- Pregunta 1 de la encuesta 2:** Para esta pregunta se obtuvieron 4 respuestas, en las cuales se observa una media de 4.25 en la respuesta del día 1, mostrando un nivel de aceptación del 85 % por parte de los encuestados, y una media de 5 en la respuesta del día 12, indicando un nivel de aceptación del 100 % por parte de los encuestados, ver Figura 48.

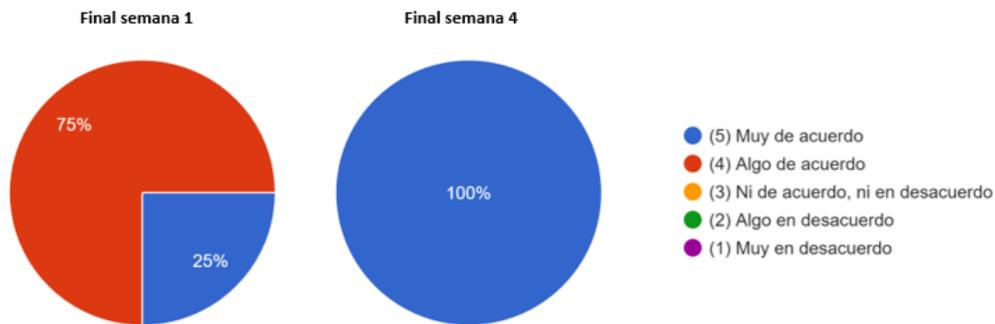


Figura 48: Progresión motivación del grupo 2 - pregunta 1 - encuesta 2.

Para conocer la incidencia que los algoritmo (Heurístico - Red neuronal artificial) tuvieron en la motivación, se realizó una comparación de estos. Utilizando el software jamovi y aplicando análisis de la varianza (ANOVA) a las respuestas de los usuarios obtenidas en la encuesta 1 durante los 12 días de interacción con el juego y las respuestas de estos obtenidas en la encuesta 2 después de finalizada cada semana, se obtuvieron los siguientes resultados, ver Tabla 21.

Análisis diferencia	Encuesta	Pregunta	Significancia
(Motivación) Heurístico - Red neuronal artificial	Encuesta 1	p1	0.67
		p2	0.15
		p3	0.19
		p4	≤ 0.001
	Encuesta 2	p1	0.72

Tabla 21: Parámetros - diferencia de motivación entre algoritmos.

Capítulo 5

5. Discusión, conclusiones y trabajos futuros

5.1. Discusión y Conclusiones

El objetivo de esta investigación, fue comparar la incidencia de un algoritmo de ajuste dinámico de dificultad basado en señales fisiológicas frente a uno basado en el desempeño, en cuanto al progreso y la motivación obtenida de un grupo de personas, en un juego serio para la promoción de la actividad física.

El trabajo de Montero y Haro [49] afirma que uno de los factores a tener en cuenta para un buen nivel de condición física funcional, es una frecuencia cardíaca baja. En este estudio los sujetos (1, 2) del grupo heurístico y (4, 7) del grupo red neuronal artificial, mostraron una pendiente negativa de la variable pulso cardíaco, y una significancia ($\rho < 0.05$), lo que significa que entre más días de AF realicen, las pulsaciones por minuto decrecen, por tanto, se puede concluir que para estos sujetos el juego si mejoró su condición física. En comparación al estudio de Huang et al [50], el análisis global obtenido de 113 personas, las cuales interactuaron con un exergame durante 3 días a la semana por 12 semanas, indico que el juego si mejoró la condición física en variables como resistencia muscular y presión arterial diastólica; sin embargo, a pesar de que la frecuencia cardíaca presento disminuciones en sus valores, estos no fueron significativos.

Caso contrario resulta con el sujeto 5 del grupo heurístico y (6, 3) del grupo red neuronal artificial, ya que muestran una pendiente positiva de la variable pulso cardíaco, lo que significa que entre más días de AF realicen el pulso cardíaco aumenta, con una significancia ($\rho < 0.05$), lo que permite decir que para estos sujetos, el juego no mejoró su condición física. De acuerdo con [51], el pulso cardíaco puede verse influenciado por factores externos a este proceso, puesto que las emociones como el miedo, la ansiedad y el dolor pueden estimular el sistema simpático aumentando la actividad cardíaca; a su vez [52] y [53] afirman que dichas variaciones y anomalías del ritmo cardíaco pueden deberse al consumo de alcohol, tabaco o medicamentos, los cuales pueden aumentar o disminuir la frecuencia cardíaca, afirmando también que estas variaciones pueden influenciarse por estrés, depresión, emociones y trastornos del sueño.

Para el sujeto 8 del grupo heurístico, se observa una pendiente positiva de la variable pulso cardíaco, lo que significa que entre más días de AF realice el pulso cardíaco aumenta ($\rho = 0.27$), por tanto se puede decir que el juego no mejoró ni deterioro el pulso cardíaco de este sujeto. Resultados que se asemejan a los encontrados en [54] en el cual un grupo de 92 estudiantes que realizó AF con un exergame, mostró que después de 6 meses de interacción, la media de la frecuencia cardíaca aumentó en comparación al primer día; sin embargo, dicho resultado al igual que para el sujeto 8 de esta investigación, no fueron significativos.

Los resultados de la comparación de los algoritmos (Heurístico - Red neuronal artificial), indican que el grupo red neuronal artificial arrojó mejores resultados referentes al pulso cardíaco y desempeño con una significancia ($\rho \leq 0.001$); según Zohaib [55], los algoritmos basados en Red neuronal artificial tienen mejor capacidad de adaptación que los Heurísticos, dado que no se basan en resultados empíricos, sino, en el entrenamiento utilizando datos reales.

Respecto al análisis de la comparación referente a la motivación que generan los algoritmos (Heurístico - Red neuronal artificial), muestra que la diferencia entre estos no es significativa para (p1, p2, p3) de la encuesta 1 y (p1) de la encuesta 2; sin embargo, a pesar de no haber diferencia significativa, los niveles de aceptación obtenidos para estas preguntas son muy favorables. Para (p4) de la encuesta 1, el valor de las respuestas obtenidas de los usuarios del grupo heurístico en comparación a las del grupo red neuronal artificial, mostró una diferencia significativa entre los algoritmos, indicando valores más altos para el algoritmo basado en red neuronal artificial. Por tanto, se puede decir que para (p4) de la encuesta 1, el algoritmo basado en una red neuronal artificial incidió en mayor medida el aspecto referente a la recomendación de la aplicación como herramienta para la promoción de AF, en comparación al algoritmo heurístico.

En general, se puede decir que el uso de exergames es una buena alternativa como herramienta para la promoción AF. [56, 57, 58] son ejemplos de exergaming en los cuales los usuarios presentan un alto grado de entretenimiento y compromiso; concluyendo que estas herramientas tienen un alto potencial para motivar a las personas de diferentes edades a realizar AF y generar el hábito para hacer ejercicio con intensidad moderada.

5.2. Trabajos futuros

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y el área de investigación de este trabajo de grado, se plantaron los siguientes trabajos futuros:

- Buscar una alternativa para generar una toma de datos masiva en la cual se reemplacé el hardware actual con uno de visión de maquina o reconociendo de movimiento.
- Adaptar la aplicación a dispositivos móviles, con el objetivo de brindar comodidad y una mejor experiencia de juego.

- Buscar una mejora en la capacidad de adaptación del juego; según Zohaib [55], si se combina las redes neuronales con algoritmos evolutivos con habilidades de adaptación, estos podrían generar mejores resultados.

Referencias

- [1] S. Oh, Yoonsin y Yang, “Definiendo exergames & exergaming,” *Proceedings of Meaningful Play*.
- [2] S. L. Serrano, S. S. Manzano, A. R. Ariza, and E. J. M. López, *Exergames: Videojuegos activos para la promoción de la Actividad Física y el desarrollo cognitivo en Educación Primaria y Secundaria*. Wanceulen Editorial, 2017.
- [3] S. Márquez roSa, J. Rodríguez Ordax, and S. De Abajo Olea, “Sedentarismo y salud: efectos beneficiosos de la actividad física,” *Apunts*, vol. 83, pp. 12–24, 2006.
- [4] R. Chacón Cuberos, T. Espejo Garcés, Á. Cabrera Fernández, M. Castro Sánchez, J. F. López Fernández, and F. Zurita Ortega, “«exergames» para la mejora de la salud en niños y niñas en edad escolar: estudio a partir de hábitos sedentarios e índices de obesidad,” 2015.
- [5] A. Whitehead, H. Johnston, N. Nixon, and J. Welch, “Exergame effectiveness: what the numbers can tell us,” in *Proceedings of the 5th Acm Siggraph Symposium on Video Games*, 2010, pp. 55–62.
- [6] J. B. Stover, F. P. Bruno, F. E. Uriel, and M. M. Fernandez Liporace, “Teoría de la autodeterminación: Una revisión teórica,” 2017.
- [7] L. F. Romero Muñoz and L. F. Ruano Zúñiga, “Exergame basado en kinect y hopscotch como apoyo a la promoción de actividad física en niños,” 2017.
- [8] J. E. Muñoz-Cardona, O. A. Henao-Gallo, and J. F. López-Herrera, “Sistema de rehabilitación basado en el uso de análisis biomecánico y videojuegos mediante el sensor kinect,” 2013.
- [9] R. Chacón Cuberos, M. Castro Sánchez, F. Zurita Ortega, T. Espejo Garcés, and A. Martínez Martínez, “Videojuegos activos como recurso tic en el aula de educación física: estudio a partir de parámetros de ocio digital.” *Digital Education Review*, no. 29, 2016.
- [10] M. Csikszentmihalyi, “Teoría del estado de flujo,” *Recuperado el*, vol. 16, 1975.
- [11] K. S. Guzmán, A. S. Fonseca, and J. M. Jiménez, “Efecto agudo de una práctica «exergame» en el rendimiento del lanzamiento en baloncesto,” *Retos. Nuevas Tendencias en Educación Física, Deporte y Recreación*, no. 29, pp. 58–60, 2016.
- [12] “Mantener un desafío óptimo en los juegos de computadora a través de comentarios fisiológicos en tiempo real,” *Fundamentos de la cognición aumentada*.
- [13] C. A. Ruíz Cuervo, S. D. Castro Rojas *et al.*, “Cuantificación del esfuerzo físico en la practica de un exergame en mujeres universitarias de 19-20 años,” 2019.

- [14] D. O. y. P. R. y. D. G. Cantwell, Dale y Broin, “Motivar a las personas mayores a hacer ejercicio mediante un exergame social colaborativo con dificultad adaptativa,” in *Actas de la Sexta Conferencia Europea sobre Aprendizaje Basado en Juegos, Cork, Irlanda*.
- [15] J. Siegel, Sandra y Smeddinck, “Dificultad de adaptación con ajustes de rango dinámico de movimiento en juegos de ejercicio para pacientes con enfermedad de parkinson,” in *International Conference on Entertainment Computing*.
- [16] Z. Sáenz de Urturi, “Fragiless: videojuego 3d con adaptación dinámica de la dificultad para retrasar y/o disminuir el grado de fragilidad en personas mayores,” 2018.
- [17] A. R. V. Montalvo, “Adaptación de la ejercitación promovida por exergames para apoyar el envejecimiento activo: un estudio de acción participativa,” 2017.
- [18] P. Lavielle-Sotomayor, V. Pineda-Aquino, O. Jáuregui-Jiménez, and M. Castillo-Trejo, “Actividad física y sedentarismo: Determinantes sociodemográficos, familiares y su impacto en la salud del adolescente,” *Revista de salud pública*, vol. 16, pp. 161–172, 2014.
- [19] J. A. M. Murcia, D. G.-C. Coll, M. C. Garzón, and N. P. Rojas, “Adaptación a la educación física de la escala de las necesidades psicológicas básicas en el ejercicio,” *Revista Mexicana de Psicología*, vol. 25, no. 2, pp. 295–303, 2008.
- [20] J. P. Bermejo, B. J. A. Torres, and J. A. R. González, “Factores motivacionales relacionados con la intención de seguir practicando ejercicio físico en mujeres adultas,” *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, no. 34, pp. 117–122, 2018.
- [21] S. M. Villarreal Ramírez, “Prevalencia de la obesidad, patologías crónicas no transmisibles asociadas y su relación con el estrés, hábitos alimentarios y actividad física en los trabajadores del hospital de la anejiación,” *Revistas de Ciencias Administrativas y Financieras de la Seguridad Social*, vol. 11, no. 1, pp. 83–96, 2003.
- [22] M. Piéron, “Factores determinantes en la inactividad físico-deportiva en jóvenes y adolescentes,” in *F. Ruiz, JP Venero, Q. Méndez et al. Actas del VII Congreso Internacional sobre la enseñanza de la educación física y el deporte escolar. “Viejos hitos y nuevos retos ante la Loe. Respuestas educativas a los problemas sociales del deporte escolar y de la obesidad infantil*, 2007, pp. 15–68.
- [23] Y. A. S. Agualimpia and M. N. A. Henao, “Factores motivacionales que influyen en la adherencia a la actividad física en los usuarios del gimnasio zona fitness,” *Viref Revista de Educación Física*, vol. 3, no. 1, pp. 89–116, 2014.
- [24] J. C. G. Trujillo, J. E. Muñoz, and J. F. Villada, “Exergames: una herramienta tecnológica para la actividad física,” *Revista Médica de Risaralda*, 2013.
- [25] F. Juca Maldonado, “Los exergames como alternativa para la gamificación de las actividades curriculares de los nativos digitales,” *Ciencia, Técnica y Mainstreaming Social*, no. 2, pp. 149–156, 2018.

- [26] M. y. M. R. Smeddinck, Jan David y Herrlich, “Exergames para fisioterapia y rehabilitación: un estudio situado a medio plazo de los aspectos motivacionales y el impacto en el alcance funcional,” in *Actas de la 33ª Conferencia Anual de Acm sobre factores humanos en sistemas informáticos*.
- [27] C. Arrasin, C. E. Martínez, and E. Albornoz, “Desarrollo de un sistema para neurorehabilitación basado en plataforma de balance y mini-pc,” in *X Congreso Argentino de Informática y Salud (Cais)-Jaiio 48 (Salta, 2019)*, 2019.
- [28] E. Reis, P. Arriaga, M.-L. Lima, L. Teixeira, O. Postolache, and G. Postolache, “Tailoring virtual environments of an exergame for physiotherapy: the role of positive distractions and sensation-seeking (adaptando entornos virtuales para un exergame para la fisioterapia: el papel de las distracciones positivas y la búsqueda de sensaciones),” *PsyEcology*, vol. 11, no. 1, pp. 49–63, 2020.
- [29] E. M. Zelada Baeza, “Ajuste dinámico de dificultad en videojuegos mediante biofeedback,” 2019.
- [30] M. Jiménez Contreras, “Generación automática de mapas 2d mediante la adaptación de la dificultad a la habilidad del usuario,” 2020.
- [31] V. M. Álvarez Pato, “Estrategia de dificultad adaptativa para un videojuego de dos jugadores,” 2013.
- [32] C. A. Cruz and J. A. R. Uresti, “Player-centered game ai from a flow perspective: Towards a better understanding of past trends and future directions,” *Entertainment Computing*, vol. 20, pp. 11–24, 2017.
- [33] W. H. Organization *et al.*, “Recomendaciones mundiales sobre actividad física para la salud,” 2010.
- [34] D. Schuler and A. Namioka, *Participatory design: Principles and practices*. CRC Press, 1993.
- [35] A. Menzinsky, G. López, J. Palacio, M. Sobrino, R. Rubén Álvarez, and V. Rivas, “Historias de usuario,” *Ingeniería de requisitos ágil*, 2018.
- [36] J. R. López-Arcos, N. Padilla-Zea, P. Paderewski, F. Gutiérrez, and A. Abad-Arranz, “Designing stories for educational video games: A player-centered approach,” in *Proceedings of the 2014 Workshop on Interaction Design in Educational Environments*, 2014, pp. 33–40.
- [37] Bart Kelsey. (2009) opengameart.org/, 28 de marzo de 2009.
- [38] Dmitry Sergeev. (2009) sp.depositphotos.com/, 4 de noviembre de 2009.
- [39] J. Oringer. (2003) shutterstock.com/es, 2003.

- [40] A. Alaminos and J. L. Castejón, *Elaboración, análisis e interpretación de encuestas, cuestionarios y escalas de opinión*. Universidad de Alicante, 2006.
- [41] H. Group *et al.*, “Procedimiento para la captura y el análisis de datos biomecánicos de pacientes usando el sensor kinect para windows.” HCI, 2013.
- [42] J. Dagnino, “Coeficiente de correlacion lineal de pearson,” *Chil Anest*, vol. 43, pp. 150–153, 2014.
- [43] H. Abdi and L. J. Williams, “Newman-keuls test and tukey test,” *Encyclopedia of research design*, vol. 2, pp. 897–902, 2010.
- [44] L. Charris, C. Henriquez, S. Hernandez, L. Jimeno, O. Guillen, and S. Moreno, “Análisis comparativo de algoritmos de árboles de decisión en el procesamiento de datos biológicos,” *Investigación y desarrollo en TIC*, vol. 9, no. 1, pp. 26–34, 2018.
- [45] R. Timofeev, “Classification and regression trees (cart) theory and applications,” *Humboldt University, Berlin*, vol. 54, 2004.
- [46] T. Therneau, B. Atkinson, B. Ripley, and M. B. Ripley, “Package ‘rpart’,” *Available online: cran.ma.ic.ac.uk/web/packages/rpart/rpart.pdf (accessed on 20 April 2016)*, 2015.
- [47] G. O. Gutiérrez Esparza, M. d. L. Margain Fuentes, T. A. Ramírez del Real, J. Canul Reich *et al.*, “Un modelo basado en el clasificador naïve bayes para la evaluación del desempeño docente,” *RIED. Revista iberoamericana de educación a distancia*, 2017.
- [48] R. Salas, “Redes neuronales artificiales,” *Universidad de Valparaíso. Departamento de Computación*, vol. 1, pp. 1–7, 2004.
- [49] L. De la Reina Montero and V. M. de Haro, *Manual de teoría y práctica del acondicionamiento físico*. CV Ciencias del Deporte, 2003.
- [50] H.-C. Huang, M.-K. Wong, J. Lu, W.-F. Huang, and C.-I. Teng, “Can using exergames improve physical fitness a 12-week randomized controlled trial,” *Computers in Human Behavior*, vol. 70, pp. 310–316, 2017.
- [51] J. V. González, O. A. V. Arenas, and V. V. González, “Semiología de los signos vitales: Una mirada novedosa a un problema vigente,” *Archivos de Medicina (col)*, vol. 12, no. 2, pp. 221–240, 2012.
- [52] S. P. Penagos, L. D. Salazar, and F. Vera, “Control de signos vitales,” *Guías para manejo de Urgencias. Bogotá (Colombia): Fundación Cardioinfantil*, pp. 1465–1473, 2005.
- [53] V. Ferrer Mileo, “Estudio de la viabilidad de la estimación del grado de adherencia a estilos de vida saludables a partir de medidas cardíacas oportunistas,” 2019.

- [54] A. Contreras Rengifo, D. C. Serpa Anaya, N. L. Hernández, R. I. Serpa Anaya, V. Ridde, J. P. Alvarez, P. A. Guerrero, C. Posso, and J. C. Mateus, “Impacto de los exergames y los juegos lúdicos sobre el acondicionamiento físico y hábitos saludables en una población escolar adolescentes del municipio de la cumbre–valle del cauca 2015–2017.”
- [55] M. Zohaib, “Dynamic difficulty adjustment (dda) in computer games: A review,” *Advances in Human-Computer Interaction*, vol. 2018, 2018.
- [56] D. Martínez and J. Zavala, “Resultados funcionales al añadir la microsoft kinect® en la rehabilitación fisioterapéutica de sujetos con artroplastia total de rodilla,” *Fisioterapia*, vol. 42, no. 6, pp. 295–300, 2020.
- [57] J. C. Ruiz, “Uso de kinect para xbox-360 para mejorar el equilibrio en un adulto mayor con enfermedad renal crónica: reporte de caso,” *Revista Salud Bosque*, vol. 10, no. 2, 2020.
- [58] O. C. V. Pinilla, L. F. García-Salazar, and J. I. A. Mantilla, “Respuestas cardiovasculares al ejercicio con un circuito funcional mediado por tecnología en estudiantes universitarios: estudio piloto,” *Movimiento Científico*, vol. 14, no. 1, 2020.

Anexos

Anexo A

A. ANEXO: Instalación de software

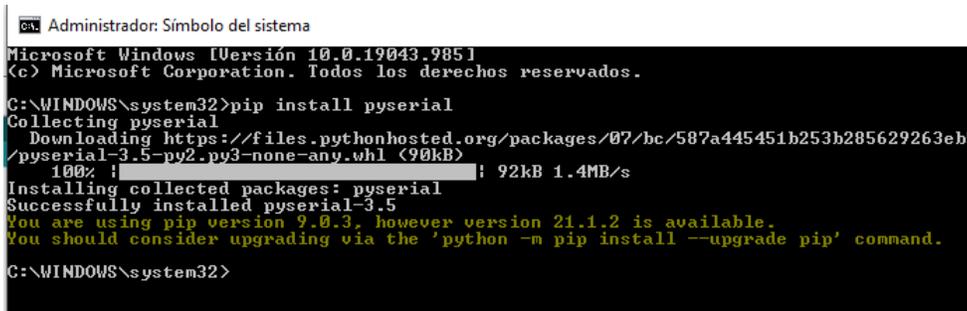
En este anexo se expone como se debe realizar una correcta instalación de los software necesarios para la realización del trabajo desarrollado.

A.1. Instalación Arduino

Descargar Arduino del siguiente enlace <https://www.arduino.cc/en/software>, ejecute el archivo y prosiga la instalación.

A.2. Instalación Python - Visual Studio Code

1. Descargar Python del siguiente enlace <https://www.python.org/downloads/>, y el editor Visual Studio Code del enlace <https://code.visualstudio.com/download>, ejecute los archivos y prosiga la instalación.
2. Una vez instalado correctamente los software (paso 1), proceda a ejecutar cmd de Windows con permiso de administrador y ejecute pip para instalar pyserial, para ello escriba: “pip install pyserial”, ver Figura 49.



```
Administrator: Símbolo del sistema
Microsoft Windows [Versión 10.0.19043.985]
(c) Microsoft Corporation. Todos los derechos reservados.

C:\WINDOWS\system32>pip install pyserial
Collecting pyserial
  Downloading https://files.pythonhosted.org/packages/07/bc/587a445451b253b285629263eb5
/pyserial-3.5-py2.py3-none-any.whl (90kB)
    100% |#####| 92kB 1.4MB/s
Installing collected packages: pyserial
Successfully installed pyserial-3.5
You are using pip version 9.0.3, however version 21.1.2 is available.
You should consider upgrading via the 'python -m pip install --upgrade pip' command.

C:\WINDOWS\system32>
```

Figura 49: Instalación de librería pyserial.

A.3. Instalación SQLite

1. Descargar SQLite (sistema de gestión de bases de datos relacional) del siguiente enlace <https://www.sqlite.org/index.html>, presione clic en Download, ver Figura 50.



What Is SQLite?

SQLite is a C-language library that implements a *small, fast, self-contained, high-reliability, full-featured*, SQL database engine. SQLite is the *most used* database engine in the world. SQLite is built into all mobile phones and most computers and comes bundled inside countless other applications that people use every day. [More Information...](#)

The SQLite [file format](#) is stable, cross-platform, and backwards compatible and the developers pledge to keep it that way [through the year 2050](#). SQLite database files are commonly used as containers to transfer rich content between systems [1] [2] [3] and as a long-term archival format for data [4]. There are over 1 trillion (1e12) SQLite databases in active use [5].

SQLite [source code](#) is in the [public-domain](#) and is free to everyone to use for any purpose.

Latest Release

Version 3.35.5 (2021-04-19). [Download](#) [Prior Releases](#)

Figura 50: Acceso a la descarga SQLite.

- Una vez que se haya realizado lo anterior, diríjase a la sección Precompiled Binaries for Windows y presione clic en “sqlite-tools-win32-x86-3350500.zip”, ver Figura 51.

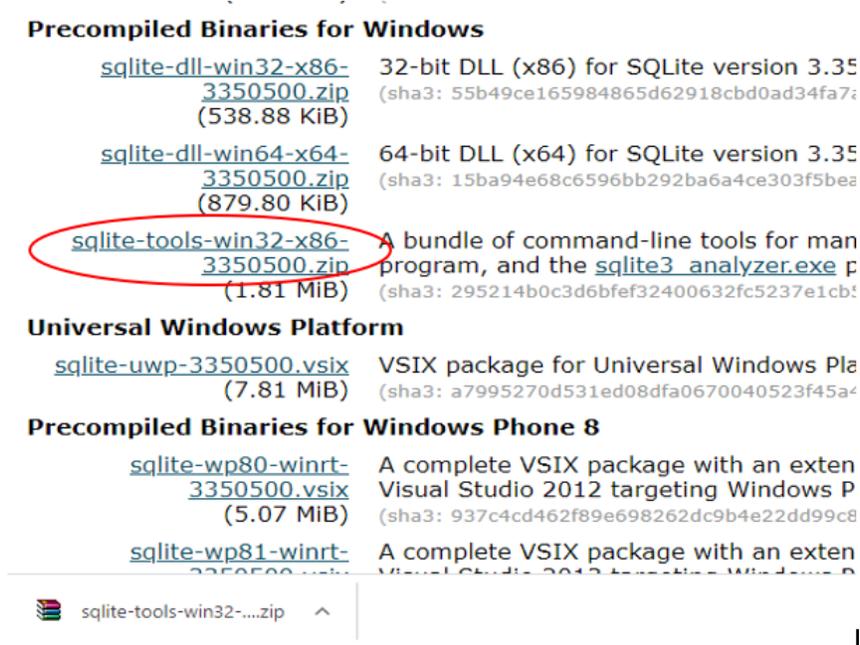


Figura 51: Descarga de SQLite.

- Ya descargado el documento, descomprima el archivo “sqlite-tools-win32-x86-3350500.zip”, se creará una carpeta con el mismo nombre, pase la carpeta a Disco local (C:), posteriormente, abra la carpeta y presione clic derecho, se mostrará una venta de opciones, presione clic nuevamente en “Abrir la ventana de PowerShell aquí”, ver Figura 52.

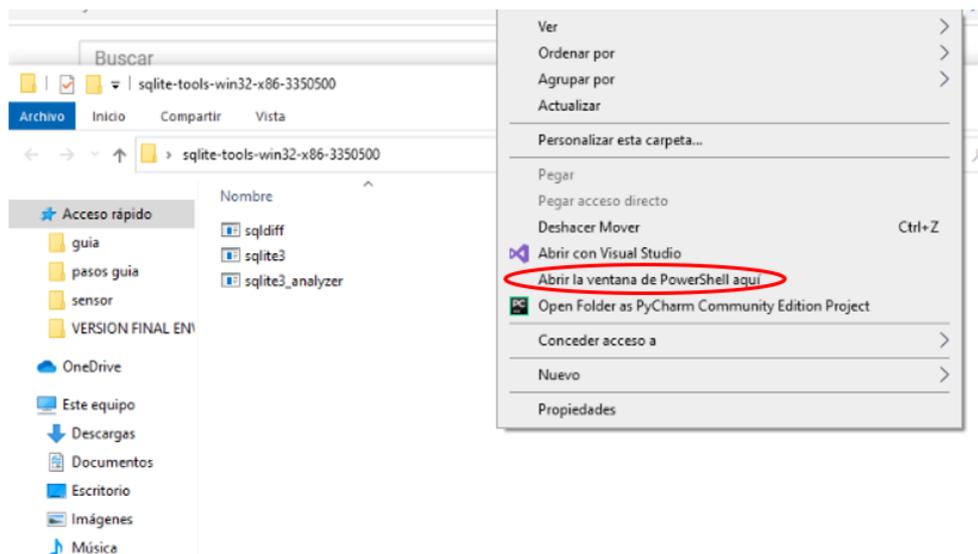


Figura 52: Acceso a terminal PowerShell.

- Una vez que se haya realizado lo anterior, se abrirá una ventana terminal. Escriba “.\sqlite3.exe” y presione enter para comprobar si se estableció una conexión a una base de datos transitoria en memoria, si aparece el mensaje “connected to a transient in-memory database”, la conexión fue exitosa, de lo contrario repita el proceso desde el paso 3, ver Figura 53

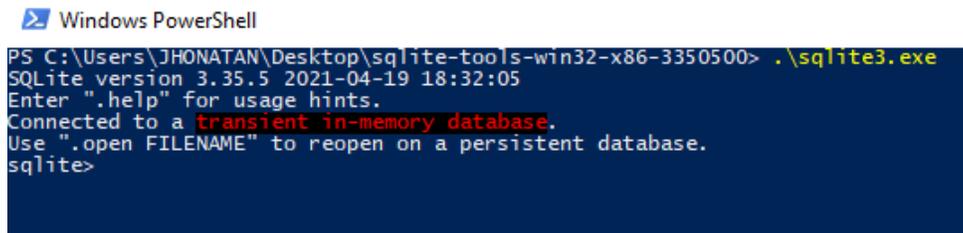


Figura 53: Terminal PowerShell.

- Para tener acceso a este programa desde cualquier punto del computador, copie la dirección de la carpeta mencionada en el paso 3 y agréguela a un path; para agregar la dirección de la carpeta que copió, abra “Configuración” de su computador, escriba “ver la configuración avanzada del sistema”, y presione enter.
- Una vez que se haya realizado lo anterior, se desplegará la siguiente ventana, ver Figura 54, proceda a presionar clic en “Variables de entorno...”.

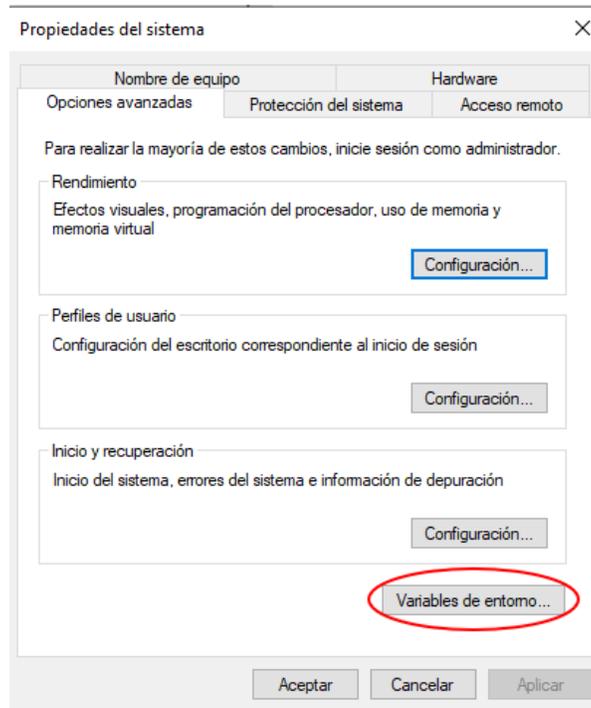


Figura 54: Ventana - Propiedades del sistema.

7. Posteriormente, diríjase hacia la sección variables del sistema, seleccione la variable Path y de doble clic sobre ella, ver Figura 55.

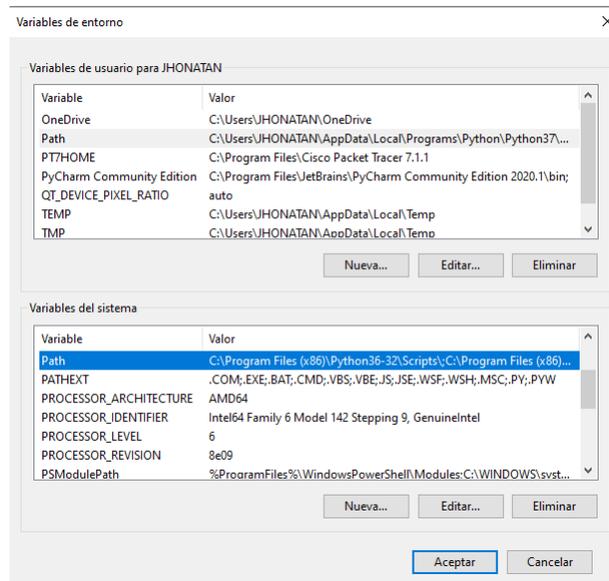


Figura 55: Ventana - Variables de entorno.

8. Al realizar el paso anterior, se desplegará la siguiente ventana, ver Figura 56, de clic en Nuevo y proceda a pegar la dirección de la carpeta de SQLite que copió en el paso 5, finalmente de clic en Aceptar.

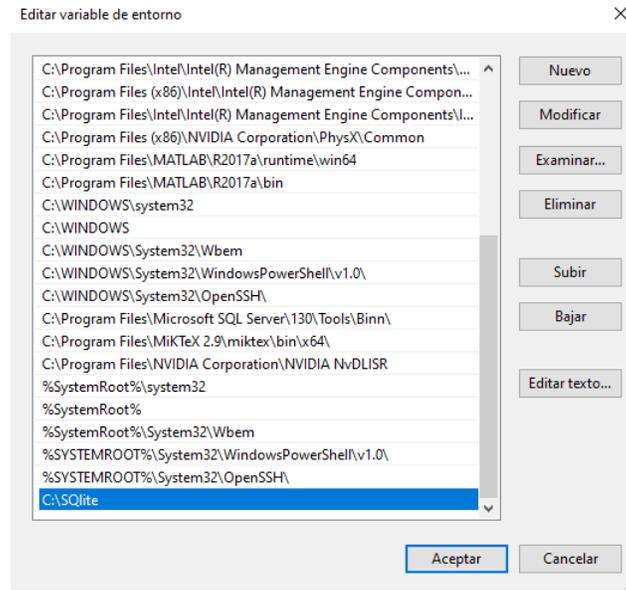


Figura 56: Agregar dirección de la carpeta de SQLite en variables de entorno.

9. Una vez que se haya realizado lo anterior, proceda a descargar DB Browser for SQLite (aplicación gratuita y de código abierto diseñada para facilitar la creación y administración de las bases de datos con SQLite) del siguiente enlace <https://sqlitebrowser.org/>, de clic en Download, ver Figura 57.



DB Browser for SQLite

The Official home of the DB Browser for SQLite

Screenshot

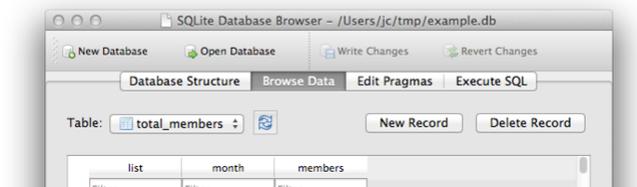


Figura 57: Acceso a la descarga DB Browser for SQLite.

10. A continuación, se desplegará la siguiente ventana, ver Figura 58, de clic en “DB Browser for SQLite - Standard installer for 64 - bit Windows” para descargar el archivo.

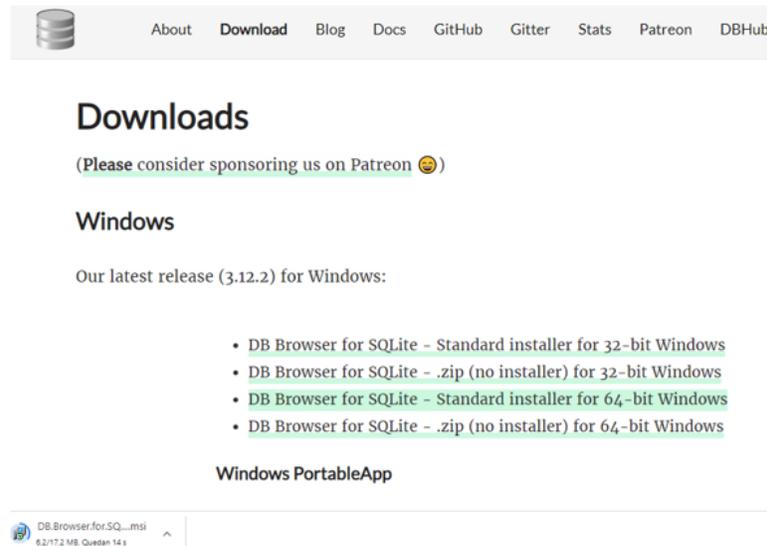


Figura 58: Descarga DB Browser for SQLite.

11. Ya descargado el archivo “DB Browser for SQLite - Standard installer for 64 - bit Windows”, de clic sobre este, para ejecutar el archivo y prosiga la instalación con los valores predeterminados por el asistente de configuración.

A.4. Instalación RStudio

1. Descargar RStudio (entorno de desarrollo integrado para el lenguaje de programación R, dedicado a la computación estadística y gráficos) del siguiente enlace <https://www.rstudio.com/products/rstudio/download/download>, ejecute el archivo y prosiga la instalación.
2. Una vez instalado correctamente el software RStudio, proceda a ejecutar el programa. Mostrará una ventana indicando que se requiere la instalación del lenguaje R para poder funcionar, dar clic en “ok”, posteriormente, se desplegará otra ventana en la cual se dará clic en “yes”, esta dirigirá a la siguiente página, ver Figura 59. Dar clic en “download R”.



The R Project for Statistical Computing

Getting Started

R is a free software environment for statistical computing and graphics. It compiles and runs on a wide variety of UNIX platforms, Windows and MacOS. To **download R**, please choose your preferred CRAN mirror.

If you have questions about R like how to download and install the software, or what the license terms are, please read our [answers to frequently asked questions](#) before you send an email.

News

- **R version 4.2.1 (Funny-Looking Kid)** has been released on 2022-06-23.
- **R version 4.2.0 (Vigorous Calisthenics)** has been released on 2022-04-22.
- **R version 4.1.3 (One Push-Up)** was released on 2022-03-10.
- Thanks to the organisers of useR! 2020 for a successful online conference. Recorded tutorials and talks from the conference are available on the [R Consortium YouTube channel](#).
- You can support the R Foundation with a renewable subscription as a [supporting member](#)

[\[Home\]](#)

Download

[CRAN](#)

R Project

[About R](#)

[Logo](#)

[Contributors](#)

[What's New?](#)

[Reporting Bugs](#)

[Conferences](#)

[Search](#)

[Get Involved: Mailing Lists](#)

[Get Involved: Contributing](#)

[Developer Pages](#)

[R Blog](#)

Figura 59: Página - Acceso a la descarga.

3. A continuación, se mostrará la red integral de archivos R, busque la sección Colombia y de clic en “<https://www.icesi.edu.co/CRAN/>”, ver Figura 60.

China	https://mirrors.tuna.tsinghua.edu.cn/CRAN/	TUNA Team, Tsinghua University
	https://mirrors.bfsu.edu.cn/CRAN/	Beijing Foreign Studies University
	https://mirrors.pku.edu.cn/CRAN/	Peking University
	https://mirrors.usc.edu.cn/CRAN/	University of Science and Technology of China
	https://mirror-hk.koddos.net/CRAN/	KoDDoS in Hong Kong
	https://mirrors.e-ducation.cn/CRAN/	Elite Education
	https://mirror.lzu.edu.cn/CRAN/	Lanzhou University Open Source Society
	https://mirrors.nju.edu.cn/CRAN/	eScience Center, Nanjing University
	https://mirrors.sjtug.sjtu.edu.cn/cran/	Shanghai Jiao Tong University
	https://mirrors.sustech.edu.cn/CRAN/	Southern University of Science and Technology (SUSTech)
	https://mirrors.nwafu.edu.cn/cran/	Northwest A&F University (NWAUFU)
Colombia	https://www.icesi.edu.co/CRAN/	Icesi University
Costa Rica	https://mirror.uned.ac.cr/cran/	Distance State University (UNED)
-		

Figura 60: Red integral de archivos R.

4. Descargue R para Windows, presione clic en “Download R for Windows”, como se observa en la siguiente imagen, ver Figura 61.

The Comprehensive R Archive Network

Download and Install R

Precompiled binary distributions of the base system and contributed packages, **Windows and Mac** users most likely want one of these versions of R:

- [Download R for Linux \(Debian, Fedora, Redhat, Ubuntu\)](#)
- [Download R for macOS](#)
- [Download R for Windows](#)

R is part of many Linux distributions, you should check with your Linux package management system in addition to the link above.

Figura 61: Acceso a la descarga lenguaje R para Windows.

5. Una vez que se haya realizado lo anterior, se mostrará la siguiente página, en la cual se observará los subdirectorios, se dará clic en “base”, ver Figura 62.

R for Windows

Subdirectories:

base	Binaries for base distribution. This is what you want to install R for the first time .
contrib	Binaries of contributed CRAN packages (for R >= 3.4.x).
old contrib	Binaries of contributed CRAN packages for outdated versions of R (for R < 3.4.x).
Rtools	Tools to build R and R packages. This is what you want to build your own packages on Windows, or to build R itself.

Figura 62: Subdirectorios.

6. Posteriormente, se desplegará la siguiente página, ver Figura 63, en la cual se aprecia el enlace para descargar la versión R-4.2.1 para Windows.



Figura 63: Descarga de lenguaje R-4.2.1.

7. Finalmente, dar clic en “Download R-4.2.1 for Windows”, se descargará un archivo “R-4.2.1-win.exe”. Ejecute el archivo y prosiga la instalación.

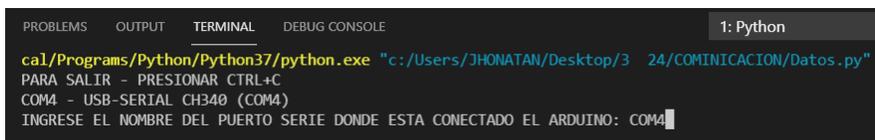

```

1362 # Funcion para insertar datos en la base de datos SQLite (parametros del juego,
1363 # percepcion de dificultad, desempeño y pulso cardiaco del jugador)
1364 def basedatosmundo1():
1365
1366     global mundo, nivel, numvidas, porcentaje, velocidad_enem_o_medico, percepcion, dspe
1367
1368     conexion.execute("""insert into datos(mundo,nivel,vidasrestantes,
1369                                     porcentajevida,dificultadnivel,
1370                                     percepciondificultad,ppm)
1371                                     values (?, ?, ?, ?, ?, ?)""",
1372                                     (mundo,nivel,numvidas,porcentaje,
1373                                     velocidad_enem_o_medico,percepcion,dspe))
1374     conexion.commit()

```

Figura 65: Insertar datos del juego en la tabla base de datos.

- Una vez que se haya realizado lo anterior se conecta el circuito con el software Arduino para subir el código de la lectura de los sensores a la placa Arduino. Posteriormente, ejecute el código de Python y proceda a escribir el nombre del puerto, para este ejemplo es “COM4”, que es el puerto serial por el cual se van a transferir los datos, y presione “enter”, ver Figura 66.



```

PROBLEMS OUTPUT TERMINAL DEBUG CONSOLE 1: Python
cal/Programs/Python/Python37/python.exe "c:/Users/JHONATAN/Desktop/3_24/COMINICACION/Datos.py"
PARA SALIR - PRESIONAR CTRL+C
COM4 - USB-SERIAL CH340 (COM4)
INGRESE EL NOMBRE DEL PUERTO SERIE DONDE ESTA CONECTADO EL ARDUINO: COM4

```

Figura 66: Abrir comunicación por puerto serial.

- Al momento de dar “enter”, se mostrarán los datos del sensor de frecuencia cardíaca y automáticamente se creará la base de datos que para este caso se llamó “datosjuego.db”. La cual se ubicará en la misma carpeta en la que se encuentra el código Python, ver Figura 67.

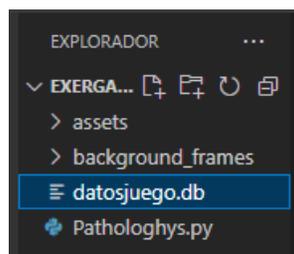


Figura 67: Ubicación de la base de datos.

- Para observar los datos que se registraron en la base de datos “datosjuego.db”, diríjase a la carpeta en el que se encuentra el código Python, podrá apreciar el archivo “datosjuego”, presione doble clic sobre este, y nuevamente de clic en “Browse Data” ver Figura 68.

The screenshot shows the DB Browser for SQLite interface. The table 'datos' is displayed with the following data:

N°	mundo	nivel	vidasrestantes	porcentajevida	dificultadnivel	percepciondificultad	ppm
1	1	1	3	1.0	4.0	1	108
2	1	2	3	1.0	4.5	1	112
3	1	3	3	1.0	5.0	2	112
4	1	4	3	0.8	5.5	3	116
5	1	5	3	0.6	6.0	4	124

Figura 68: Base de datos - Parámetros del juego.

Anexo C

C. ANEXO: Manual ejecución de la aplicación “Pathologhys”

En este anexo se muestra cómo se debe realizar la ejecución de la aplicación “Pathologhys”, con configuración Heurística o la basada en Red neuronal artificial, para una posterior interacción con esta.

1. Abrir el software Visual Studio Code, diríjase a “Archivo” y seleccione “abrir carpeta”, ver Figura 69.

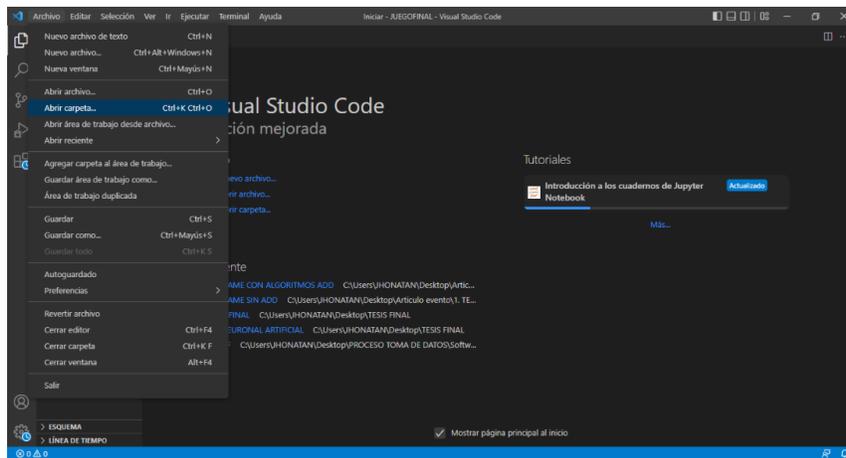


Figura 69: Inicio - Visual Studio Code.

2. Seleccione la carpeta en la cual se encuentra el archivo del juego “Pathologhys”, de clic en uno de los archivos.py que desea ejecutar (Pathologhys_Heuristico.py - Pathologhys-RNA.py), estos contienen el juego con configuración Heurística y la basada en Red neuronal artificial respectivamente, ver Figura 70.

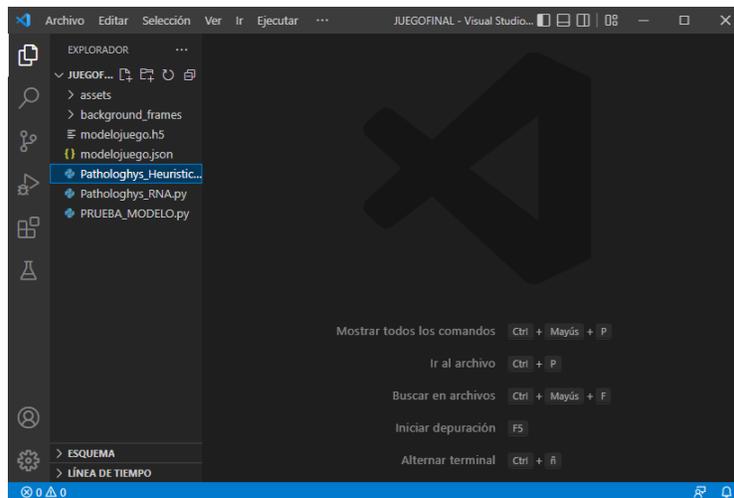


Figura 70: Selección del juego con algoritmo de ajuste automático de parámetros.

3. Una vez seleccionado el juego con la configuración que desea, proceda a abrir el código Arduino “lectura_sensores.ino”, que contiene la lógica para la lectura de los sensores, ubicado en la carpeta “lectura_sensores”.
4. Para la comunicación entre Arduino - Python y la recepción de los datos de los sensores, conecte el circuito que se desarrolló en este trabajo de grado, en un puerto USB del computador, y suba el código Arduino (que abrió en el paso anterior) a la placa Arduino Nano, asegúrese que la lectura de los sensores (final de carrera y frecuencia cardíaca) este realizándose correctamente. Para ello de clic en “Herramientas” y nuevamente de clic en “Monitor Serie”, ver Figura 71.

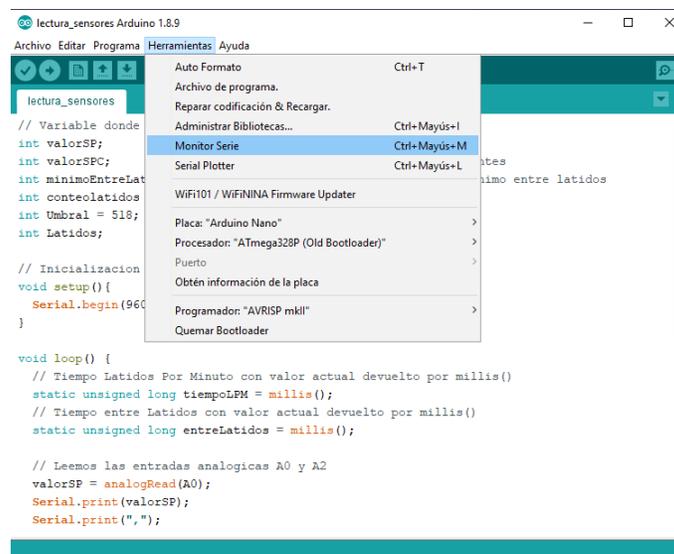


Figura 71: Verificación de la lectura de los sensores.

5. Posteriormente, para la interacción usuario - aplicación, posicione el sensor final de carrera, en la pierna del jugador (mediante una banda elástica), ver Figura 72.



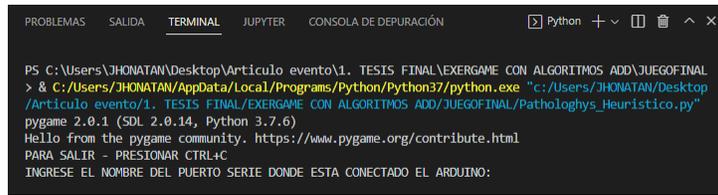
Figura 72: Posición - sensor final de carrera.

6. Una vez que se haya realizado lo anterior, ejecute la aplicación “Pathologhys” con la configuración que selecciono, presionando clic en “Ejecutar archivo de Python”, ver Figura 73.

```
Pathologhys_Heuristico.py X
Pathologhys_Heuristico.py > draw_text
1 import pygame, sys
2 import random
3 import os
4 from pygame import mouse
5 from pygame.constants import MOUSEBUTTONDOWN
6 import serial.tools.list_ports
7 import serial
8 import signal
9 import itentools
10 import threading
11 import time
12 import sqlite3
13
14 ANCHO = 800 # Ancho
15 ALTO = 600 # Altura
16
17 NEGRO = (0, 0, 0)
18 BLANCO = (248, 248, 248)
19 VERDE = (20, 248, 20)
20 ROJO = (200, 20, 10)
21 AMARILLO = (200, 192, 16)
22 AZULCLARO = (180, 226, 244)
23 FPS = 60
```

Figura 73: Ejecución del juego Pathologhys.

7. Proceda a escribir el nombre del puerto serial, en el cual está conectado el circuito mencionado en el paso 4. Puerto serial por el cual se van a transferir los datos de los sensores, posteriormente, presione “enter”, ver Figura 74. Si desea salir del juego y cerrar la comunicación Arduino - Python presione ctrl + C.



```
PROBLEMAS  SALIDA  TERMINAL  JUPYTER  CONSOLA DE DEPURACIÓN  Python + - [ ] [ ] ^ x
PS C:\Users\JHONATAN\Desktop\Articulo evento\1. TESIS FINAL\EXERGAME CON ALGORITMOS ADD\JUEGOFINAL
> & C:/Users/JHONATAN/AppData/Local/Programs/Python/Python37/python.exe "c:/Users/JHONATAN/Desktop
/Articulo evento/1. TESIS FINAL/EXERGAME CON ALGORITMOS ADD/JUEGOFINAL/Pathologhys_Heuristico.py"
pygame 2.0.1 (SDL 2.0.14, Python 3.7.6)
Hello from the pygame community. https://www.pygame.org/contribute.html
PARA SALIR - PRESIONAR CTRL+C
INGRESE EL NOMBRE DEL PUERTO SERIE DONDE ESTA CONECTADO EL ARDUINO:
```

Figura 74: Abrir comunicación entre Arduino y Python.

8. Finalmente, una vez que se haya realizado lo anterior, inicie la interacción con la aplicación “Pathologhys”, ver Figura 75.

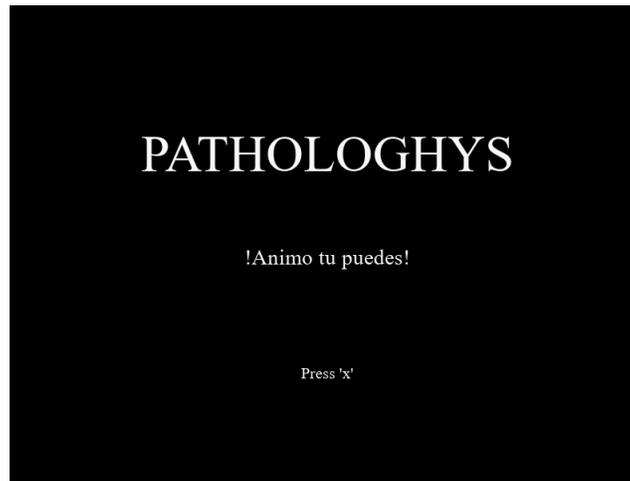


Figura 75: Inicio de la aplicación Pathologhys.