



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN

EXPERIENCIA DE USUARIO ÓPTIMA
A TRAVÉS DE RETOS COMPUESTOS
EN SISTEMAS DE INTERACCIÓN

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTOR EN CIENCIAS (COMPUTACIÓN)

PRESENTA:

M. EN I. CARLOS RICARDO CRUZ MENDOZA

TUTOR:

DR. LUIS ALBERTO PINEDA CORTÉS
IIMAS, UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DR. ENRIQUE SUCAR SUCCAR, INAOE
DR. JESUS FAVELA VARA, CICESE
DR. FERNANDO GAMBOA RODRÍGUEZ, ICAT, UNAM
DR. TOM FROESE, IIMAS, UNAM

MARZO

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX. 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

El desarrollo de este trabajo fue posible gracias a todo el apoyo recibido por mis padres Judith y Pedro así como a todas las personas que personal y profesionalmente me apoyaron durante todos estos años de trabajo.

Quiero empezar por agradecer a todas las personas del Departamento de Computación; al grupo Golem y en particular a mi asesor y líder de proyecto, el Dr. Luis Alberto Pineda Cortés.

También quiero dar las gracias al Dr. Jesus Favela Vara, al Dr. Enrique Sucar Succar, al Dr. Pablo Romero, al Dr. Tom Froese y al Dr. Fernando Gamboa Rodríguez por haber aceptado formar parte del comité de revisión de este proyecto. Sus observaciones e ideas han sido de gran ayuda para el desarrollo del mismo.

También quiero mencionar a algunos miembros del Departamento de Computación a quienes estimo y admiro profundamente por los momentos que hemos convivido y los viajes que hemos compartido: Mauricio Reyes, Noé Hernández, Gibran Fuentes, Ivan Meza, Caleb Rascón, Lisset Salinas, Cinthya Ceja, Montserrat Alvarado, Iván Sánchez, Dennis Mendoza, Hernando Ortega e Ivette Vélez.

Quiero destacar a los alumnos de licenciatura, que como parte de su servicio social, me ayudaron en la implementación y diseño de los sistemas: Félix David Báez Pérez y Hernández Ibarra Luis Fernando (videojuegos de SIBMER) y a Fernando Almazán Cantoral (videojuegos y hardware de Macoli)

Finalmente, quiero agradecer a la UNAM y a su Posgrado en Ciencia e Ingeniería y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) que apoyó mi estudios de doctorado mediante una beca, y a los proyectos CONACYT 178673 y PAPIIT-UNAM IN-109816.

Resumen

La experiencia de usuario óptima o *flow* es una teoría de gran impacto en el contexto de la Interacción Humano-Computadora. Esta teoría sostiene que la promoción de un estado de flujo y la mejora en el rendimiento dependen del balance entre los retos planteados por el sistema y las habilidades empleadas por el usuario. En esta tesis se propone que el balance entre las habilidades motoras y mentales demandadas por la tarea mejora el estado de flujo y el rendimiento. Para comprobar esto se construyeron dos sistemas de interacción basados en software y hardware libre: SIBMER y MACOLI. En ambos se crearon dos versiones de videojuegos; en las primeras existe un balance entre las habilidades mentales y motoras requeridas por el usuario mientras que en las segundas las habilidades están des-balanceadas. Tanto en SIBMER como en MACOLI se realizaron evaluaciones de los videojuegos en términos de su potencial para promover un estado de flujo y para mejorar el rendimiento en la tarea. Los resultados obtenidos muestran que el estado de flujo es mayor en sistemas que implementan retos de interacción balanceados tal es el caso de SIBMER y MACOLI. Así como una correlación entre flujo y rendimiento.

Índice general

Agradecimientos	I
Resumen	II
Lista de figuras	V
Lista de tablas	VII
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	3
1.2. SIBMER y MACOLI	4
1.3. Estructura de la tesis	6
2. Experiencia de usuario	7
2.1. Marcos de Trabajo o Modelos de UX	8
2.2. Modelos de UX enfocados a sistemas interactivos	9
2.2.1. Guía para Interface Kinect	9
2.2.2. El Modelo Esperado, Censado y Deseado	10
2.2.3. Interacción basada en el movimiento en espacios con videocámara: un modelo conceptual	11
2.2.4. Dar sentido a los sistemas de detección: cinco preguntas para diseñadores e investigadores	11
2.2.5. Modelo para diseñar interacciones basadas en sensores que promuevan la exploración y la reflexión	12
2.2.6. El modelo de la dimensión del sentimiento	13
2.2.7. Percepción y reconocimiento de la expresión corporal afectiva	13
2.2.8. Haciendo lo inusual	14
2.2.9. Teoría de la Experiencia de Usuario Óptima o Flujo	14
2.3. Dimensiones de los modelos de UX	15
2.4. Retos compuestos	17

2.5. Sistemas Interactivos, Flujo y Retos Compuestos	22
2.6. Recapitulación	25
3. SIBMER	27
3.1. Operación del Sistema	27
3.2. Arquitectura	30
3.3. Videojuego y validación de retos	31
3.4. Experimento y Resultados	34
3.4.1. Evaluación del estado de ánimo	37
3.4.2. Evaluación de la experiencia de usuario óptima o flujo .	38
3.5. Recapitulación	40
4. MACOLI	42
4.1. Operación del Sistema	42
4.2. Arquitectura	44
4.3. Videojuego y retos	46
4.4. Evaluación	49
4.5. Experimento y Resultados	50
4.5.1. Discusión y conclusiones	52
4.6. Recapitulación	53
5. Conclusiones	54
5.0.1. Conclusión y aportaciones	54
5.0.2. Trabajo a futuro	59
A. Análisis, diseño e implementación de SIBMER	61
A.1. Análisis	61
A.2. Diseño de SIBMER	62
A.3. Implementación de SIBMER	66
B. Algoritmo de calibración de SIBMER	70
B.1. Calibración de brazos en SIBMER	70
C. Cuestionario personalizado y NASA TLX	73
D. Análisis, diseño e implementación de MACOLI	81
D.1. Requerimientos	81
D.2. Prototipado	84
D.2.1. Interfaz Administrativa	84
D.2.2. Estructura tipo escalera sueca	89
D.3. Implementación de Macoli	94

Índice de figuras

2.1.	Captura de pantalla del Juego Posturas	23
2.2.	Captura de pantalla de la primera versión del juego. El jugador es representado por la esfera amarilla.	25
2.3.	Captura de pantalla de la segunda versión del juego. El jugador es representado por la esfera amarilla.	25
3.1.	Elementos en SIBMER. 1) Nave; 2) Portal; 3) Asteroide; 4) Puntaje; 5) Intensidad de escudo 6) Tiempo restante; 7) Mano utilizada; 8) Gráfico para retroalimentación	28
3.2.	Primera parte de la calibración. Detección del usuario	29
3.3.	Segunda parte de la calibración. Definición de los rangos de movilidad	29
3.4.	Arquitectura de SIBMER	30
4.1.	Diversas vistas de la escalera de pared tipo sueca del INR	43
4.2.	Parte izquierda: Pantalla del videojuego. Parte derecha: Usuario utilizando el dispositivo tecnológico tipo escalera sueca.	44
4.3.	Arquitectura de Macoli. 1) Videojuego, 2) Sistema Administrativo, 3) Dispositivo tipo escalera 3.a) Circuitos integrados con sensores de presión en cada escalón y 3.b) Unidad de control con envío de señales via Bluetooth.	45
A.1.	Caso de uso general de SIBMER	63
A.2.	Captura de pantalla para el ingreso a SIBMER	64
A.3.	Pantalla principal	64
A.4.	Captura de pantalla para administrar pacientes	65
A.5.	Captura de pantalla del reporte por sesión	66
A.6.	Captura de pantalla del reporte por mes	67
A.7.	Captura de pantalla - Widget incremento	67
D.1.	Boceto estructura	83

D.2. Boceto con funcionalidades de Macoli	83
D.3. Captura de pantalla del boceto de ingreso al sistema	85
D.4. Captura de pantalla final del ingreso al sistema	85
D.5. Captura de pantalla del boceto del menú principal	86
D.6. Captura de pantalla final del menú principal	86
D.7. Captura de pantalla del boceto para administrar usuarios	87
D.8. Captura de pantalla final para administrar usuarios	87
D.9. Captura de pantalla del boceto para los videojuegos	88
D.10. Captura de pantalla final para los videojuegos	88
D.11. Maquetado de Macoli	90
D.12. Maquetado de Macoli - detalle componentes	90
D.13. Maquetado de Macoli - detalle de la escalera	91
D.14. Maquetado de Macoli - detalle circuitos integrados	91
D.15. Maquetado de Macoli - detalle sistema interno	92
D.16. Macoli render - vista perfil	92
D.17. Macoli render - vista frontal	93
D.18. Macoli render - vista lateral	93
D.19. Conexiones de los sensores de proximidad de la escalera	94
D.20. Conexión bluethoot	95
D.21. Sistema interno de la escalera	96
D.22. Detalle del sensor de proximidad y circuito integrado	97
D.23. Colocación del sensor de proximidad en los peldaños de la escalera	97
D.24. Conexiones de la placa Arduino Mega	98

Índice de tablas

2.1. Visión general de los modelos de UX	10
2.2. Modelos de UX por dimensión, tema central, nivel de subjetividad y limitaciones	16
2.3. Propiedades de las habilidades del agente	19
2.4. Habilidades y demanda mental y física para un videojuego que presenta retos de baile	21
3.1. Habilidades y demanda mental y física para el reto balanceado en SIBMER	32
3.2. Habilidades y demanda mental y física para el reto no balanceado en SIBMER	33
3.3. Resultados con el valor global de la prueba NASA TLX para ambas versiones	34
3.4. Tabla para evaluar el resultado global del NASA TLX	34
3.5. Cuestionario para evaluar el estado emocional	35
3.6. Mapeo entre las dimensiones del flujo y las preguntas del FSS	36
3.7. Interpretación del score global del flujo	36
3.8. Resultados de la prueba de Wilcoxon	38
3.9. Tabla con el resultado de las medias de flujo global para el total de los usuarios	39
3.10. Tabla con el resultado de la prueba t de student para el grupo RB-RBN	39
3.11. Tabla con el resultado de la prueba t de student para el grupo RNB-RB	40
3.12. Comparación de los retos según el orden en que se jugó	41
4.1. Habilidades y demanda mental y física para la versión V1 en Macoli	47
4.2. Habilidades y demanda mental y física para la versión V1 en Macoli	48

4.3. Resultados con el valor global de la prueba NASA TLX para ambas versiones	49
4.4. Tablas con los resultados de la prueba t-student para retos balanceados vs no balanceados	51
4.5. Tablas con los resultados de la prueba t-student para retos balanceados vs no balanceados	51

Capítulo 1

Introducción

En esta tesis se presenta un estudio que muestra que las interfaces humano-computadora que promuevan una experiencia positiva mejoran el rendimiento del usuario. La Interacción Humano-Computadora (o HCI por sus siglas en Inglés) surge como una solución para el diseño, evaluación e implementación de sistemas interactivos que sean fáciles de usar y aprender. Un concepto central de HCI es la Experiencia de Humano (UX por sus siglas en inglés). Éste se refiere al diseño de sistemas que brinden aspectos subjetivos como son la satisfacción, diversión, entretenimiento, motivación, estética, creatividad y las emociones positivas. Un sistema que promueva una experiencia placentera aumentará su eficiencia y hará que su percepción sea positiva lo cual incentiva a volver a utilizarlo o recomendarlo (Hassenzahl and Tractinsky, 2006).

Para explicar la experiencia de los usuarios al utilizar sistemas interactivos se han propuesto diversos modelos de UX con perspectivas que van desde lo prescriptivo hasta lo explicativo. Por modelos prescriptivos entendemos aquellos que proporcionan una serie de pasos o guías concretas, mientras que los explicativos consisten en conceptos que van desde lo concreto a lo abstracto, así como modelos intermedios (llamados analíticos) que proponen conceptos e ideas abstractas para mejorar la UX.

Otra clasificación propuesta en este trabajo se basa en tres dimensiones 1) Enfocados en el sistema de censado; 2) Enfocados en los procesos fenomenológicos de percepción, comprensión y reflexión; y 3) Enfocados en las emociones. En 1) los modelos se caracterizan por ofrecer guías y convenciones de interacción; en 2) los modelos ayudan al diseñador a entender y reflexionar sobre los procesos hápticos y kinestésicos que el usuario experimenta a través del uso del sistema interactivo y en 3) los modelos están

dirigidos a promover un estado de ánimo específico.

En esta tesis se utiliza la Teoría de la Experiencia Óptima o Flujo como modelo para el fomento de UX; esta decisión se justifica con base a tres aspectos: 1) el modelo es de carácter general y aplicable al diseño de cualquier sistema interactivo; 2) el modelo cuenta con una amplia literatura; y 3) no afecta de forma negativa al usuario ya que se enfoca en un tipo particular de estado emocional que es deseable y puede surgir cuando los usuarios realizan una actividad intrínsecamente motivante (Csikszentmihalyi, 1991). Esta teoría nace en psicología y se ha adecuado exitosamente a ambientes computacionales (Ghani and Deshpande, 1994; Ghani et al., 1991; Trevino and Webster, 1992; Webster et al., 1993) y más recientemente a sistemas de interacción basada en movimiento (Nijholt et al., 2008; Pasch et al., 2009; Nijholt et al., 2011).¹

Adicionalmente se ha demostrado que fomentar el flujo mejora el estado emocional (Trevino and Webster, 1992) y el proceso de aprendizaje (Ghani et al., 1991). Sin embargo, aún no se entiende por qué ciertas interfaces o ambientes computacionales promueven experiencias de flujo más intensas que otras (Finneran and Zhang, 2002). En esta tesis se explora esta pregunta.

Csikszentmihalyi (1993) describe 9 dimensiones que promueven el estado de flujo: 1) Objetivos claros; 2) Retroalimentación inmediata; 3) Balance entre retos y habilidades; 4) Fusión acción/atención; 5) Concentración en la tarea encomendada; 6) Sensación de control; 7) Pérdida de conciencia; 8) Transformación del tiempo; y 9) Experiencia autotélica². Novak et al. (2000) realiza una revisión del estado del arte y aumenta a trece las dimensiones de Csikszentmihalyi incluyendo: 10) Excitación; 11) Comportamiento Exploratorio; 12) Interactividad; y 13) Tele-presencia. Chen et al. (1999) reduce las dimensiones pero deja fuera factores importantes como objetivos claros, mezcla de acción y alerta, y pérdida de autoconciencia, los cuales se toman directamente del trabajo original (Csikszentmihalyi, 1993; Nakamura and Csikszentmihalyi, 2002).

En estudios recientes Csikszentmihalyi revisa el concepto del flujo y enfatiza las dimensiones: 1), 2), y 3) como fomentadoras (Bruya, 2010). En

¹Sistemas donde la interacción va mas allá del uso exclusivo del teclado y el ratón; por ejemplo, las interfaces tangibles, naturales, virtuales y aumentadas ó mixtas.

²La Experiencia autotélica es aquella en la que la recompensa el mismo acto de realizar la actividad. Es decir, la atención de quien la experimenta se centra en la actividad en sí misma y no en sus posibles consecuencias.

particular aclara que si la actividad no es retadora el usuario se aburrirá pero si la actividad es muy difícil la persona entrará en un estado de frustración, por lo que un nivel adecuado en el reto fomentará un mejor rendimiento en la actividad (Jackson and Csikszentmihalyi, 1999). En esta tesis nos enfocamos en esta condición.

Los retos en el contexto de HCI pueden ser simples o compuestos; los simples son aquellos en los que se involucra una habilidad física o una mental predominante (Ellis and Voelkl, 1994) mientras que los compuestos integran ambos tipos de habilidades (Finneran and Zhang, 2005). Por ejemplo, navegar en la red es un reto simple ya que la habilidad predominante es mayormente mental, pero jugar un videojuego de baile es un reto compuesto ya que involucra coordinación motriz y memoria kinestésica, así como memoria cognitiva para recordar las coreografías. De igual manera, en sistemas de rehabilitación es necesario que los pacientes realicen actividades físicas en sistemas interactivos cuya operación requiera de habilidades cognitivas; por ejemplo, seguir un avatar mientras se coordinan los movimientos virtuales con los reales. Adicionalmente los retos compuestos se clasifican en balanceados o no-balanceados: son balanceados cuando se requiere habilidades físicas (táctiles, propioceptivas) y mentales (visuales, auditivas, olfativas) en proporciones similares; en caso contrario son no-balanceados. Un reto simple también es no-balanceado. (Romero and Calvillo-Gómez, 2012).

1.1. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es comprobar que el balance entre las habilidades motoras y mentales demandadas por la tarea mejora el estado de flujo y el rendimiento en sistemas interactivos.

Los objetivos específicos son:

- Modelar retos compuestos balanceados y no-balanceados en un sistema interactivo.
- Determinar si los retos balanceados y no-balanceados fomentan un estado emocional positivo o de flujo en el contexto de sistemas interactivos.
- Determinar qué tipo de reto promueve un mejor estado de flujo.
- Determinar si existe una relación entre el rendimiento y el estado de flujo.

1.2. SIBMER y MACOLI

Con la finalidad de evaluar la importancia del balance de las habilidades motrices y mentales en los retos compuestos se crearon dos sistemas computacionales interactivos. Asimismo se llevaron a cabo dos experimentos para evaluar en que medida los retos balanceados y no-balanceados promueven el estado de flujo.

El primero es un sistema virtual que utiliza las manos y brazos como medio de interacción basado en movimiento, llamado SIBMER. El segundo, MACOLI, es un sistema de interacción basada en movimiento el cual utiliza un dispositivo tipo escalera de manos para el censado de los brazos.

En SIBMER se creó un videojuego que implementa un reto balanceado y uno no-balanceado. En ambos retos se controla una nave espacial con los movimientos de la mano; los movimientos de la mano se detectan y se mapean al videojuego. Ambas versiones despliegan portales, asteroides y bonos de tiempo con los que la nave interactúa. En la versión con el reto balanceado la nave únicamente tiene que cruzar los portales para conseguir puntos y evitar colisionar con los asteroides, mientras que en la versión con el reto no-balanceado se incrementa la dificultad mental al agregar un elemento de memoria, en éste la nave tiene que cruzar los portales en cierto orden, el cual se muestra al usuario al inicio de cada nivel; en caso de que el usuario pase por todos los portales en el orden correcto gana puntos y sube de nivel; en caso contrario pierde.

La experiencia de usuario en SIBMER se evaluó a través de un estudio experimental con los siguientes objetivos: 1) determinar si ambos videojuegos tenían un impacto positivo en el estado emocional y 2) determinar que tipo de reto promovía mas intensamente que el usuario entrara en un estado de flujo.

Los resultados de esta evaluación mostraron que ambos juegos influyen de manera positiva el estado de ánimo de los usuarios y que los usuarios tenían una mejor experiencia de flujo. Sin embargo debido a que SIBMER era un propuesta exploratoria se observaron deficiencias en el diseño que limitaban la capacidad del sistema para responder a las preguntas iniciales de la investigación.

Como segunda etapa se desarrolló Macoli a partir de las lecciones aprendidas en SIBMER. En el diseño de Macoli se cambiaron aspectos

relacionados al diseño e interacción, por ejemplo, el paradigma se cambió de virtual a sistema tangible, ya que la tecnología para la detección de manos no era confiable.

Macoli consiste de tres componentes principales: un videojuego, un sistema para datos administrativos y un dispositivo tecnológico similar a una escalera de mano. Macoli provee un ambiente para realizar ejercicios de flexión en los que el usuario coloca un bastón de forma secuencial en los escalones del dispositivo. Al momento de posicionar el bastón en un escalón se envía una señal al videojuego. El videojuego por su parte despliega un pentagrama musical en donde cada línea corresponde a un escalón del dispositivo. En cada línea se muestra una nota musical que aparece en cada intervalo de tiempo. El objetivo del juego es sincronizar el momento en el que se posiciona el bastón sobre un escalón con el que la nota correspondiente llega a un pulsador de referencia que se indica sobre el pentagrama.

Para el mapeo de los retos se crearon dos versiones del videojuego: 1) balanceada y 2) no-balanceada.

En ambas versiones el usuario/agente tiene como meta realizar la misma cantidad de ejercicios de flexión. En 1) las notas musicales recorren toda la línea del pentagrama de izquierda a derecha con una velocidad constante. En ésta versión el agente requiere habilidades táctiles al mover el bastón de un lugar a otro pero también habilidades visuales y auditivas al momento de estimar la velocidad de las notas y reconocer el patrón de sonido en la melodía.

En la segunda versión las notas aparecen inmediatamente encima de los pulsadores por lo que el agente requiere habilidades táctiles para mover el bastón de un lugar a otro y habilidades visuales en menor medida para estimar la aparición de las notas; de igual manera para acentuar el desbalanceo se eliminaron las habilidades auditivas ya que no se tiene que reconocer ningún patrón ó sonido.

Los resultados de la evaluación de Macoli confirmaron que sistemas en donde se implementen retos compuestos balanceados tienen el potencial para promover un mejor estado de flujo y una mejora en el rendimiento. Asimismo se validó la noción de reto compuesto propuesto en este trabajo de investigación.

En el capítulo siguiente se presenta una revisión bibliográfica de los

modelos de UX en sistemas de interacción y se profundiza en la teoría de flujo y en el concepto de reto compuesto.

1.3. Estructura de la tesis

Esta tesis además de la introducción cuenta con 4 capítulos y una sección extra de apéndices. Los capítulos contienen la siguiente información:

- **Experiencia de Usuario.** Este capítulo se divide en dos partes, en la primera se desglosan los modelos para explicar la experiencia subjetiva, para posteriormente presentar el contexto histórico e investigaciones previas en el área de la experiencia de usuario en sistemas de interacción.
- **SIBMER.** En este capítulo se describe el análisis, diseño e implementación de SIBMER, además de presentar los datos estadísticos de su evaluación.
- **MACOLI.** En este capítulo se describe el análisis, diseño e implementación de Macoli, además de presentar los datos estadísticos de su evaluación.
- **Conclusiones.** En este capítulo se hace un breve recuento del trabajo derivado de la investigación, así como las conclusiones obtenidas.
- **Apéndice A.** Contiene figuras detalladas de los diagramas, componentes y código de SIBMER.
- **Apéndice B.** Contiene el algoritmo para la calibración de brazos en SIBMER.
- **Apéndice C.** Contiene los cuestionarios para la evaluación de flujo, estado de ánimo y NASA-TLX.
- **Apéndice D.** Contiene figuras detalladas de los diagramas, componentes y código de Macoli.

Capítulo 2

Experiencia de usuario

En el capítulo anterior se presentaron de manera introductoria los conceptos de Experiencia de Usuario o UX y la Teoría de Usuario Óptima o Flujo. En este capítulo se profundizan los conceptos anteriores y se realiza un análisis del estado del arte sobre los modelos de UX en el contexto de sistemas interactivos.¹ Con base a esta revisión se analizan los diversos modelos, su tema central, utilidad, claridad y limitaciones para implementarse en sistemas interactivos.

La Experiencia de usuario es un concepto de HCI que surge como complemento del concepto de usabilidad para atender los aspectos subjetivos de la interacción como la sensación de placer, las respuestas emocionales, la valoración y la satisfacción del usuario. UX ha sido definido como la percepción subjetiva de un usuario al interactuar con un sistema (Law et al., 2009).

Los fundamentos teóricos de UX en el contexto de sistemas interactivos se basan en las nociones de afecto incorporado (embodiment affect) e incorporamiento social (social embodiment). En estas teorías se sugiere que las funciones incorporadas (embodied functions) y las pistas propioceptivas como la postura o movimientos sutiles del cuerpo, afectan la motivación, afecto y la evaluación que se hace sobre el sistema (Ziemke, 2003). Por ejemplo, se ha observado que cuando una persona se sienta en una postura incorrecta se desarrollan sentimientos negativos (impotencia) y se tiene un desempeño más pobre que cuando se adopta una postura correcta (Stepper and Strack, 1993). De igual forma, mover la cabeza de arriba hacia abajo afecta de manera positiva a la recepción de mensajes (Wells and Petty, 1980;

¹Interfaces tangibles, virtuales o mixtas donde se utiliza el movimiento del cuerpo como método de entrada de información.

Marsh et al, 2009). Por su parte, se ha observado que el incorporamiento social sincronizado con el movimiento (como la danza) genera aceptación individual y social (Valdesolo and DeSteno 2011; Valdesolo et al, 2010).

La motivación principal de UX es facilitar el diseño y creación de mejores sistemas; es decir, que sean fáciles de usar, eficientes y satisfactorios, propiciando que los usuarios valoren y se mantengan comprometidos con los mismos. Para comprender y analizar la UX se han desarrollado diversos modelos o marcos de trabajo en HCI; en la siguiente sección se profundiza en dichos modelos.

2.1. Marcos de Trabajo o Modelos de UX

Los términos modelo ó marco de trabajo tienen una amplia variedad de significados en computación; se pueden referir a un entorno de trabajo, a una biblioteca de programación, a una estructura conceptual o a una idea teórica. En HCI los modelos o marcos de trabajo ayudan a entender como el usuario experimentará un sistema a través de distintas opciones, incluyendo guías, conceptos, ideas, preguntas, desafíos, principios, heurísticas y dimensiones para diseñar y analizar el fenómeno a estudiar.

Los modelos de UX en HCI se basan en 1) el usuario (Forlizzi and Ford, 2000; Hassenzahl, 2005); 2) el sistema (Alben, 1996); 3) la interacción (Forlizzi and Ford, 2000); y 4) son multidisciplinarios (Arhippainen and Tähti, 2003). Los modelos basados en 1) se enfocan a estados emocionales y habilidades; por ejemplo, un sistema creado para un piloto debe tener en cuenta factores inherentes de la condición humana como el cansancio, el aburrimiento o el enojo. Los modelos basados en 2) se centran en los dispositivos de entrada y salida para moldear la experiencia; un sistema de realidad virtual provee una experiencia distinta cuando se utiliza un monitor o un *head-mounted display*. Los modelos basados en 3) toman en cuenta los aspectos sociales y el contexto en que se realizará la actividad; por ejemplo sí se utilizará en un quirófano o el usuario estará sentado en la oficina o en el hogar, etc. Finalmente los modelos basados en 4) mezclan elementos de los modelos anteriores; un ejemplo es el propuesto por Arhippainen and Tähti (2003); en éste la UX se determina por la interacción entre el usuario y el sistema y, adicionalmente, por una serie de factores externos que cambian la percepción del usuario. Estos factores se dividen en 5 grupos: a) factores propios (emociones, expectativas); b) factores sociales (presión de tiempo, requerimientos implícitos o explícitos); c) culturales (modas, hábitos); d) del

contexto de uso (tiempo, lugar); y e) propios del sistema (funcionalidad, tamaño).

Estos modelos son genéricos ya que no están centrados en un tipo específico de sistema o paradigma de interacción, por lo que en este trabajo se describen únicamente modelos de UX para sistemas interactivos basados en movimiento como se elabora en la siguiente sección.

2.2. Modelos de UX enfocados a sistemas interactivos

En esta sección se analizan los diversos modelos de UX enfocados a sistemas interactivos. Los modelos son descritos con perspectivas que van desde lo preceptivo hasta lo explicativo. Por modelos preceptivos entendemos aquellos que proporcionan una serie de pasos o principios a seguir, mientras que los explicativos consisten de conceptos, ideas o dimensiones a desarrollar, así como modelos intermedios (llamados analíticos) que no ofrecen instrucciones específicas pero analizan el fenómeno y dan pautas para mejorar la UX. En la tabla 2.1 se presentan los diversos modelos clasificados en base a su enfoque, los cuales se discuten en las sub-secciones siguientes.

2.2.1. Guía para Interface Kinect

Las Guías de Interfaz Humana Kinect (The Kinect Human Interface Guidelines) (Microsoft, 2018) proveen orientación técnica para utilizar de manera correcta el sensor Microsoft Kinect así como consejos de interacción tales como:

- Uso de gestos innatos y aprendidos; mover la mano de un lado a otro para cambiar una pantalla es un gesto aprendido mientras que cerrar el puño para agarrar un objeto es innato.
- No utilizar el sensor para replicar un teclado o ratón.
- Diseñar gestos “confiables”; si el gesto es muy difícil de replicar el usuario se frustrará.
- Diseñar para el contexto adecuado.
- Diseñar para interacciones naturales aprovechando las características del dispositivo de censado para replicar los movimientos de una persona.

¿Qué tan específico es?	Modelo
Método Prescriptivo	Microsoft (2018)
Método Analítico	Rogers and Muller (2006)
Método Analítico	Benford et al. (2005)
Método Analítico	Eriksson et al. (2007)
Método Analítico	Larssen et al. (2007)
Método Analítico	Loke and Robertson (2013)
Método Analítico	Kleinsmith and Bianchi-Berthouze (2013)
Método Analítico	Bellotti et al. (2002)
Método Explicativo	Csikszentmihalyi (1991)

Tabla 2.1: Visión general de los modelos de UX

- Ignorar movimientos naturales del cuerpo como estornudar, rascarse, etc.
- Proveer respuesta claras.

2.2.2. El Modelo Esperado, Censado y Deseado

Bendford y otros proponen un modelo para ayudar a los desarrolladores a descubrir problemas potenciales al crear sistemas interactivos analizando la relación entre los sensores y los movimientos empleados en el sistema (Benford et al., 2005). Para aplicar el modelo al diseño de un sistema se requieren los siguientes pasos:

- Lo Esperado: Se deben analizar los movimientos esperados previendo diversos tipos de usuarios y entornos considerando variables como rango de movilidad, velocidad, precisión y estabilidad. Por ejemplo, cuando se utiliza un *Head-Mounted Display* los movimientos normales de la cabeza serán lentos y no contarán con una rotación o balanceo bruscos, las manos se mantendrán dentro de la distancia de extensión del brazo a la cabeza y el usuario no se moverá mucho en el espacio físico debido a los cables de conexión.
- Lo Censado: Se deben analizar los movimientos identificando todas las limitaciones conocidas de las tecnologías de detección, por ejemplo, si se requiere construir un sistema que utilice GPS se debe tener presente que no se pueden realizar mediciones dentro de un edificio o bajo tierra.

- Lo Deseado: Se deben analizar los movimientos deseados sin importar las limitaciones de los movimientos esperados y tecnologías de detección disponibles.

Al aplicar este modelo, el desarrollador puede clasificar y analizar el comportamiento del usuario y los distintos tipos de sensores, lo cual puede revelar problemas previos al desarrollo así como oportunidades para la incorporación de nuevas características.

2.2.3. Interacción basada en el movimiento en espacios con videocámara: un modelo conceptual

Eriksson propone un modelo que utiliza videocámaras como principal método de censado (Eriksson et al., 2007). El modelo ayuda al desarrollador a explorar variantes y enfoques al diseñar sistemas interactivos a través de tres conceptos principales: espacio, relaciones y retroalimentación. El espacio se refiere a las propiedades del campo de visión de la cámara donde el movimiento puede ser detectado y registrado, mientras que las relaciones comprenden el mapeo entre el movimiento del usuario y las entidades correspondientes en el dominio de la aplicación y, finalmente, la retroalimentación se relaciona en cómo los eventos se presentarán al usuario. El modelo permite al diseñador detectar problemas potenciales y considerar configuraciones alternativas de diseño en sistemas interactivos que utilizan videocámaras o sensores de captura de movimiento.

2.2.4. Dar sentido a los sistemas de detección: cinco preguntas para diseñadores e investigadores

Bellotti hacen énfasis en la falta de convenciones de interacción para sistemas interactivos (Bellotti et al., 2002). Por ejemplo, en aplicaciones de escritorio, un parpadeo en el cursor significa que el sistema está listo para recibir un comando, mientras que en un sistema interactivo no existe una analogía similar. Este modelo ayuda al desarrollador a darse cuenta de problemas y posibles mejoras antes de construir un sistema. Esto se logra a través de una serie de preguntas que debe responder el desarrollador del cual se obtendrá retroalimentación para mejorar la interacción y experiencia de usuario. Las preguntas que se deben responder son:

1. ¿De qué manera se debe interactuar con el sistema?. Se recomienda evitar ambigüedad en el uso de dispositivos.

2. ¿Cómo se que el sistema esta listo y respondiendo a mis acciones?
Se debe considerar una retroalimentación apropiada (luces, sonidos, etc.)
3. ¿Cómo sabe el sistema a qué me refiero cuando realizo una acción?
Se deben evitar interacciones confusas o con doble significado, así como operaciones y comandos complejos.
4. ¿Cómo sé que realicé un comando correctamente?.
5. ¿Cómo puedo evitar errores?
Considerar la incorporación de mecanismos para cancelar operaciones (*undo-command*).

Cuando el desarrollador responde estas preguntas obtiene un panorama claro respecto a la forma de interacción lo cual se traduce en convenciones en el diseño del sistema, mejorando la experiencia de usuario y usabilidad.

2.2.5. Modelo para diseñar interacciones basadas en sensores que promuevan la exploración y la reflexión

Rogers and Muller incitan a los diseñadores a analizar los procesos fenomenológicos que enfrentará un usuario al utilizar un sistema basado en sensores (Rogers and Muller, 2006). Estos autores proponen que las interacciones sensoriales incluyan acciones inesperadas desencadenando ciclos fenomenológicos de percepción, comprensión y reflexión.

Este modelo utiliza la:

- Incertidumbre. Experimentar una tensión o incongruencia, que resulta en no saber qué hacer.
- Sorpresa. Experimentar algo diferente de lo que uno esperaría en un situación similar.

Mediante estos dos conceptos Roger y Muller argumentan que es posible crear áreas de oportunidad en los cuales los diseñadores puedan desarrollar sistemas flexibles que permitan a los usuarios interpretarlos y emplearlos de distintas maneras.

Un modelo similar al de Roger and Muller propone Hook (2008); en éste el diseño de los sistemas interactivos tiene que dejar “superficies abiertas”

(*open surfaces*). Por superficies abiertas Höök explica que la funcionalidad proporcionada por el sistema debe diseñarse para dar flexibilidad a los usuarios sobre cómo interpretarla y emplearla para que las personas creen sus propias formas de interacción en vez de forzarlos a utilizar convenciones tradicionales.

2.2.6. El modelo de la dimensión del sentimiento

Larssen propone un modelo para ayudar a los diseñadores a considerar cómo los usuarios pueden experimentar un sistema kinestésicamente a través del papel que juegan los sentidos propioceptivo, cinestésico y háptico y la relación entre los movimientos del usuario y la función del producto (Larssen et al., 2007).

El modelo aborda: el diálogo entre el cuerpo-cosa, el potencial para la acción, las acciones en el espacio y la expresión del movimiento. El diálogo se refiere al análisis de la interacción que se da entre el cuerpo y el sistema/cosa. El potencial de acción se refiere a las intenciones de las personas. Las acciones se refiere a si la conducta del usuario se lleva dentro o fuera del alcance de los objetos (en un sentido físico o cultural) y finalmente la expresión del movimiento se refiere a la forma en que las personas ejecutan movimientos al interactuar con objetos o entornos.

2.2.7. Percepción y reconocimiento de la expresión corporal afectiva

Kleinsmith y Bianchi-Berthouze revisan la literatura sobre expresiones afectivas corporales, percepción y reconocimiento, con el objetivo de encontrar relaciones entre la actividad corporal y las emociones a través de pistas propioceptivas (Kleinsmith and Bianchi-Berthouze, 2013).

Con base a dicha revisión describen y clasifican características específicas del cuerpo para reconocer estados afectivos. Por ejemplo, el enojo se reconoce a través de movimientos bruscos en manos y codos, así como brazos extendidos, mientras que la felicidad se caracteriza por movimientos más lentos, cabeza erguida o ligeramente doblada hacia atrás, columna recta, codos doblados y apertura de hombros.

La relevancia de las expresiones corporales y los beneficios de desarrollar aplicaciones que fomenten emociones es evidente en muchas áreas de la

sociedad. Por ejemplo, los maestros podrían hacer uso de sistemas para saber el estado de los alumnos y adecuar su método de enseñanza. En rehabilitación los médicos podrían saber cuando un usuario tiene dolor y en base a esto adecuar su terapia.

2.2.8. Haciendo lo inusual

Loke y Robertson proponen un método a través del cual se irrumpe en la forma habitual de interacción con el objetivo de cambiar la percepción, perspectivas y expectativas del usuario Loke and Robertson (2009, 2013).

El método comprende tres partes: 1) entender al cuerpo en movimiento, 2) describir el movimiento y 3) idear nuevos movimientos. En 1) el usuario tiene que realizar actividades habituales realizando movimientos nuevos e inesperados. En 2) se identifican los movimientos nuevos y se plasman en papel (en primera o tercera persona), finalmente en 3) los movimientos se replantean considerando variables como el rango de movilidad, velocidad, precisión y estabilidad analizando otros tipos de usuarios y entornos; de manera similar al modelo *Esperado, Censado y Deseado*.

2.2.9. Teoría de la Experiencia de Usuario Óptima o Flujo

La Teoría de la Experiencia de Usuario Óptima o flujo es un modelo teórico de IHC que describe el estado emocional en que se encuentra un usuario cuando realiza una actividad (Csikszentmihalyi, 1991). Este modelo surge en psicología y se ha adecuado a ambientes computacionales tradicionales y recientemente a sistemas interactivos (Romero and Calvillo-Gámez, 2012). A diferencia de modelos anteriores, el estado de flujo es una clase particular de UX que se enfoca únicamente a la descripción y promoción de un estado emocional positivo.

Las nueve dimensiones o características que describen el estado de flujo son las siguientes (Jackson, 2000; Nakamura and Csikszentmihalyi, 2002):

1. Equilibrio entre retos y habilidades.
2. Metas/Objetivos claros.
3. Retroalimentación clara, inmediata y sin ambigüedades.
4. Fusión Acción-Atención.

5. Concentración en la tarea.
6. Sentido de control.
7. Pérdida de auto conciencia.
8. Transformación del tiempo.
9. Experiencia autotélica (intrínsecamente gratificante).

Nakamura and Csikszentmihalyi (2002) plantean como promotores de estado del flujo únicamente las dimensiones 1), 2) y 3) ya que el resto son consecuencias del mismo. Para efectos de esta investigación se utiliza este modelo ya que es uno de los más utilizados en la literatura de UX y se adecua exitosamente a sistemas interactivos (Romero and Calvillo-Gómez, 2012). En la sección siguiente se presenta un resumen de los modelos de UX de acuerdo a su dimensión y tema central.

2.3. Dimensiones de los modelos de UX

Con base en la literatura hay tres dimensiones básicas que caracterizan a los modelos de UX: 1) Enfocados en el sistema de censado; 2) Enfocados en los procesos fenomenológicos de percepción, comprensión y reflexión; y 3) Enfocados en las emociones. En 1) los modelos se caracterizan por ofrecer guías y convenciones de interacción; en 2) los modelos ayudan al diseñador a entender y reflexionar sobre los procesos hápticos y kinestésicos que el usuario experimenta a través del uso del sistema interactivo y en 3) los modelos están dirigidos a promover un estado de ánimo específico, lo que se traduce en una mejor experiencia de usuario. En la tabla 2.2 se muestra un comparativo de los modelos de UX en base a su dimensión, tema central, nivel de subjetividad y limitación.

En esta tesis se utiliza la Teoría de la Experiencia Óptima o Flujo como marco de trabajo, esta decisión se justifica en base a tres aspectos: 1) el modelo debe ser de carácter general y aplicable al diseño de cualquier sistema interactivo; 2) el modelo debe de contar con una amplia literatura; y 3) no debe de tener efectos negativos o adversos en el usuario. En particular los modelos de Microsoft, Bendord, Eriksson y Belloti no cumplen con la primera parte de los aspectos deseados ya que solamente están centrados a un dispositivo o a cierto paradigma de interacción; por su parte los modelos de Roger y Muller, Larssen y Loke and Robertson son ambiguos y subjetivos. El modelo de Kleinsmith y Bianchi-Berthouze es claro y general; sin embargo, su aplicación puede propiciar emociones con una connotación

Nombre	Dimensión	Tema Central	Nivel Subjetividad	Limitación
Microsoft (2018)	1	Guías de interacción para utilizar el sensor Kinect	Bajo	Solamente aplica al sensor Kinect
Benford et al. (2005)	1	Ejemplos de movimientos de acuerdo a lo que el dispositivo puede censar	Medio	Los ejemplos solo se aplican a un número reducido de dispositivos
Eriksson et al. (2007)	1	Considerar el espacio relaciones y retroalimentación en sistemas que utilicen videocamaras	Medio	Solamente es aplicado a sistemas con videocamaras
Bellotti et al. (2002)	1	Propone el uso de convenciones de interacción	Alto	Enfocado únicamente a Cómputo Ubicuo
Rogers and Muller (2006)	2	Analizar los procesos fenomenológicos en la interacción	Alto	Es ambigüo
Larssen et al. (2007)	2	Sensibilizar al diseñador en cómo los usuarios experimentarán de forma kinestésica el sistema	Alto	Es ambigüo
Loke and Robertson (2013)	2	Cambiar la perspectiva percepción y perspectivas del usuario	Alto	Es ambigüo
Kleinsmith and Bianchi-Berthouze (2013)	3	Modular la UX a través de pistas propiceptivas	Medio	Ciertas pistas propiceptivas puede derivar en emociones negativas como el miedo o angustia
Csikszentmihalyi (1991)	3	Modular la UX a través de dimensiones del flujo	Medio	Es ambigüo

Tabla 2.2: Modelos de UX por dimensión, tema central, nivel de subjetividad y limitaciones

negativa y aunque esto puede ser deseable en algunas circunstancias, por ejemplo fomentar el miedo cuando una persona esta viendo una película de terror, esta investigación se enfoca en sistemas interactivos en los que las emociones positivas son el foco de atención. Finalmente la Teoría de Flujo no impone la realización de movimientos motrices específicos para inducir estados emocionales, lo cual es parte fundamental en otros modelos pero es una limitante para los diversos sistemas interactivos.

La Teoría de Flujo propone que las dimensiones 1), 2) y 3) (ver sección 2.2.9) inducen un estado emocional positivo; sin embargo la literatura es ambigua y no se especifica cómo utilizar estas dimensiones al diseñar e implementar un sistema interactivo. Tomando en cuenta estas limitaciones en esta tesis se propone la noción de reto compuesto, el cual es útil para el diseño de sistemas interactivos que propicien un estado emocional positivo. En la sección siguiente se explica este concepto.

2.4. Retos compuestos

La condición principal para fomentar un estado de flujo es el balance entre retos y habilidades (Fullagar et al., 2013; Massimini and Carli, 1988). Tradicionalmente estas nociones se utilizan de manera ambigua e implícita; sin embargo, para efecto de esta investigación se requieren caracterizar de manera más precisa.

Un reto se define en relación a un agente y una meta. El agente tiene habilidades físicas y/o mentales las cuales puede combinar en distintos grados. Estas pueden ser visuales, auditivas, motoras, olfativas, gustativas y propioceptivas. Debido a su complejidad y variedad las habilidades no demandan la misma carga cognitiva o motora para todos los usuarios por ello es imprescindible recurrir a la estimación fisiológica ó subjetiva en su medición. Es decir, mediante:

- Medición de Indicadores Fisiológicos. En estos métodos se recoge la impresión fisiológica utilizando técnicas como:
 - Actividad Cardíaca. Estudiando las modificaciones de la frecuencia cardiaca o las arritmias mediante un encefalograma.
 - Actividad Ocular. Mediante el registro de los movimientos de los ojos, diámetro pupilar, frecuencia del parpadeo o el registro de la actividad eléctrica del ojo (a través de electrodos).
 - Actividad Muscular. Mediante la contracción muscular realizando un electromiograma.
 - Actividad Cortical. Estudiando la actividad eléctrica del cerebro a través de un electroencefalograma.
- Medición de Indicadores Psicológicos. En estos métodos se recoge la impresión subjetiva utilizando técnicas como cuestionarios, escalas, test, entrevistas, por ejemplo:

- Escala de Cooper-Harper (Cooper, 1969). Esta escala, que en su origen fue diseñada para evaluar tareas de vuelo, mide la carga mental mediante evaluaciones subjetivas de la dificultad de diferentes tareas. A través de un instrumento en forma de árbol lógico, es decir, planteando una serie de preguntas-filtro, de manera que cada respuesta determina la siguiente pregunta, se obtiene una puntuación de carga mental comprendida entre 0 y 10.
- Escala de Bedford (H. Roscoe and A. Ellis, 1990). Al igual que la anterior, propone la valoración de la carga mental a través de una escala de 10 puntos en forma de árbol de decisión. Para ello, el trabajador ha de dar un juicio sobre la carga mental que le supone una determinada actividad y sobre la cantidad de capacidad residual.
- Escala de carga global (Overall Workload). Propuesta por A. Vidulich and Tsang (1987) para la evaluación de la carga mental experimentada por los individuos, es una escala bipolar de 0 a 100, con intervalos de 5 unidades, donde el 0 representa la carga mental muy baja y 100 muy elevada.
- NASA- TLX (Task Load Index). Este procedimiento, desarrollado por Hart and Staveland (1988), distingue seis dimensiones de carga mental (demanda mental, demanda física, demanda temporal, rendimiento, esfuerzo y nivel de frustración), a partir de las cuales calcula un índice global de carga mental. En distintas investigaciones de laboratorio se ha comprobado que es sensible a una gran variedad de tareas, y que cada una de las seis sub-escalas proporciona información independiente sobre su estructura.
- Perfil de carga mental (Workload Profile). Es una técnica novedosa propuesta por Tsang and L. Velazquez (1996), en la cual los sujetos deben estimar la proporción de recursos de distinto tipo que utilizan en la realización de una tarea.

Los métodos de evaluación subjetiva son utilizados por su facilidad de uso. Además ofrecen una ventaja sobre los métodos de valoración fisiológica al no ser intrusivos ya que se aplican una vez se ha realizado la tarea sin ningún instrumento adicional.

El problema asociado a estas mediciones (fisiológicas o subjetivas) es su generalidad. En particular, la escala NASA-TLX considera la demanda física y mental pero como resultado final solamente da un índice global de carga

mental. Es por esto que en esta investigación para la validación de un tipo de reto se creó una escala (ver 2.3) en la cual se toma en cuenta la demanda mental y física.

En esta escala cada habilidad tiene un valor para la carga mental y física, la cual se cuantificará a través de dos preguntas de tipo Likert que van del 0 (nada de demanda/carga) al 5 (mucho demanda/carga). En la tabla 2.3 se muestran las habilidades consideradas para la carga física y mental que son consideradas relevantes cuando se realiza una actividad corporal. De ser necesario se pueden aumentar las habilidades o disminuir según el tipo de reto.

Modalidad	Habilidad	Demanda Física	Demanda Mental
		0 1 2 3 4 5 Ninguna - Regular - Mucha	0 1 2 3 4 5 Ninguna - Regular - Mucha
Visual	Reconocer estructuras, posiciones y modelos.		
	Percibir colores.		
	Percibir tamaño y forma.		
	Reconocer la posición de objetos.		
	Estimar distancias.		
	Estimar cantidades o peso.		
	Estimar la velocidad de objetos en movimiento.		
Auditiva	Memorizar objetos.		
	Reconocer patrones o secuencias de sonido.		
Motora	Reconocer la incidencia de tonos o sonidos.		
	Reconocer la suavidad o dureza de superficies.		
	Reconocer la temperatura de las superficies.		
	Detectar la presión ejercida por un objeto.		
	Sostener un objeto.		
	Realizar movimientos intensos con las manos		
	Realizar movimientos ligeros con las manos		
	Realizar movimientos intensos con las pies		
Olfativa	Realizar movimientos ligeros con las pies		
	Reconocer olores.		
Propioceptiva	Reconocer sensaciones o estímulos internos.		
	Percibir movimientos de nuestro propio cuerpo.		
	Sentido del equilibrio.		

Tabla 2.3: Propiedades de las habilidades del agente

En el contexto de sistemas interactivos todos los retos se considerarán compuestos ya que demandan que el agente tenga habilidades mentales o físicas en diversos grados; sin embargo estos retos pueden ser balanceados o no-balanceados. Para efecto de esta investigación postulamos que un reto es balanceado cuando las demandas mentales son similares a las físicas; es decir, el valor absoluto de la resta entre la suma de las demandas mentales y la suma de la demandas físicas es menor igual a un umbral de similitud.

$$\left| \sum_{i=1}^n DemandaMental_i - \sum_{i=1}^n DemandaFisica_i \right| \leq U \quad (2.1)$$

La expresión 2.1 surge a partir de la clasificación de las habilidades por modalidad en donde las visuales, auditivas y olfativas son consideradas para el reto mental y las motoras y propioceptivas para el físico. Como umbral de similitud se tomara el 5% de la suma total de puntos posibles en la escala. Es decir:

$$U = \frac{H * 5 * 2}{H} \quad (2.2)$$

Donde H es el numero total de habilidades, el valor de 5 es el puntaje máximo que un usuario puede asignar por demanda y 2 es el número de demandas (mental y física).

Por ejemplo en el caso de la tabla 2.3 el máximo total que podemos obtener en la puntuación es 220 el cual se obtiene al multiplicar las 22 habilidades por las 2 demandas por 5 de cada puntaje y al dividirlo por las 22 habilidades nos da el umbral de similitud que en este caso es 11. Otra manera de obtener el umbral de similitud es sacar el 5% del máximo total en la puntuación; siguiendo el ejemplo el 5% de 220 es igual a 11.

A manera de ejemplo se analiza un videojuego con retos de baile en términos de las habilidades y la demanda mental y física requerida por el agente. Con base en la tabla 2.3 las habilidades seleccionadas para el reto de baile son: 1) reconocer estructuras y posiciones; 2) percibir tamaños y formas; 3) reconocer la posición; 4) estimar distancias; 5) memorizar objetos; 6) reconocer patrones o secuencias de sonido; 7) realizar movimientos intensos con las manos; 8) realizar movimientos intensos con los pies; 9) reconocer sensaciones o estímulos internos; 10) percibir movimientos del cuerpo; y 11) sentido del equilibrio. Un posible resultado de valores asignados por un usuario a la demanda mental y física después de jugar un videojuego de baile se observa en la tabla 2.4.

Como se observa en la tabla 2.4 los valores de demanda asignados a cada habilidad pueden variar mucho de un usuario a otro, por lo que es necesario obtener una muestra de la población a estudiar.

Una ecuación ampliamente utilizada en estadística para obtener la muestra poblacional es la siguiente (Natrella, 2010):

$$N = \frac{z^2 * p * q}{e^2}$$

Modalidad	Habilidad	Demanda Física	Demanda Mental
Visual	Reconocer estructuras, posiciones y modelos.	2	0
	Percibir tamaño y forma	1	0
	Reconocer la posición de objetos	1	0
	Estimar distancias	2	0
	Memorizar objetos	5	0
Auditiva	Reconocer patrones o secuencias de sonido.	3	0
Motora	Realizar movimientos intensos con las manos	0	5
	Realizar movimientos intensos con los pies	0	5
Propioceptiva	Reconocer sensaciones o estímulos internos	1	1
	Percibir movimientos de nuestro propio cuerpo	1	3
	Sentido del equilibrio	1	3
	TOTAL	17	17

Tabla 2.4: Habilidades y demanda mental y física para un videojuego que presenta retos de baile

En donde N es igual al numero muestral, z es el valor de confianza (si es del 95 % se utiliza el valor 1.96), p y q son las probabilidades a favor y en contra las cuales normalmente son de .5 y e es el error muestral permitido. El nivel de confianza indica la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos: un 95,5 % de confianza es lo mismo que decir que nos podemos equivocar con una probabilidad del 4,5 %. Los valores de confianza se obtienen de la tabla de la distribución normal. Por ejemplo si queremos que nuestra muestra tenga una confianza del 95 % con un error permitido del 20 % sustituyendo en la formula anterior tendríamos que:

$$N = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,2^2}$$

$$N = 24,01$$

Por lo que se necesitaría una muestra poblacional de 24 personas.

Suponiendo que los valores de la tabla 2.4 corresponden a la media de todos los valores recolectados en la muestra poblacional (de 24 sujetos) se

tendría que:

$$\sum_{i=1}^n DemandaMental = 17;$$

$$\sum_{i=1}^n DemandaFisica = 17;$$

$$Umbral\ de\ similitud = \frac{11 * 5 * 2}{11}$$

$$Umbral\ de\ similitud = 10$$

Sustituyendo en la formula 2,1

$$17 - 17 \leq 10 \implies \text{El reto es balanceado}$$

El concepto de reto compuesto balanceado y no-balanceado es central en esta investigación ya que su uso y evaluación repercuten en el nivel de flujo que un usuario experimenta al utilizar un sistema interactivo. En la sección siguiente se muestra como el estudio de los retos se ha abordado en investigaciones previas en el contexto de sistemas interactivos y flujo.

2.5. Sistemas Interactivos, Flujo y Retos Compuestos

Los retos son esenciales a los sistemas de interacción. Romero and Calvillo-Gómez (2012) presentan un estudio en el cual se evalúa si los retos balanceados promueven en mayor medida un estado de flujo en sistemas interactivos; para este fin crearon un videojuego llamado “Posturas” en el cual los usuarios tienen que imitar y recordar las posturas de un avatar, propiciando dos tipos de memoria 1) kinestésica o muscular al imitar la poses y, 2) contextual al recordar la poses.

Las posturas se muestran en secuencia y cada una se asocia a un número en rojo localizado en la esquina superior izquierda de la pantalla, como se muestra en la figura 2.1. El juego evalúa el grado de similitud entre la postura del usuario con la del avatar y el resultado de dicha evaluación se muestra en la esquina inferior derecha mediante una expresión facial (feliz, neutral y triste).

Para evaluar el concepto de reto compuesto se definen dos versiones del juego 1) des-balanceada y 2) balanceada. En 1) los jugadores tiene que

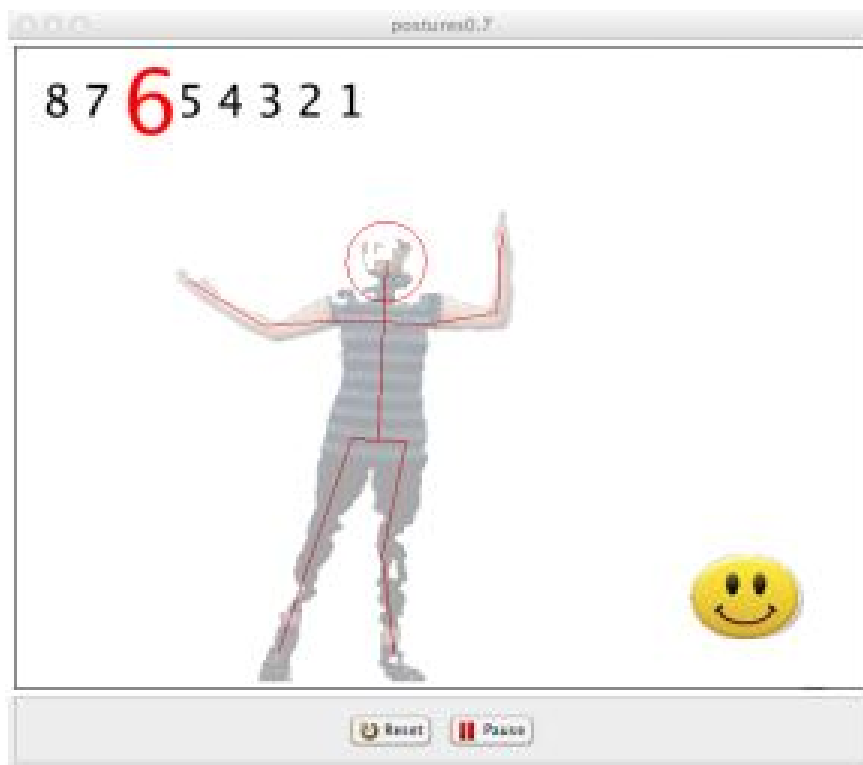


Figura 2.1: Captura de pantalla del Juego Posturas

recordar las poses ya que el avatar desaparece aleatoriamente mostrando sólo el número de la postura, lo cual produce que la parte mental (memoria contextual) predomine sobre la física (memoria muscular); por su parte en 2) el avatar y el número de la pose siempre permanecen en pantalla. La carga contextual en la versión 1) limitaba la capacidad del jugador para entrar en un estado de flujo; por su parte en 2) el jugador mantenía una concentración constante lo cual fomentaba la promoción de un estado de flujo.

El resultado principal de este estudio sugiere que los retos compuestos balanceados promueven un estado precursor del estado de flujo llamado atención sin esfuerzo (*effortless attention*), el cual se caracteriza por una profunda concentración que se percibe sin esfuerzo. Adicionalmente se menciona que los retos balanceados tienen el potencial para que los sistemas interactivos promuevan en mayor medida un estado de flujo pero se necesita realizar un mayor número de estudios para demostrarlo. Este experimento no es claro al medir la proporción de los tipos de habilidades entre los retos;

en particular, el reto no balanceado aumenta la dificultad en la memoria visual y contextual de forma considerable, lo que ocasiona que los jugadores se frustren y no entren en un estado de flujo, este problema se puede abordar implementando una sesión de entrenamiento o aumentando gradualmente la dificultad.

En otro estudio Espinosa and Mares (2012) exploran sí la inclusión de aspectos familiares o conocidos a retos compuestos impacta en el potencial de un videojuego para fomentar un estado de flujo. Para este fin desarrollaron un videojuego de disparos en riel (*rail shooting*) cuyo objetivo es destruir enemigos (representados por cubos) evitando que estos colisionen con el jugador, el cual se representa por una esfera amarilla, mientras se avanza o retrocede en un escenario en forma de cinta de moebius. Para destruir a los enemigos el jugador mueve con las manos dos cursores en pantalla representados por una mira verde y una roja; de igual forma para evitarlos el jugador se puede mover físicamente dando pasos hacia adelante o atrás lo cual hace que la esfera amarilla se mueva en el ambiente virtual.

Al igual que en el estudio anterior existen dos versiones del juego: 1) reto familiar y 2) reto no-familiar. En la versión 1) se ocupan ambas manos para mover las miras, las cuales se tienen que posicionar sobre los enemigos que aparecen en la pantalla para destruirlos (ver Figura 2.2). Esta versión es familiar o conocida ya que se basa en la mecánica tradicional de videojuegos de disparos en rail como por ejemplo *Child of Eden* (Ubisoft, 2018) en el que se tiene que seguir un camino predeterminado para destruir a los enemigos.

En la versión 2) se divide la pantalla en dos partes y a diferencia de la versión anterior, la parte izquierda representa la vista frontal del jugador, mientras que la parte derecha la vista trasera; en ambas pantallas aparecen enemigos que tienen que ser destruidos con la restricción de que en la pantalla izquierda solamente se pueden destruir enemigos con la mano izquierda (mira verde) y en la derecha con la mano derecha (mira roja) (ver Figura 2.3). El resultado principal de este estudio sugiere que la incorporación de un elemento de coordinación sencillo y retos familiares promueve estados de flujo en mayor medida que retos no familiares y elementos de coordinación complicados. Al igual que en el estudio anterior existe un problema para cuantificar la proporción de los tipos de habilidades entre los retos.

Sin embargo todas estas investigaciones tienen como limitante que no definen la forma de crear los retos compuestos o como validarlos lo cual es uno de los objetivos principales de esta tesis.

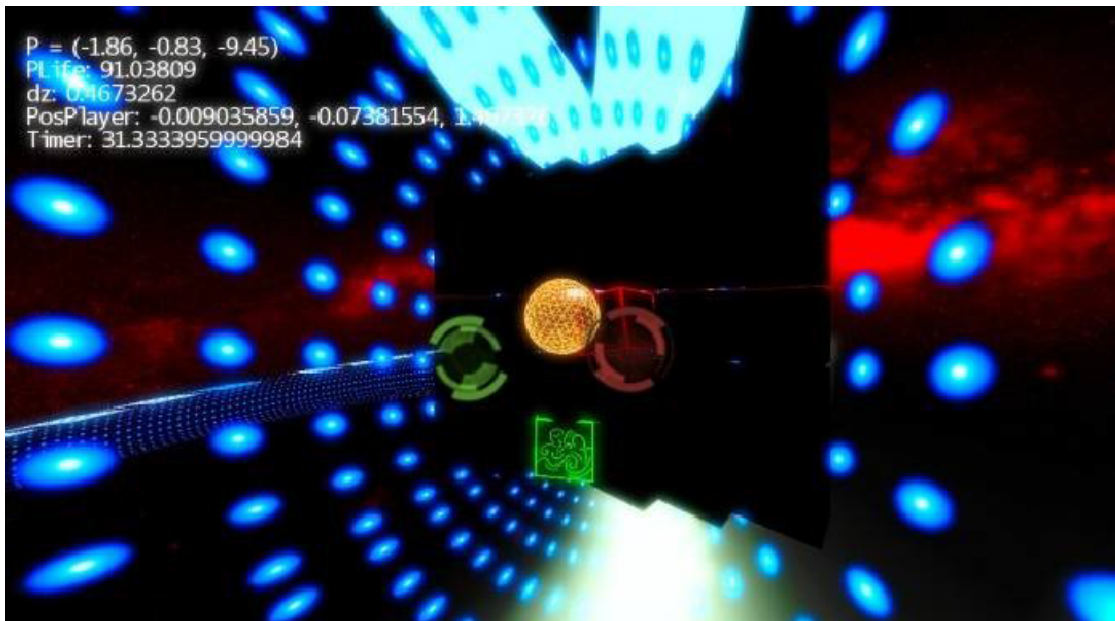


Figura 2.2: Captura de pantalla de la primera versión del juego. El jugador es representado por la esfera amarilla.

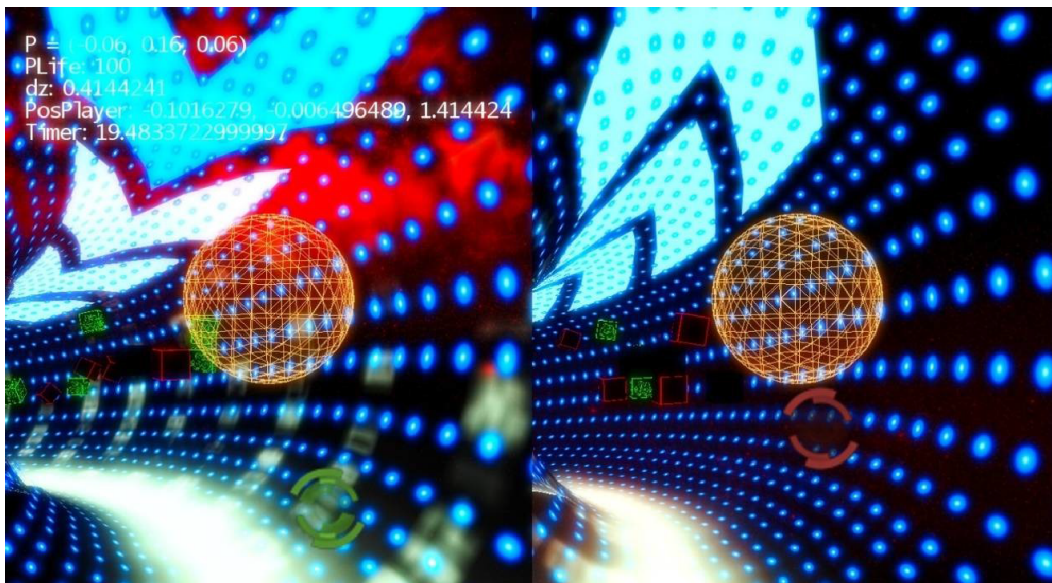


Figura 2.3: Captura de pantalla de la segunda versión del juego. El jugador es representado por la esfera amarilla.

2.6. Recapitulación

En este capítulo se revisaron diversos modelos de UX para sistemas interactivos. Estos modelos se clasificaron en tres tipos principales:

1) Enfocados al sistema de detección; 2) Enfocados a los procesos fenomenológicos de percepción; y 3) Enfocados a promover un estado emocional específico. Con base a esta revisión se seleccionó La Teoría de la Experiencia de Usuario Óptima o Flujo como marco de trabajo debido a su propósito general, la abundancia de literatura y que no propicia estados emocionales negativos que afecten al usuario. En éste el balance entre retos y habilidades es el factor principal para fomentar un estado emocional positivo sin embargo; los retos no se especifican o definen claramente, por lo que en esta tesis se propone que para que se fomente un mejor estado de flujo los retos deben balanceados tomando en cuenta las habilidades y cargas mentales y físicas.

También se presentaron ejemplos de investigaciones en el contexto de retos compuestos, estado de flujo y sistemas interactivos. En estas investigaciones se plantean si 1) los retos balanceados promueven un mejor estado de flujo respecto a los no-balanceados y 2) los retos familiares fomentan un mejor estado de flujo respecto a los no-familiares. En estas investigaciones se observa una tendencia a que los retos balanceados y familiares promueven una mejor experiencia; sin embargo los estudios no son concluyentes ya que además del balance en los retos hay un desbalance en la dificultad de la tarea y no es claro como validar el tipo de reto.

Para explorar dichas limitantes y aclarar las interrogantes abiertas por estudios anteriores en el contexto de retos, flujo y sistemas interactivos, en el siguiente capítulo se presenta el diseño, construcción y evaluación de un sistema interactivo de realidad virtual llamado SIBMER.

Capítulo 3

SIBMER

SIBMER¹ es un sistema interactivo de entretenimiento basado en realidad virtual desarrollado con ayuda de la Facultad de Ingeniería y el Laboratorio de Análisis de Movimiento Humano del Instituto Nacional de Rehabilitación (INR).

SIBMER se desarrolló con cuatro propósitos principales: 1) clasificar retos en sistemas de realidad virtual; 2) conocer el impacto que tienen los retos en el estado de ánimo; 3) evaluar que tipo de retos promueven un mejor estado de flujo; y 4) incluir ejercicios para rehabilitar pacientes con problemas motrices de hombro. Sin embargo, debido a la falta de acceso a pacientes con dichos padecimientos solo se evaluaron los aspectos de interacción y se enfocó a ser un sistema de entretenimiento.

En este capítulo se presenta el funcionamiento, arquitectura e implementación de retos en SIBMER, así como los resultados obtenidos al clasificar los retos, evaluar la experiencia de usuario y estado de ánimo.

3.1. Operación del Sistema

El objetivo en SIBMER es controlar una nave que cruza portales al tiempo que esquiva asteroides y toma esferas de tiempo en un ambiente virtual de tipo *vertical scroller 2.5D*.² Los movimientos de la mano son mapeados a los movimientos de la nave mediante el sensor Kinect de Microsoft. El usuario incrementa su puntaje cada vez que la nave cruza un portal y lo decrementa cada vez que choca con un asteroide; asimismo la nave tiene un

¹Sistema de Interacción Basada en Movimiento Especializado en Rehabilitación

²Videojuego tridimensional que se limita a un plano vertical de dos dimensiones.

escudo cuya intensidad se decrementa cada que colisiona con un asteroide. En todo momento la intensidad del escudo se muestra en la parte derecha de la pantalla con la información de control (ver figura 3.1). El juego termina de dos formas: cuando la nave reduce la intensidad del escudo a cero o cuando el tiempo se agota; sin embargo, el usuario puede obtener un bono temporal cada vez que captura una esfera de tiempo. También se tiene retroalimentación auditiva a través de sonidos que se reproducen cuando el usuario cruza un portal o captura una esfera de tiempo y retroalimentación visual mediante un gráfico en forma de cara que sonrío, se entristece o permanece sin expresión dependiendo del desempeño del usuario.



Figura 3.1: Elementos en SIBMER. 1) Nave; 2) Portal; 3) Asteroide; 4) Puntaje; 5) Intensidad de escudo 6) Tiempo restante; 7) Mano utilizada; 8) Gráfico para retroalimentación

Adicionalmente SIBMER tiene un menú principal con diversas opciones para la administración de usuarios, videojuegos, reportes y calibración. En la pantalla de reportes se muestran estadísticas del desempeño del usuario, como el puntaje obtenido a través de diversas sesiones.

Los portales aparecen en un orden predefinido que indica la trayectoria que la nave debe seguir. El objetivo de la calibración es establecer los límites de movilidad del usuario, la cual se divide en dos partes a) detectar al usuario

y b) establecer los rangos de movilidad; para efecto del primero se crea un esqueleto virtual que mapea al usuario al espacio virtual (Figura 3.2) y en la segunda el usuario desplaza cuatro flechas orientadas hacia arriba, abajo, izquierda y derecha para definir los cuatro puntos máximos de movilidad que utilizará el videojuego (Figura 3.3).

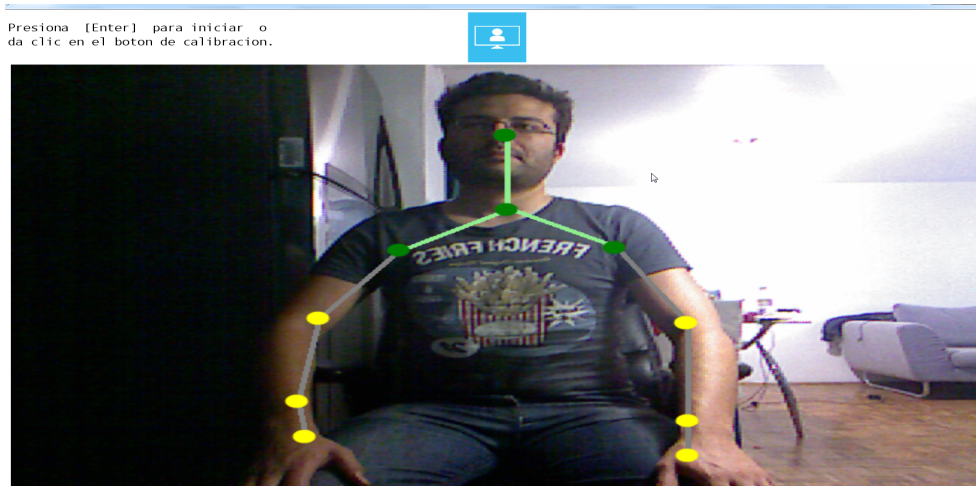


Figura 3.2: Primera parte de la calibración. Detección del usuario

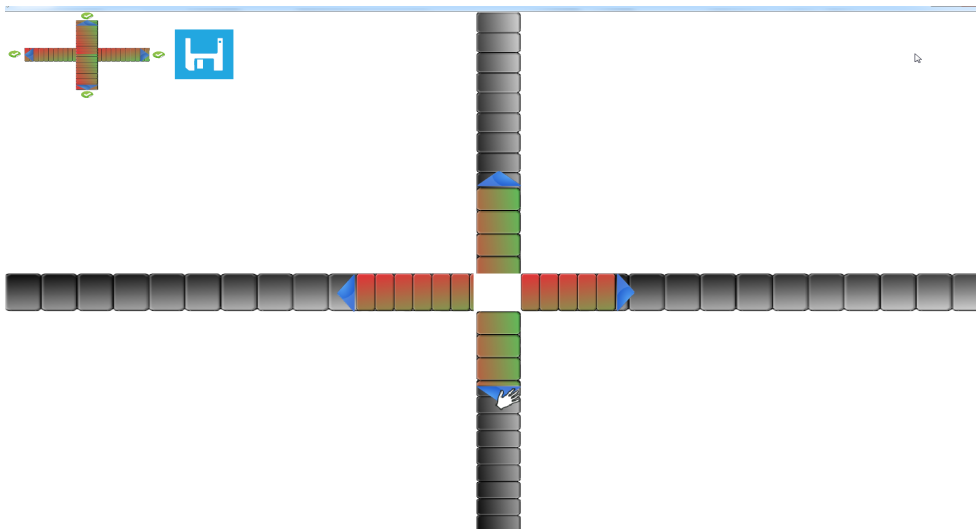


Figura 3.3: Segunda parte de la calibración. Definición de los rangos de movilidad

El algoritmo del proceso de calibración se detalla en el Apéndice B. Cada sesión de juego consta de dos etapas: 1) se realiza una calibración; y 2) se juega con el videojuego.

En la sección siguiente se describe la arquitectura de SIBMER.

3.2. Arquitectura

SIBMER consiste de tres componentes principales: a) un videojuego; b) un software administrativo; y c) un sensor Kinect. El sensor Kinect detecta al usuario y crea un esqueleto en 3D, el cual se envía al videojuego para el mapeo de los movimientos de la mano a los movimientos de la nave. (Figura 3.4).



Figura 3.4: Arquitectura de SIBMER

En el apéndice A, se detalla la arquitectura e implementación de SIBMER.

En la sección siguiente se describe a detalle el videojuego y los retos implementados en SIBMER.

3.3. Videojuego y validación de retos

El videojuego tiene una versión que implementa un reto balanceado y uno no-balanceado. En ambas versiones el objetivo es realizar ejercicios de flexión, abducción y aducción en lapsos de un minuto (que se pueden extender a máximo dos minutos y medio si un usuario obtiene todos los bonos de tiempo).

Para validar que los retos correspondan al tipo esperado (balanceado o no-balanceado) se realizó un experimento como se detalla a continuación.

Se seleccionaron 24 sujetos, 12 mujeres y 12 hombres con edades comprendidas entre los 18 a 28 años, con nivel mínimo de preparatoria y todos clínicamente sanos. Los usuarios no tenían conocimiento del propósito del experimento de antemano ni tampoco del tipo de escenario. La variable independiente es el tipo de reto, mientras que las variables dependientes son el nivel global de carga mental del cuestionario NASA-TLX y el total de carga mental y física del cuestionario diseñado para esta investigación (ambos cuestionarios se pueden consultar en el apéndice C).

Los participantes jugaron las dos versiones del videojuego (V1 y V2) en SIBMER de forma aleatoria. En ambas versiones de los videojuegos de SIBMER, el objetivo es controlar una nave que cruza portales al tiempo que esquiva asteroides y toma esferas de tiempo en un ambiente virtual de tipo 2.5D. En la versión V1 de SIBMER³, la nave solamente tiene que cruzar el mayor número de portales evitando colisionar con los asteroides, mientras que en la versión V2⁴ la nave tiene que cruzar los portales siguiendo un orden de colores específico además de evitar colisionar con los asteroides. Esta secuencia tiene una longitud variable la cual empieza por tres colores hasta llegar a siete.

El diseño del experimento se realizó de la siguiente manera:

- 1.- El participante respondió un cuestionario con información personal (nombre, edad, sexo, grado de estudios y carrera).

³Ver video <https://youtu.be/q3udhkCiS6A>

⁴Ver video <https://youtu.be/j0SfNI3pvME>

- 2.- Se asignó a cada participante una versión aleatoria del videojuego.
- 3.- El participante jugó la versión V1 o V2 del videojuego correspondiente al grupo asignado.
- 4.- El participante respondió el cuestionario del NASA-TLX y el cuestionario personalizado.
- 5.- El participante jugó la versión V2 o V1 del videojuego correspondiente al grupo asignado.
- 6.- El participante respondió el cuestionario del NASA-TLX y el cuestionario personalizado.

En la versión V1 las habilidades y demandas consideradas se muestran en la tabla 3.1. Los valores en las demandas corresponden a la media de los resultados asignados por 24 usuarios.

Modalidad	Habilidad	Demanda Física					Demanda Mental				
		0	1	2	3	4	5	0	1	2	3
		Ninguna - Regular - Mucha					Ninguna - Regular - Mucha				
Visual	Reconocer estructuras, posiciones y modelos.	1.55					2.35				
	Percibir colores.	0.75					2				
	Percibir tamaño y forma.	1.05					1.85				
	Reconocer la posición de objetos.	1.65					2.7				
	Estimar distancias.	2.1					2.45				
	Estimar cantidades o peso.	1.3					1.9				
	Estimar la velocidad de objetos en movimiento.	2.3					2.8				
	Memorizar objetos.	0.1					0.55				
Auditiva	Reconocer patrones o secuencias de sonido.	0.6					1.65				
	Reconocer la incidencia de tonos o sonidos.	0.75					1.4				
	Reconocer la suavidad o dureza de superficies.	1.05					1.65				
Motora	Reconocer la temperatura de las superficies.	0.65					1				
	Detectar la presión ejercida por un objeto.	1.55					1.9				
	Sostener un objeto.	1.8					1.8				
	Realizar movimientos intensos con las manos	2.6					2.05				
	Realizar movimientos ligeros con las manos	2.35					1.9				
	Realizar movimientos intensos con las pies	0.85					0.7				
	Realizar movimientos ligeros con las pies	0.55					0.75				
Olfativa	Reconocer olores.	0.35					1				
Propioceptiva	Reconocer sensaciones o estímulos internos.	1.2					1.5				
	Percibir movimientos de nuestro propio cuerpo.	1.85					2.05				
	Sentido del equilibrio.	2					1.85				
TOTAL		28.95					37.8				

Tabla 3.1: Habilidades y demanda mental y física para el reto balanceado en SIBMER

La versión V1 se considera balanceada ya que la demanda mental es similar a la demanda física, es decir:

$$|\sum_{i=1}^n DemandaMental_i - \sum_{i=1}^n DemandaFisica_i| \leq umbral$$

$$37,8 - 28,95 < 11$$

Esto se debe a que las actividades físicas (al realizar movimientos intensos para manejar la nave con la mano) y las mentales (al reconocer la posición de objetos, estimar distancias, estimar la velocidad de los objetos en movimiento) se da en una proporción similar.

En la versión V2 las habilidades y demandas consideradas se muestran en la tabla 3.2. Los valores en las demandas corresponden a la media de los resultados asignados por 24 usuarios.

Modalidad	Habilidad	Demanda Física	Demanda Mental
		0 1 2 3 4 5 Ninguna - Regular - Mucha	0 1 2 3 4 5 Ninguna - Regular - Mucha
Visual	Reconocer estructuras, posiciones y modelos.	1.5	2.55
	Percibir colores.	1.05	2.4
	Percibir tamaño y forma.	1.05	2.05
	Reconocer la posición de objetos.	1.45	2.4
	Estimar distancias.	1.7	2.4
	Estimar cantidades o peso.	1.55	1.85
	Estimar la velocidad de objetos en movimiento.	2.15	2.8
Auditiva	Memorizar objetos.	1.1	4.7
	Reconocer patrones o secuencias de sonido.	1.15	2.65
Motora	Reconocer la incidencia de tonos o sonidos.	0.7	1.8
	Reconocer la suavidad o dureza de superficies.	0.9	1.6
	Reconocer la temperatura de las superficies.	1.4	1.3
	Detectar la presión ejercida por un objeto.	1.75	1.85
	Sostener un objeto.	2.75	1.35
	Realizar movimientos intensos con las manos	2.75	1.85
	Realizar movimientos ligeros con las manos	1.95	1.85
	Realizar movimientos intensos con las pies	0.75	0.55
	Realizar movimientos ligeros con las pies	0.2	0.55
Olfativa	Reconocer olores.	0.2	0.55
	Reconocer sensaciones o estímulos internos.	1.1	0.8
Propioceptiva	Percibir movimientos de nuestro propio cuerpo.	1.25	2
	Sentido del equilibrio.	1.6	1.65
	TOTAL	30	41.5

Tabla 3.2: Habilidades y demanda mental y física para el reto no balanceado en SIBMER

La versión V2 es no-balanceada ya que se supera el umbral de similitud entre el total en la demanda mental y el físico, es decir:

$$\left| \sum_{i=1}^n DemandaMental_i - \sum_{i=1}^n DemandaFisica_i \right| \leq umbral$$

$$41,5 - 30 > 11$$

Esto se debe a que las actividades mentales extras (memorizar objetos y percibir colores) afectan el balance entre el resto de las actividades mentales y físicas.

Por otra parte los resultados obtenidos al evaluar el NASA-TLX se

resumen en la tabla siguiente:

PUNTAJE GLOBAL NASA TLX V1	PUNTAJE GLOBAL NASA TLX V2
49.955	50.486

Tabla 3.3: Resultados con el valor global de la prueba NASA TLX para ambas versiones

Puntaje Global	Nivel de Carga Mental
50 puntos o menos	Bajo
Sobre los 50 puntos y por debajo de los 90	Medio
Arriba de los 90	Alto

Tabla 3.4: Tabla para evaluar el resultado global del NASA TLX

Al evaluar los resultados obtenidos en la tabla 3.4 la carga mental en V1 se considera baja mientras que en la V2 la carga mental se considera media. Estos resultados son consistentes con los resultados obtenidos por el cuestionario personalizado, ya se obtuvo una carga mental de 37.8 para la V1 y una carga de 42.75 para la V2.

3.4. Experimento y Resultados

Una vez validados los tipos de retos se realizó un experimento para determinar 1) en que medida la inclusión de un reto balanceado o no balanceado altera el estado anímico en los sujetos y 2) si los retos balanceados promueven una mejor experiencia de flujo.

Se seleccionó una muestra de 16 sujetos, 8 hombres y 8 mujeres con edades comprendidas entre los 21 a 51 años, con nivel mínimo de licenciatura, todos clínicamente sanos. Los usuarios no tenían conocimiento del propósito del experimento de antemano ni tampoco del tipo de escenario. La variable independiente fue el tipo de reto, mientras que las variables dependientes fueron el cambio en el estado de ánimo y el nivel en el estado de flujo (ambos reportados por medio de cuestionarios).

Todos los participantes jugaron las dos versiones del videojuego divididos en dos grupos de acuerdo al orden en el que jugaron: 1) RB-RNB y 2) RNB-RB. El experimento se diseñó de esta manera para evitar algún sesgo debido

al orden.

Para la evaluación del estado de ánimo se aplicó un cuestionario diseñado para esta investigación que comparte elementos de otras escalas diseñadas para evaluar depresión y ansiedad (Watson and Anna Clark, 1997); cómo se detalla en la tabla 3.5

Marque su respuesta.										
En una escala de: 0 (Nada) a 9 (Extremadamente)										
En este momento me siento:										
Alerta	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Atento	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Energético	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Emocionado	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Feliz	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sociable	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Tabla 3.5: Cuestionario para evaluar el estado emocional

Por su parte para la evaluación de la experiencia de usuario óptima se utilizó el cuestionario *The Flow State Scale or FSS* (Jackson and Marsh, 1996), el cual mide de forma cuantitativa el nivel de flujo alcanzado por un participante en general; sin embargo, esta escala ha sido adaptada a otros contextos como el trabajo, enseñanza y ambientes computacionales (Hamari and Koivisto, 2014). En este trabajo se emplea la versión en español del FSS creada por Calvo et al. (2008), la cual equivale a su versión en Inglés. El FSS consiste de 36 preguntas de tipo Likert que van del 1 (en total desacuerdo) al 10 (en total acuerdo). El cuestionario provee un puntaje para medir el flujo global y 9 puntajes para medir cada una de las 9 dimensiones de flujo (cada 4 preguntas se refiere a una dimensión). La Tabla 3.6 muestra el mapeo entre las preguntas del FSS y las dimensiones del estado de flujo.

En la lista siguiente se muestran los tipos de pregunta presentes en el FSS de acuerdo a la tabla 3.6.

- Tipo 1. Sabía que mi capacidad me permitiría hacer frente al desafío que se me planteaba.
- Tipo 2. Hice los gestos correctos sin pensar, de forma automática.
- Tipo 3. Conocía claramente lo que quería hacer.

Tipo	Dimensión	Pregunta
1	Balance entre retos y habilidades	1, 10, 19, 28
2	Fusión Acción-Atención	2, 11, 20, 29
3	Objetivos Claros	3, 12, 21, 30
4	Retroalimentación exitosa	4, 13, 22, 31
5	Concentración en la tarea	5, 14, 23, 32
6	Sensación de control	6, 15, 24, 33
7	Pérdida de autoconciencia	7, 16, 25, 34
8	Transformación del tiempo	8, 17, 26, 35
9	Experiencia autotélica	9, 18, 27, 36

Tabla 3.6: Mapeo entre las dimensiones del flujo y las preguntas del FSS

- Tipo 4. Tenía realmente claro que lo estaba haciendo bien.
- Tipo 5. Mi atención estaba completamente centrada en lo que estaba haciendo.
- Tipo 6. Sentía un control total de lo que estaba haciendo.
- Tipo 7. No me importaba lo que otros podían haber estado pensando de mí.
- Tipo 8. El tiempo parecía diferente a otras veces (ni lento, ni rápido).
- Tipo 9. Realmente me divertía en lo que estaba haciendo.

La tabla 3.7 muestra una interpretación del significado del puntaje global del estado de flujo.

PUNTAJE	RESULTADO
0 - 4	La persona no se encuentra en estado de flujo ni será posible que entre en un estado de flujo
5 - 7	La persona puede encontrarse en un estado de flujo o existe una posibilidad media de que entre en un estado de flujo
8 - 10	La persona se encuentra en un estado de flujo o existe una posibilidad alta de que entre en un estado de flujo

Tabla 3.7: Interpretación del score global del flujo

Todas las preguntas pueden consultarse en (Jackson and Marsh, 1996; Calvo et al., 2008).

En la sección siguiente se muestra el análisis de contraste para conocer si existió un cambio significativo en el estado de ánimo.

3.4.1. Evaluación del estado de ánimo

La evaluación muestra los cambios significativos en el estado de ánimo después de jugar cualquier versión; las características a evaluar son: 1) estado de alerta; 2) estado de atención; 3) nivel energético; 4) nivel de emoción; 5) nivel de felicidad y 6) nivel de sociabilidad.

El diseño del experimento se realizó de la siguiente manera:

1. El participante respondía un cuestionario con información personal (Nombre, edad, sexo, grado de estudios, carrera y horas de experiencia al día jugando Kinect).
2. Se asignaba a cada usuario un grupo de forma aleatoria (RB-RNB o RNB-RB).
3. El participante respondía el cuestionario para conocer su estado de ánimo de manera previa.
4. El participante jugaba el videojuego correspondiente a la versión del grupo asignado.
5. El participante respondía nuevamente el cuestionario del estado de ánimo.

Por cada característica se planteó la hipótesis siguiente:

H0: *La característica no tuvo un cambio significativo en su media después de jugar cualquier versión*

H1: *La característica tuvo un cambio significativo en su media después de jugar cualquier versión*

En la evaluación se utilizó la prueba de rangos con signo de Wilcoxon la cual contrasta las medias de dos muestras relacionadas provenientes de la misma población y es no paramétrica con una distribución no normal (Wilcoxon, 1945). Esta provee dos alternativas para este efecto: aproximación por la normal (Z) o por la significación asintótica (p). Para el análisis se utilizó el software GNU PSPP (Project, 2015).

Las reglas para Z son:

Si $Z \leq Z_\alpha$ se acepta H1, con $Z_\alpha = -1.96$ en caso contrario H0.

Las reglas para p son:

Si $p \leq 0,05$ se acepta H_1 en caso contrario H_0 .

Los resultados de la prueba de Wilcoxon se resumen en la Tabla 3.8.

	Alerta	Atención	Energético	Emocionado	Feliz	Sociable
Z	-2.989	-2.157	-2.138	-2.486	-1.890	-2.111
p	0.003	0.031	0.033	0.013	0.059	0.035

Tabla 3.8: Resultados de la prueba de Wilcoxon

En la Tabla 3.8 se observa que las características de Alerta, Atención, Energético, Emocionado y Sociable tuvieron un aumento significativo en contraste con la felicidad que no tuvo.

3.4.2. Evaluación de la experiencia de usuario óptima o flujo

La evaluación muestra si existe una diferencia significativa entre las medias del score total del flujo.

El diseño del experimento se realizó de la siguiente manera:

1. El participante respondía un cuestionario con información personal (Nombre, edad, sexo, grado de estudios, carrera y horas de experiencia al día jugando Kinect).
2. Se asignaba a cada usuario un grupo de forma intercalada (RB-RNB o RNB-RB).
3. El participante jugaba el videojuego correspondiente a la versión del grupo asignado.
4. El participante respondía el cuestionario del estado de flujo.
5. El participante jugaba el segundo videojuego.
6. El participante respondía nuevamente el cuestionario del estado de flujo.

Las hipótesis para esta evaluación fueron la siguientes:

H0: *No existe una diferencia significativa entre las medias del puntaje del flujo antes del reto y las medias después de someterse al reto*

H1: *Existe una diferencia significativa entre las medias del puntaje del flujo antes del reto y las medias después de someterse al reto*

Para comprobar la normalidad de los retos se realizó la prueba de Shapiro Wilk (para muestras menores a 30 sujetos). Una vez que se comprobó que los datos siguen una distribución normal se realizó una prueba t-student para muestras dependientes con un nivel de significación $\alpha = 0.05$ utilizando el software GNU PSPP. (Project, 2015).

La prueba t-student arroja dos tablas, en la tabla 3.10 se muestran los resultados al agrupar a los participantes en los que primero jugaron el RB y después el RNB, mientras que en la tabla 3.11 se muestran los resultados al agrupar a los participantes en los que primero jugaron el RNB y después el RB.

Tabla 3.9: Tabla con el resultado de las medias de flujo global para el total de los usuarios

Reto	N	\bar{x}	σ	error \bar{x}
RNB	16	7.78	0.91	0.22
RB	16	7.94	0.88	0.19

Tabla 3.10: Tabla con el resultado de la prueba t de student para el grupo RB-RBN

	Diferencias Relacionadas				t	gl	Sig. Bilateral	
	Media	Desviación Típica	Error. Tip de la media	95 % Intervalo de Confianza para la diferencia				
				Inferior				Superior
RB-RNB	.24750	.27059	.09567	0.2128	0.47372	2.587	7	0.036

Los resultados de la tabla 3.9 muestran que RNB tiene una media de $\bar{x} = 7,78$ con una desviación estándar de $\sigma = 0,91$ y RB tiene una media de $\bar{x} = 7,94$ con una desviación estándar de $\sigma = 0,88$. En la tabla 3.10 se muestran los resultados de la prueba t student para muestras dependientes, en particular como el valor de significación bilateral o p-valor es de 0.036 se rechaza la hipótesis nula y se acepta H1. Esto indica que existe una significación estadística para afirmar que la media en el puntaje global de

Tabla 3.11: Tabla con el resultado de la prueba t de student para el grupo RNB-RB

	Diferencias Relacionadas					t	gl	Sig. Bilateral
	Media	Desviación Típica	Error. Tip de la media	95% Intervalo de Confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
RB-RNB	-0.07000	.36174	.12790	-0.372242	0.23242	-.547	7	0.601

flujo de RB es mayor a la media del grupo RNB cuando los usuarios primero jugaron el RB y luego el RNB, en el caso de la tabla 3.11 el valor de significación bilateral es de 0.601 por lo que se acepta la hipótesis nula. Esto indica que no existe una significación estadística para afirmar que la media en el puntaje global de flujo de RB es mayor a la media del grupo RNB cuando los usuarios jugaron primero el juego RNB y luego el RNB.

En la tabla 3.12 se muestra el resultado obtenido y el esperado al comparar el total del flujo y el orden en que jugaron los participantes. En el caso de esta evaluación se esperaba que la diferencia entre el total del flujo cuando el orden de juego era RB-RNB debía bajar mientras que cuando el orden de juego era RNB-RB debía subir. La tabla 3.12 muestra que los usuarios calificaron mejor la segunda versión en 9 de los 16 casos lo que quiere decir que tienden a preferir la segunda versión sin importar el reto.

3.5. Recapitulación

En este capítulo se mostró el funcionamiento, arquitectura e implementación de retos en SIBMER, así como los resultados obtenidos al evaluar la experiencia de usuario y estado de ánimo.

Los resultados de la evaluación del estado de ánimo mostraron un cambio significativo en el nivel energético, de atención, emoción, sociabilidad y estado de alerta en los participantes sin importar el reto que jugaron primero; sin embargo, se obtienen resultados menos satisfactorios con el reto no-balanceado.

De igual forma, los resultados de la evaluación del estado de flujo mostraron que los participantes del grupo RB tuvieron un mejor estado de flujo que los del grupo RNB pero solamente fue significativo cuando los participantes jugaron primero el reto balanceado y luego el reto no-balanceado. Debido a esto se realizó una comparativa entre los retos la cual mostró que los participantes calificaron mejor la segunda versión en 9 de los 16

ORDEN	FLUJO 1	FLUJO 2	OBTENIDO	ESPERADO
RB - RNB	8.32	7.6	BAJA	BAJA
RB - RNB	7.81	7.64	BAJA	BAJA
RB - RNB	7.60	7.43	BAJA	BAJA
RB - RNB	7.62	7.32	BAJA	BAJA
RB - RNB	8.56	8.6	SUBE	BAJA
RB - RNB	7.92	8.04	SUBE	BAJA
RB - RNB	8.0	7.7	BAJA	BAJA
RB - RNB	7.94	7.46	BAJA	BAJA
RNB - RB	6.92	7.56	SUBE	SUBE
RNB - RB	8,47	8.1	BAJA	SUBE
RNB - RB	8.40	7.9	SUBE	SUBE
RNB - RB	7.8	7.86	SUBE	SUBE
RNB - RB	7.68	7.97	SUBE	SUBE
RNB - RB	7.74	7.84	SUBE	SUBE
RNB - RB	8.21	8.34	SUBE	SUBE
RNB - RB	7.6	7.81	SUBE	SUBE

Tabla 3.12: Comparación de los retos según el orden en que se jugó

casos lo que quiere decir que tienden a preferir la segunda versión sin importar el reto. Esto indica que pudo existir un sesgo debido a que los participantes se sintieron más cómodos después de jugar el primer juego y calificaron al segundo de mejor forma. Estas preguntas se aclararán a detalle cuando se analice en el siguiente capítulo el sistema Macoli, en donde para evitar los sesgos del orden de juego y detección de manos se cambió de paradigma de interacción y se realizó una fase previa o tutorial junto a una evaluación con muestras independientes.

En el capítulo siguiente se presenta el diseño, construcción y evaluación del sistema Macoli.

Capítulo 4

MACOLI

Macoli¹ es un sistema interacción basada en movimiento desarrollado en conjunto con la Facultad de Ingeniería y el Laboratorio de Análisis de Movimiento Humano del Instituto Nacional de Rehabilitación.² El diseño se inspira en una escalera de pared tipo sueca utilizada en el área de terapia física y ocupacional del INR (Figura 4.1).

Macoli se desarrolló con dos propósitos principales: 1) evaluar que tipo de retos promueven un mejor estado de flujo y rendimiento y 2) rehabilitar pacientes con hombro congelado. Sin embargo, debido a la falta de acceso a pacientes con dichos padecimientos sólo se evaluaron los aspectos de interacción en usuarios sanos.

En este capítulo se presenta el funcionamiento, arquitectura e implementación de retos en Macoli, así como los resultados obtenidos al evaluar la experiencia de usuario, rendimiento y validar la carga cognitiva y motora.

4.1. Operación del Sistema

En Macoli los usuarios coloca una barra sobre los escalones del dispositivo tecnológico tipo escalera sueca. Una vez que la barra se coloca el dispositivo envía una señal vía bluetooth al videojuego; éste despliega un pentagrama musical en el que cada línea corresponde a un escalón. La cantidad de líneas en el pentagrama se define con base al nivel de movilidad del usuario. En cada línea se muestra una nota musical que aparece en cada intervalo de tiempo.

¹Brazo en Lengua Náhuatl

²INR por sus siglas



Figura 4.1: Diversas vistas de la escalera de pared tipo sueca del INR

El objetivo del videojuego es sincronizar el momento en el que se posiciona el bastón sobre un escalón con el que la nota correspondiente llega a un pulsador de referencia que se indica sobre el mismo pentagrama (ver Figura 4.2). La unión del dispositivo con el videojuego serio crea un componente lúdico y motivacional.

Cada usuario realiza una etapa de calibración en la cual se establece dos parámetros: 1) el escalón mas alto que el usuario puede alcanzar (uno de siete) y 2) la altura del primer escalón que se colocado de acuerdo a la altura del usuario. Estos parámetros se utilizan por el videojuego para crear las líneas del pentagrama; por ejemplo, si el usuario puede colocar la barra en el primer y segundo escalón, el sistema genera y muestra dos líneas en el pentagrama. Conforme el juego avanza el sistema pone nuevos retos para mantener el interés; por ejemplo, aumentar la velocidad con la que las notas musicales

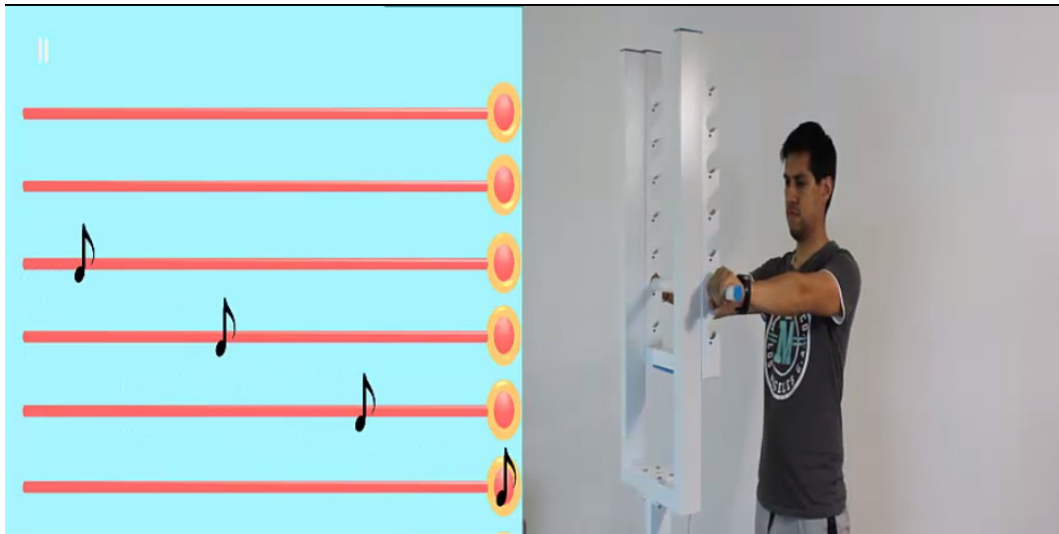


Figura 4.2: Parte izquierda: Pantalla del videojuego. Parte derecha: Usuario utilizando el dispositivo tecnológico tipo escalera sueca.

aparecen en el pentagrama y agregar notas de mayor duración que requieren que el usuario deje mas tiempo el bastón sobre el escalón. Cada sesión de juego consiste de una fase de calibración, una sesión de entrenamiento (a través de un tutorial) y la sesión propiamente en la cual el usuario juega el videojuego.

4.2. Arquitectura

Macoli consiste de tres componentes principales: a) un videojuego; b) software administrativo; y c) un dispositivo tecnológico tipo escalera sueca. El usuario al accionar un sensor de presión, esta señal se traduce en una variable que indica el escalón que se presionó la cual se envía vía bluetooth al videojuego. El videojuego a su vez traduce esta señal para accionar los botones que se encuentran en cada linea del pentagrama musical (Figura 4.3). En el apéndice D se detalla la arquitectura, diseño e implementación de Macoli.

En la sección siguiente se describe a detalle el videojuego y los retos implementados en Macoli.

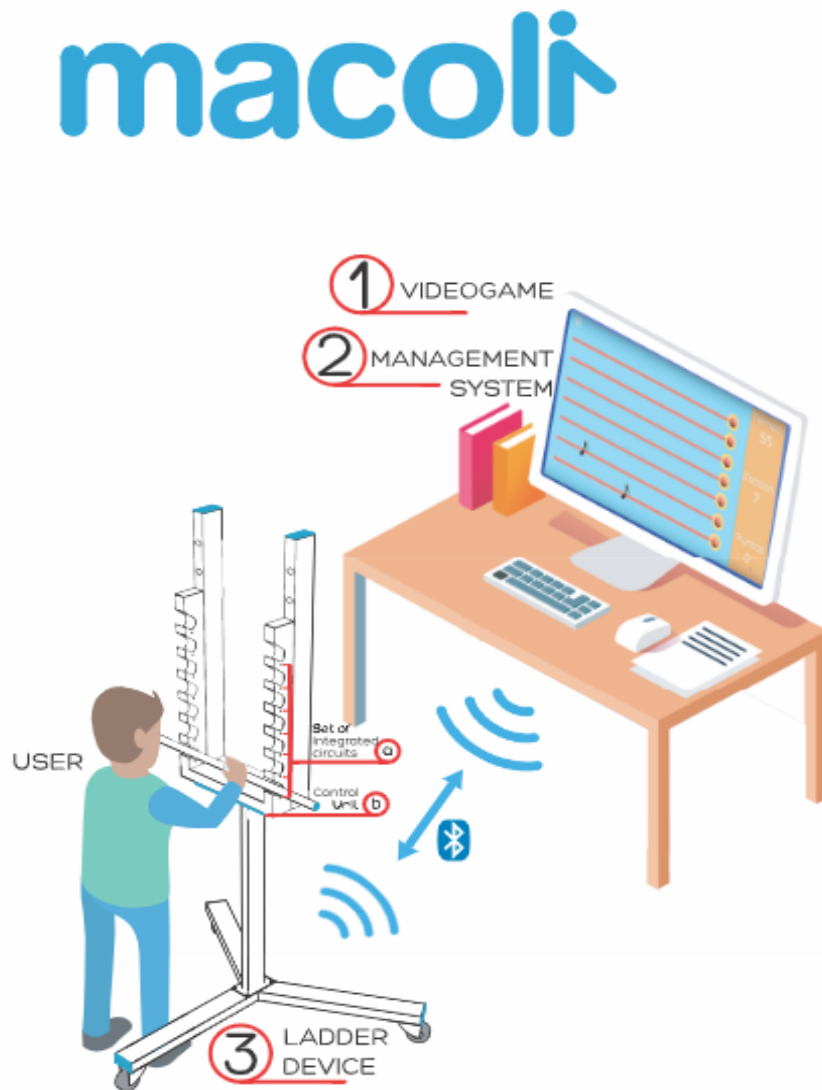


Figura 4.3: Arquitectura de Macoli.

1) Videojuego, 2) Sistema Administrativo, 3) Dispositivo tipo escalera 3.a) Circuitos integrados con sensores de presión en cada escalón y 3.b) Unidad de control con envío de señales via Bluetooth.

4.3. Videojuego y retos

El videojuego tiene una versión que implementa un reto balanceado y uno no-balanceado. En ambas el objetivo es realizar el mismo número de ejercicios de flexión al colocar la barra sobre el dispositivo.

Para validar que los retos correspondan al tipo esperado (balanceado o no-balanceado) se realizó un experimento como se detalla a continuación.

Se seleccionaron 24 sujetos, 12 mujeres y 12 hombres con edades comprendidas entre los 18 a 28 años, con nivel mínimo de preparatoria y todos clínicamente sanos. Los usuarios no tenían conocimiento del propósito del experimento de antemano ni tampoco del tipo de escenario. La variable independiente es el tipo de reto, mientras que las variables dependientes son el nivel global de carga mental del cuestionario NASA-TLX y el total de carga mental y física del cuestionario diseñado para esta investigación (ambos cuestionarios se pueden consultar en el apéndice C).

Los participantes jugaron las dos versiones del videojuego (V1 y V2) en Macoli de forma aleatoria. En la versión V1 las notas musicales recorren toda la línea del pentagrama de izquierda a derecha con una velocidad constante,³ mientras que en la versión V2 las notas aparecen inmediatamente encima de los pulsadores y se eliminaron las ayudas auditivas.⁴

En la versión V1 las habilidades y demandas consideradas se muestran en la tabla 4.1. Los valores en las demandas corresponden a la media de los resultados asignados por 24 usuarios.

³Video disponible en <https://youtu.be/mQ-T2pfitWk>

⁴Video disponible en <https://youtu.be/tQ-S2wfitlk>

Modalidad	Habilidad	Demanda Física	Demanda Mental
		0 1 2 3 4 5 Ninguna - Regular - Mucha	0 1 2 3 4 5 Ninguna - Regular - Mucha
Visual	Reconocer estructuras, posiciones y modelos.	2.5	2.7
	Percibir colores.	1.05	2
	Percibir tamaño y forma.	1.05	1.9
	Reconocer la posición de objetos.	1.45	2.1
	Estimar distancias.	2.8	3.1
	Estimar cantidades o peso.	1	1.7
	Estimar la velocidad de objetos en movimiento.	2.1	2.5
Auditiva	Memorizar objetos.	2.1	2.5
	Reconocer patrones o secuencias de sonido.	1.2	4.7
Motora	Reconocer la incidencia de tonos o sonidos.	1.9	2.65
	Reconocer la suavidad o dureza de superficies.	1.8	3.3
	Reconocer la temperatura de las superficies.	0.9	1.6
	Detectar la presión ejercida por un objeto.	1.4	1.3
	Sostener un objeto.	1.75	1.85
	Realizar movimientos intensos con las manos	2.75	1.85
	Realizar movimientos ligeros con las manos	2.5	1.6
	Realizar movimientos intensos con las pies	2.75	1.85
Olfativa	Realizar movimientos ligeros con las pies	2	1.7
	Reconocer olores.	0.75	.55
Propioceptiva	Reconocer sensaciones o estímulos internos.	1.1	0.8
	Percibir movimientos de nuestro propio cuerpo.	1.25	2
	Sentido del equilibrio.	1.6	1.65
	TOTAL	35.8	43.95

Tabla 4.1: Habilidades y demanda mental y física para la versión V1 en Macoli

La versión V1 se considera balanceada ya que la demanda mental es similar a la demanda física, es decir:

$$|\sum_{i=1}^n DemandaMental_i - \sum_{i=1}^n DemandaFisica_i| \leq umbral$$

$$43,95 - 35,8 < 11$$

Esto se atribuye a que el usuario hace uso de sus habilidades táctiles al mover el bastón de un lugar a otro pero también de habilidades visuales y auditivas al momento de estimar la velocidad de las notas y reconocer el patrón de sonido en la melodía respectivamente en proporciones similares.

En la versión V2 las habilidades y demandas consideradas se muestran en la tabla 4.2. Los valores en las demandas corresponden a la media de los resultados asignados por 24 usuarios.

Modalidad	Habilidad	Demanda Física	Demanda Mental
		0 1 2 3 4 5 Ninguna - Regular - Mucha	0 1 2 3 4 5 Ninguna - Regular - Mucha
Visual	Reconocer estructuras, posiciones y modelos.	2.1	3
	Percibir colores.	0.9	2.4
	Percibir tamaño y forma.	0.8	2.05
	Reconocer la posición de objetos.	0.8	2.6
	Estimar distancias.	2.4	3.5
	Estimar cantidades o peso.	1.55	1.85
	Estimar la velocidad de objetos en movimiento.	2.15	2.8
Auditiva	Memorizar objetos.	0.4	4.4
	Reconocer patrones o secuencias de sonido.	.1	.3
Motora	Reconocer la incidencia de tonos o sonidos.	.1	.3
	Reconocer la suavidad o dureza de superficies.	1.15	2.6
	Reconocer la temperatura de las superficies.	1.4	1.3
	Detectar la presión ejercida por un objeto.	2	1.85
	Sostener un objeto.	2.5	1.5
	Realizar movimientos intensos con las manos	2.6	1.9
	Realizar movimientos ligeros con las manos	2.8	2.1
	Realizar movimientos intensos con las pies	2.1	1.8
Olfativa	Realizar movimientos ligeros con las pies	1	1.2
	Reconocer olores.	0.5	.55
Propioceptiva	Reconocer sensaciones o estímulos internos.	1.1	0.8
	Percibir movimientos de nuestro propio cuerpo.	1.25	2
	Sentido del equilibrio.	1.6	1.65
	TOTAL	31.3	42.45

Tabla 4.2: Habilidades y demanda mental y física para la versión V1 en Macoli

La versión V2 se considera no balanceada ya que el total de la demanda mental menos el total de la demanda física supera el umbral de similitud, es decir:

$$\left| \sum_{i=1}^n DemandaMental_i - \sum_{i=1}^n DemandaFisica_i \right| \leq umbral$$

$$42,45 - 31,3 > 11$$

Por su parte la versión V2 no impone ninguna restricción y consecuentemente no requiere que el usuario coordine el momento exacto en el que se coloca el bastón con la nota musical que aparece encima del pulsador. En esta versión se eliminaron actividades mentales (reconocer patrones de sonido, estimar velocidades, etc.) que afectan el balance entre el resto de las actividades mentales y físicas.

Por otra parte los resultados obtenidos al evaluar el NASA-TLX se muestran en la tabla 4.3.

PUNTAJE GLOBAL NASA TLX V1	PUNTAJE GLOBAL NASA TLX V2
49.7	48.89

Tabla 4.3: Resultados con el valor global de la prueba NASA TLX para ambas versiones

Una vez que se validó el carácter de los retos se evaluó la experiencia de flujo y el rendimiento del sistema como se muestra en la siguiente sección.

4.4. Evaluación

Se realizó un experimento para evaluar en qué medida los escenarios con retos no balanceados y balanceados impactan en la experiencia y desempeño del usuario. Para este efecto se dividieron dos grupos: 1) Grupo con Reto Balanceado (RB) y 2) Grupo con Reto No Balanceado (RNB). Ambos grupos se compararon en términos de su potencial para promover flujo y mejorar su desempeño.

Las hipótesis son las siguientes:

H0: *El flujo de RNB es mayor que el flujo de RB, i.e. $\text{flujo}(RNB) > \text{flujo}(RB)$*

H1: *El flujo de RB es mayor que el flujo de RNB, i.e. $\text{flujo}(RB) > \text{flujo}(RNB)$*

La medida del flujo se obtuvo del *Flow State Scale* ó *FSS* (Jackson and Marsh, 1996), que se explicó a detalle en la sección 3.4.

Por su parte el desempeño de los participantes se registró mediante un puntaje p . En el escenario RB, p es el número de veces que el usuario posiciona de forma correcta el bastón en el dispositivo cuando la nota pasa por encima del pulsador. En el escenario RNB, p es el número de veces que el usuario posiciona de forma correcta el bastón cuando aparece la nota encima del pulsador. En ambos escenarios el puntaje máximo es 53.

Las hipótesis para el desempeño son las siguientes:

H0: *El rendimiento(RB) no se correlaciona con el flujo(RB)*

H1: *El rendimiento(RB) se correlaciona con el flujo(RB)*

Se seleccionó una muestra de 38 sujetos, 19 Hombres y 19 mujeres con edades comprendidas entre los 19 a 64 años, con nivel de bachillerato y licenciatura, todos clínicamente sanos. Los usuarios no tienen conocimiento de antemano del propósito del experimento ni tampoco del tipo de escenario. La variable independiente es el grupo propiamente y las variables dependientes son las respuestas del FSS y el puntaje de desempeño.

Todos los usuarios realizaron el estudio de la siguiente manera:

1. Se proporcionó un cuestionario de datos personales y un texto explicativo con el funcionamiento de Macoli. Tiempo estimado de un minuto.
2. Se escogió uno de los dos escenarios aleatoriamente (RB ó RNB).
3. El usuario realizó el tutorial correspondiente al grupo. Tiempo estimado 2 minutos.
4. Se configuran los parámetros: dificultad, número de escalón, tiempo de duración de la sesión y melodía.⁵ Para homologar el experimento todos los usuarios realizaron la sesión con la dificultad inicial, siete escalones, duración de un minuto y melodía *jingle bells*.
5. Se realizó la sesión experimental propiamente. Tiempo estimado de 10 minutos.
6. Al finalizar la sesión se aplicó el FSS. Tiempo estimado 10 minutos.

4.5. Experimento y Resultados

Para efectos del análisis estadístico tanto las dos hipótesis del estado de flujo como las dos hipótesis del desempeño se analizaron de manera independiente; para la prueba del estado de flujo se realizó una prueba de normalidad utilizando Shapiro-Wilk (para muestras menores a 50 usuarios) utilizando el software PSPP. En esta prueba se obtuvo un valor de .952 el cual al ser mayor a 0.05 se asume que los datos son normales.

⁵Video disponible en <https://youtu.be/SwyO2Q9m09o>

Una vez que se comprobó la normalidad en los datos se realizó una prueba t-student para muestras independientes con $\alpha = 0,05$. Los resultados con los valores de las medias se muestran en la tabla 4.4

Reto	N	\bar{x}	σ	error \bar{x}
RB	19	8.3955	0.78433	0.17994
RNB	19	7.7759	0.97911	0.22462

Tabla 4.4: Tablas con los resultados de la prueba t-student para retos balanceados vs no balanceados

Los resultados de la prueba t studen se muestran en la tabla 4.5

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de Medias						
	F	Sig.	t	df	Sign. (2 colas)	Diferencia Media	Err. Est. de la diferencia	Intervalo de Confianza	
								Inferior	Superior
Se asume igualdad de varianzas	1.486	0.231	2.15	36	0.038	0.62	0.29	0.4	1.2
Igualdad de varianzas no asumidas			2.15	34.36	0.038	0.62	0.29	0.4	1.2

Tabla 4.5: Tablas con los resultados de la prueba t-student para retos balanceados vs no balanceados

El resultado de la prueba t-student varía dependiendo de que el valor de la varianza sea igual o diferente; para este efecto se realiza primero la prueba de Levene para asumir la igualdad de varianzas. Este análisis da como resultado un valor significativo: sí el valor de significación de la prueba de Levene es mayor a 0.05 se asume que las varianzas son iguales. En la presente evaluación el valor es de 0.23 (texto en amarillo de la tabla 4.5) por lo que las varianzas son iguales; a continuación se analizó el valor de significancia bilateral o p-valor para aceptar o rechazar las hipótesis. En el presente experimento el valor fué de 0.038 (texto en verde de la tabla ??), por lo que se acepta la hipótesis H1 es decir la media del grupo RB es mayor a la media RNB.

Por su parte para evaluar el desempeño, las hipótesis **H2** se dividieron en dos partes: 1) desempeño(RB) correlaciona con flujo(RB) y 2) desempeño(RNB) no correlaciona con flujo(RNB). Para cada una de las partes se realizó una prueba de correlación de Pearson utilizando el software PSPP.

En esta prueba el valor r de correlación varía en el intervalo $[-1, 1]$, indicando el signo el sentido de la relación. Para **H1** se obtuvo una media en el puntaje de $\bar{x} = 45,1$ y una correlación de $r = 0,87$ y para **H2** se obtuvo una media en el puntaje de $\bar{x} = 44,2$ y una correlación de $r = 0,50$. Por lo que la hipótesis H1 presenta un relación alta mientras que la hipótesis H2 presenta una correlación no muy alta. Esto quiere decir que a medida que se tiene un mejor desempeño en grupo RB se obtiene un mejor puntaje en el estado de flujo sin embargo en el grupo RNB no existe una correlación entre el desempeño y el puntaje total del flujo.

En la sección siguiente se analizarán a detalle estos resultados.

4.5.1. Discusión y conclusiones

Los resultados comprueban que *la media del puntaje global del flujo(RB) es mayor a la media del puntaje global de flujo(RNB)*, por lo que sugiere que los sistemas como Macoli que implementen retos balanceados tienen el potencial de tener una mejora significativa en la experiencia de flujo sobre los que implementen retos no balanceados.

De acuerdo con la tabla de interpretación del puntaje global del flujo (tabla 3.7) la media en el puntaje global de 7.77 en el grupo RNB nos indica que los usuarios pudieron experimentar un estado de flujo o que de continuar con la actividad tendrán una posibilidad media de alcanzarlo mientras que los usuarios del grupo RB al obtener una media en el puntaje global de 8.39 indica que entraron en un estado de flujo o tendrán una posibilidad alta de entrar en este estado.

De igual manera el experimento muestra que *desempeño(RB) correlaciona con flujo(RB)*, lo cual apoya la hipótesis de que a mayor estado de flujo mejor score en desempeño; por su parte el *desempeño(RNB) no correlaciona con flujo(RNB)*, lo que quiere decir que no hay evidencia de que a mayor estado de flujo mejor score de desempeño en el escenario RNB o viceversa; esto puede deberse al desbalanceo ya que en algunos casos como la actividad es muy sencilla el desempeño es muy bueno pero se aburren fácilmente.

También se observa que aunque el reto balanceado tiene un puntaje mayor de demanda mental el puntaje total de flujo es mayor al del reto no balanceado a diferencia de lo encontrado en SIBMER donde el reto balanceado tiene un puntaje menor de demanda mental. Esto implica que que la complejidad de la tarea no es un factor determinante para entrar en

un estado de flujo sino el balanceado en la tarea.

4.6. Recapitulación

En este capítulo se mostró el funcionamiento, arquitectura e implementación de retos en Macoli, así como los resultados obtenidos al evaluar la experiencia de usuario y desempeño.

Los videojuegos implementados en Macoli fueron validados mediante un cuestionario para medir la carga cognitiva y física. Los resultados validaron las hipótesis de que las versiones son efectivamente no-balanceadas y balanceadas de acuerdo a los pesos considerados para la demanda mental y física.

Los resultados de la evaluación del estado flujo mostraron que los participantes del grupo RB tuvieron un mejor estado de flujo que los del grupo RNB, lo cual satisface la hipótesis de que los retos balanceados inducen un mejor estado de flujo.

De igual forma, los resultados de la evaluación del desempeño indican que el estado de flujo está relacionado con un mejor desempeño cuando se implementan retos balanceados en sistemas interactivos. Adicionalmente se mostró que si el reto es desbalanceado no existe una relación con el desempeño o la evidencia no es suficiente para afirmar esto.

En el capítulo siguiente se realiza una recapitulación de los resultados obtenidos en el contexto de esta investigación y se plantean el trabajo futuro en el contexto de sistemas interactivos, retos y flujo.

Capítulo 5

Conclusiones

5.0.1. Conclusión y aportaciones

En esta tesis se plantea que los sistemas interactivos/basados en movimiento que involucran retos balanceados promueven un mejor estado de flujo y mejoran el desempeño en la tarea. La investigación que se llevo a cabo nos permite aportar elementos para asegurar que la condición principal para inducir un estado de flujo es el balance entre los retos propuestos, el sistema y las habilidades del usuario.

Para comprobar esta hipótesis se realizó una revisión literaria de los modelos o *frameworks* de UX especializados en sistemas interactivos. Con base a esta revisión se planteó una clasificación tomando en cuenta tres criterios: 1) Enfocados al sistema de detección; 2) Enfocados a los procesos fenomenológicos de percepción; y 3) Enfocados a promover un estado emocional específico. Como resultado del análisis del estado de arte se concluyó que el modelo adecuado para esta investigación fue La Teoría de la Experiencia de Usuario Óptima o Flujo debido a su propósito general, enfocado a promover un estado emocional positivo, la abundancia de literatura y su aplicación a sistemas tradicionales e interactivos. En particular, se tomó el concepto de reto como factor principal para fomentar un estado de experiencia positiva en un sistema interactivo; sin embargo, fue necesario aclarar la noción de reto ya que en la literatura el término se ocupa de forma ambigua e informal.

En esta tesis se propuso definir un reto como una actividad que un agente debe superar haciendo uso de diversas habilidades motoras y mentales (ver 2.4) ya que, en la literatura tradicional de flujo, los retos consideran únicamente habilidades mentales debido a que su estudio se aplica a sistemas

de escritorio donde la movilidad no es un factor a considerar; es decir, los retos son simples. En cambio en sistemas interactivos el panorama cambia ya que es necesario considerar las habilidades motoras y mentales; es decir, los retos son compuestos.

Una vez considerados los retos en sistemas interactivos como compuestos, se propuso el concepto de reto balanceado y no balanceado. Un reto balanceado es el reto compuesto en donde las habilidades requieren de una demanda mental y motora en proporciones similares; en caso contrario es no balanceado (ver sección 2.4).

Un problema asociado a la definición anterior es poder cuantificar el nivel de demanda motora y mental requerida para superar un reto. En la literatura se utilizan normalmente dos metodologías para cuantificar esta demanda, la primera es a través de evaluaciones fisiológicas que utilizan técnicas para medir la actividad cardiaca, ocular, muscular y cortical, o a través de las evaluaciones psicológicas utilizando cuestionarios, encuestas, escalas y perfiles. El problema asociado a estas metodologías (fisiológicas o subjetivas) es su generalidad; por ejemplo, las evaluaciones fisiológicas proveen únicamente un puntaje global para la demanda motora mientras que las evaluaciones psicológicas para la mental.

En este trabajo de tesis se propuso una metodología para medir ambas demandas (ver apéndice C). Ésta consiste en la aplicación de una evaluación psicológica a través de un cuestionario de tipo Likert con dos escalas, una para la demanda mental y otra para la motora. Cada elemento del cuestionario corresponde a una habilidad relevante para superar el reto (ver tabla 2.3). Adicionalmente se aplica el cuestionario NASA TLX y se obtienen tres puntajes: el primero corresponde al puntaje global de la demanda motora; el segundo al puntaje global de la mental (ambos del cuestionario personalizado); y el puntaje global de carga mental del cuestionario NASA TLX el cual es utilizado para verificar los resultados que se obtienen con el cuestionario personalizado.

Previamente sólo existían criterios subjetivos para medir la demanda mental y motora, pero debido a la metodología aportada por este trabajo de investigación es ahora posible medir la demanda de forma cuantitativa y, por lo tanto, precisar la definición de reto balanceado y no balanceado. Un reto por lo tanto será balanceado cuando el valor absoluto de la resta entre las demandas mentales y la suma de las demandas motoras sea menor igual a un umbral de similitud (ver 2.4).

Para verificar la hipótesis central de esta tesis se crearon dos sistemas: SIBMER y MACOLI. En ambos se implementó un videojuego con dos versiones: una balanceada y la otra no balanceada. El objetivo de SIBMER en ambas versiones el objetivo es controlar una nave que cruza portales al tiempo que esquiva asteroides y toma esferas de tiempo en un ambiente virtual (ver sección 3.3). En la versión balanceada, la nave solamente tiene que cruzar el mayor número de portales evitando colisionar con los asteroides, mientras que en la no balanceada la nave tiene que cruzar los portales siguiendo un orden de colores específico, además de evitar colisionar con los asteroides.

Para validar que los retos fueran del tipo correcto se realizó un experimento donde se aplicó la metodología propuesta (ver sección 3.3). El experimento mostró que los retos fueron clasificados de forma correcta y adicionalmente se observó que en la versión balanceada la carga mental es baja mientras que en la no balanceada la carga mental fue media/alta. Este resultado sugiere que entre mas baja sea la complejidad/carga mental se obtendría un mejor estado de flujo, sin embargo como se analizará mas adelante, éste no fue el caso.

Estos resultados se deben a que en la versión balanceada las actividades motoras (al realizar movimientos intensos para manejar la nave con la mano) y las mentales (al reconocer la posición de objetos, estimar distancias, estimar la velocidad de los objetos en movimiento) se dan en una proporción similar, mientras que en la versión no balanceada las actividades mentales (memorizar objetos y percibir colores) afectan el balance entre el resto de las actividades y son percibidas como excesivas, superando las habilidades de los participantes.

De igual forma se realizó un experimento para validar si existen cambios en los niveles de los factores relacionados con estados positivos o flujo. En particular se observó que existen cambios significativos en el nivel energético, de atención, emoción, sociabilidad y estado de alerta (ver tabla 3.8), lo cual indicó que los sistemas interactivos como SIBMER tienen el potencial para propiciar flujo.

El último experimento realizado en SIBMER abordó directamente la hipótesis del trabajo de tesis, es decir, en qué medida los retos influyen en el nivel o aparición del estado de flujo. En este experimento los usuarios jugaron las dos versiones del videojuego de forma alternada y al terminar cada juego se aplicó el cuestionario FSS para obtener el puntaje total del estado de flujo. Los resultados de la evaluación mostraron que los usuarios que jugaron

el videojuego con el reto balanceado lograron un mejor estado de flujo que los que jugaron el videojuego con el reto no balanceado (ver tabla 3.9), sin embargo el resultado sólo fue significativo cuando los participantes jugaron primero el reto balanceado y luego el reto no balanceado. Para comprender porque sucedió esto se realizó una comparativa entre ambas versiones la cual mostró que los participantes calificaron mejor la segunda versión en 9 de los 16 casos, lo que quiere decir que tienden a preferir la segunda versión sin importar el reto (ver tabla 3.12). Esto indica que pudo existir un sesgo debido a que los participantes se sintieron mas cómodos después de jugar el primer juego y calificaron al segundo de mejor forma.

Debido a las dificultades y preguntas no resultas que surgieron en SIBMER se creó el sistema MACOLI. En éste se implementaron también dos versiones, una balanceada y otra no balanceada. En ambas el objetivo es sincronizar el momento en el que se posiciona un bastón sobre un escalón del dispositivo con el que una nota musical llega a un pulsador de referencia que se indica sobre un pentagrama. En la versión balanceada las notas musicales recorren toda la línea del pentagrama de izquierda a derecha con una velocidad constante al tiempo que se escucha la melodía correspondiente,¹ mientras que en la versión no balanceada las notas aparecen inmediatamente encima de los pulsadores y se eliminan las ayudas auditivas.²

Para validar que el reto corresponda al esperado, se realizó el mismo procedimiento que en SIBMER para comprobar la carga física y mental utilizando el cuestionario personalizado y el NASA TLX. Los resultados del experimento fueron consistentes con los resultados obtenidos en SIBMER. En la versión balanceada se obtuvo un puntaje de 35.8 para la demanda motriz y de 43.95 para la demanda mental, por su parte en la no balanceada el puntaje fue de 31.3 para la demanda motriz y de 42.45; estos valores estan fuera de rango y por lo tanto se confirmó que el reto fue no balanceado. Adicionalmente los valores obtenidos del puntaje de la demanda mental y del nasa TLX muestran que a diferencia de SIBMER en la versión balanceada la carga mental se considera media/alta mientras que en la no balanceada la carga mental se considera baja, estos resultados sugieren que la complejidad es independiente de la obtención de un mejor estado de flujo siempre y cuando el reto sea balanceado.

Estos resultados se deben a que en la versión balanceada las habilidades

¹Video disponible en <https://youtu.be/mQ-T2pfitWk>

²Video disponible en <https://youtu.be/tQ-S2wfitlk>

motrices (al mover el bastón a través de los escalones) se consideraron similares a las habilidades visuales y auditivas (al momento de estimar la velocidad de las notas y reconocer el patrón de sonido en la melodía respectivamente). Mientras que en la versión no balanceada no se impuso ninguna restricción y consecuentemente no requirió que el usuario coordinara el momento exacto en el que se coloca el bastón con la nota musical que aparece encima del pulsador, además de que se eliminaron actividades mentales que afectaron el balance (reconocer patrones de sonido, estimar velocidades, etc.).

En Macoli se diseñó un segundo experimento donde se planteó la pregunta de si el flujo está correlacionado con el desempeño y si los retos balanceados promueven un mejor estado de flujo; además para evitar los problemas observados en SIBMER, se utilizó una muestra poblacional mayor, los grupos fueron independientes y se incluyó una fase de entrenamiento con un ejemplo de las dinámicas de los videojuegos.

Al interpretar el puntaje global del flujo (tabla 3.7), la media en el puntaje global de 7.77 en el grupo que jugaron los retos no balanceados (RNB) indica que los usuarios pudieron experimentar un estado de flujo o que de continuar con la actividad tendrían una posibilidad media de alcanzarlo, mientras que los usuarios del grupo que jugaron los retos balanceados (RB) con una media en el puntaje global de 8.39, indica que entraron en un estado de flujo o tendrán una posibilidad alta de entrar en este estado. Adicionalmente los resultados de la evaluación de la prueba *t* student (tabla 4.5) mostraron una diferencia significativa en la que la media del puntaje global del flujo en el grupo RB es mayor a la media del puntaje global de flujo del grupo RNB, lo que sugiere que los sistemas como Macoli que implementen retos balanceados tienen el potencial de tener una mejora significativa en la experiencia de flujo sobre los que implementen retos no balanceados.

Por su parte en la evaluación de desempeño se evaluó la hipótesis de que a mayor puntaje global de flujo mejor rendimiento, para el grupo RB se obtuvo una correlación de $r = 0,87$ mientras que para el RNB se obtuvo una correlación de $r = 0,50$. Estos resultados indican una correlación entre un mejor desempeño cuando tenemos un puntaje mayor de flujo en el grupo RB; sin embargo en el grupo RNB no existió una correlación entre el desempeño y el puntaje total del flujo.

De estos resultados podemos concluir que:

- Los retos balanceados promueven un mejor estado de flujo que los retos no balanceados.
- Los retos balanceados están correlacionados con el desempeño: a mayor puntaje en el estado de flujo mejor desempeño y a menor puntaje peor desempeño. En el caso de los retos no balanceados no existe una correlación entre el puntaje del flujo y el desempeño.
- La demanda mental/complejidad no es un factor para la obtención de un mejor estado de flujo si el reto es balanceado.

Finalmente, los sistemas de interacción que implementen retos, como es el caso de SIBMER y MACOLI propiciarán que los usuarios experimenten o puedan experimentar un estado de flujo de continuar la actividad. Además, debido al contraste entre la complejidad entre los retos balanceados en SIBMER y MACOLI, se observó que la complejidad no está relacionada con el nivel de flujo. Esto quiere decir que es posible construir sistemas con distintos grados de complejidad que promuevan un nivel similar de flujo siempre y cuando el reto sea balanceado.

5.0.2. Trabajo a futuro

El problema de crear un sistema interactivo que promueva una experiencia de usuario gratificante y que sea aplicable a todos los casos y personas es muy complejo y subjetivo, y aunque en este trabajo de investigación se lograron buenos resultados en algunos escenarios y actividades particulares, todavía hay un largo camino que recorrer para lograr un buen desempeño en escenarios y tareas con mayor nivel de dificultad. Este trabajo se puede continuar y profundizar mejorando los aspectos subjetivos de la experiencia de usuario, el diseño e implementación de los retos y la validación de los retos a través de otras medidas cuantitativas. De igual forma se debe ampliar y mejorar los estudios estadísticos.

A corto plazo se puede abordar el diseño e implementación de los retos al incluir aspectos familiares en la interacción y aspectos técnicos; en particular, el uso de sensores ultrasónicos, de presión, de proximidad, de lasers o nuevos sistemas de visión basados en aprendizaje profundo.

Por otra parte, es importante mejorar la validación de los retos; en este trabajo se propuso un cuestionario basado en dos medidas para evaluar la carga cognitiva y mental que se debe ampliar para medir de manera mas precisa la demanda. Esto se puede lograr a través de la aplicación e inclusión

del *ASQ: After Scenario Questionnaire* o del *SMEQ: Subjective Mental Effort Questionnaire*.

Finalmente se debe ampliar este estudio a otros sistemas de interacción basada en movimiento como pueden ser los sistemas de rehabilitación y las implicaciones que estos conllevan.

Apéndice A

Análisis, diseño e implementación de SIBMER

En este apéndice se muestra el análisis, diseño e implementación de SIBMER utilizando una metodología simplificada del Proceso Racional Unificado o RUP.¹ Esta metodología divide el proceso de desarrollo en cuatro fases iterativas: 1) análisis; 2) diseño; 3) implementación; y 4) pruebas. Adicionalmente RUP utiliza para el modelado de sistemas el Lenguaje Unificado de Modelado o UML,² con el que se especifican aspectos conceptuales del sistema en forma gráfica, como procesos y funciones del sistema. En la sección siguiente se muestra el análisis del sistema especificando el comportamiento y funcionalidades generales de SIBMER.

A.1. Análisis

El Diagrama de Casos de Uso General representa de forma gráfica el comportamiento del sistema y la forma en que interactúa con los agentes/usuarios (Figura A.1). La notación gráfica empleada fue definida con UML.

En la Figura A.1 se muestran los agentes del sistema: terapeuta y paciente. Las actividades principales del terapeuta son: a) iniciar sesión; b) administrar registros de pacientes y terapeutas; c) seleccionar pacientes; d) configurar juego; d) creación de reportes; e) impresión de reportes. Por su parte el paciente sólo tiene una actividad: f) utilizar el videojuego (realizar

¹Rational Unified Process por sus siglas en Inglés

²Unified Modeling Language por sus siglas en Inglés

APÉNDICE A. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SIBMER62

la sesión de ejercicios propiamente).

Una vez definidas las funcionalidades principales en SIBMER se realizó un análisis individual por cada una de las funcionalidades, las cuales se detallan a continuación.

- Ingreso al sistema. En esta pantalla los terapeutas ingresan al sistema utilizando su nombre de usuario y contraseña.
- Administrar registros de pacientes y terapeutas. En esta pantalla el terapeuta agrega, modifica, borra y actualiza los datos de los pacientes.
 - Seleccionar pacientes. En esta pantalla el terapeuta busca y selecciona al paciente que realizará la sesión de calibración.
- Configurar juego. En esta pantalla el terapeuta configura la mano con la cual se realizará la sesión de rehabilitación o la duración.
- Creación de reportes. En esta pantalla el terapeuta genera reportes por sesión, día o mes.
 - Impresión de reportes. Con esta opción el terapeuta imprime los reportes generados por sesión, día o mes.

En la siguiente sección se detalla el diseño de las funcionalidades principales en sibmer.

A.2. Diseño de SIBMER

Una vez definidas las funcionalidades principales se muestra el detalle de cada una.

Ingreso al sistema

La funcionalidad básica del sistema de administración de SIBMER es el ingreso al sistema (figura A.2); los terapeutas ingresan mediante su nombre de usuario y contraseña. Esta información se encontrará registrada previamente en la base de datos del sistema y serán cotejados para obtener acceso al mismo.

Pantalla principal

APÉNDICE A. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SIBMER63

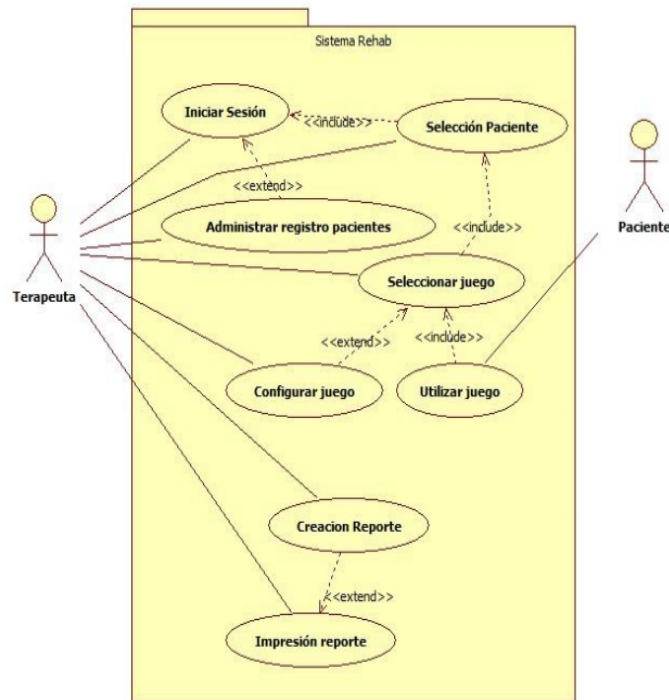


Figura A.1: Caso de uso general de SIBMER

En la pantalla principal se muestran las funcionalidades de la interfaz de administración de SIBMER (figura A.3):

- Cambiar/Administrar Paciente. Mediante esta funcionalidad el terapeuta selecciona al paciente que realizará la sesión de rehabilitación y, en caso de estar seleccionado, cambiarlo sin salir del sistema.
- Calibración. Funcionalidad para adecuar la sesión de rehabilitación al paciente.
- Juegos. Funcionalidad para acceder a los juegos existentes en SIBMER.
- Acerca de. Muestra los datos de los desarrolladores SIBMER.
- Reportes. Funcionalidad para generar reportes.
- Fin de Sesión de Terapeuta. Permite cerrar la sesión actual y regresar a la pantalla de ingreso.
- Salir del programa.

APÉNDICE A. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SIBMER64

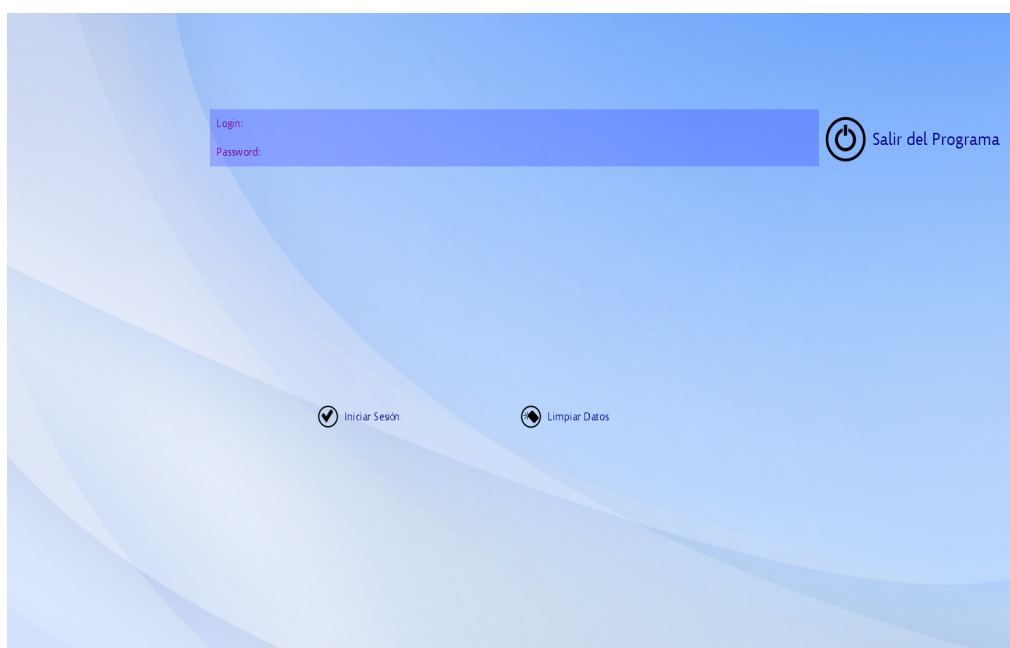


Figura A.2: Captura de pantalla para el ingreso a SIBMER



Figura A.3: Pantalla principal

Administrar pacientes

APÉNDICE A. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SIBMER65

En la pantalla para cambiar paciente se realiza adicionalmente la administración de pacientes (figura A.4). Esta pantalla se compone de las secciones descritas a continuación:

- Filtros de búsqueda. Los terapeutas buscan pacientes por número de expediente, nombre, apellido paterno, apellido materno, sexo, padecimiento y año de nacimiento.
- Lista de pacientes.
- Botones de gestión. Los terapeutas pueden agregar, borrar y seleccionar pacientes.



Figura A.4: Captura de pantalla para administrar pacientes

Generar reportes

Pantalla para generar el reporte del desempeño del paciente (figura A.5). Los reportes que se pueden generar son:

- Por sesión. Se genera un reporte con la fecha actual, nombre paciente, terapeuta, padecimiento y puntaje.
- Por día. Al seleccionar una fecha se genera un reporte con los datos anteriores.

APÉNDICE A. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SIBMER66

- Por mes. Se genera una gráfica con los puntajes obtenidos en cada sesión a lo largo del mes seleccionado (figura A.6).

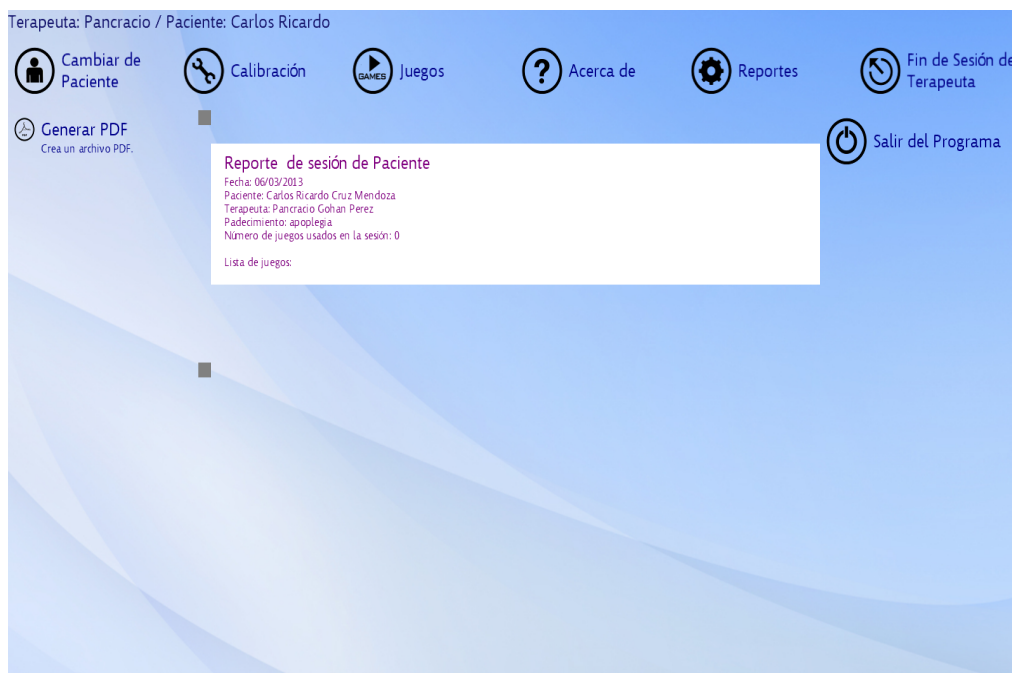


Figura A.5: Captura de pantalla del reporte por sesión

A.3. Implementación de SIBMER

SIBMER utiliza el dispositivo Microsoft Kinect y la biblioteca oficial de desarrollo (Kinect for Windows SDK V1.6) para el reconocimiento y procesamiento de los movimientos del paciente. Para el desarrollo de la interfaz y de los videojuegos se utiliza la biblioteca Microsoft XNA 4.0, además de una biblioteca desarrollada en el contexto de esta investigación llamada *RehabFramework* que se utilizó para la creación de la interfaz de administración del sistema. Los elementos principales en *RehabFramework* son botones, cuadros de texto, mensajes, gráficas de puntos, formularios y menús de opciones. Otros elementos del Framework son los *widgets*, los cuales son combinaciones de los elementos anteriores ofreciendo una funcionalidad aumentada. Un ejemplo de un *widget* es la combinación de un texto y dos imágenes para crear un incrementador de meses ó años (Figura A.7).

A continuación se describen las clases de RehabFramework:

APÉNDICE A. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SIBMER67



Figura A.6: Captura de pantalla del reporte por mes



Figura A.7: Captura de pantalla - Widget incremento

1. *KbHandler*. Clase para manejar el input del teclado, guardando los caracteres como cadena.
2. *EVentana*. Clase para representar un elemento gráfico a desplegar en la ventana de la aplicación.
3. *Grafica*. Clase para dibujar una gráfica a partir de un conjunto de puntos.
4. *ElementoTabla*. Subclase de *Grafica*, se compone de un vector de dos dimensiones para guardar las coordenadas de un punto y una cadena relacionada con éste.
5. *Widget*. Clase que representa un *widget*.
6. Botón. Clase para dibujar botones y el manejo de sus eventos.

APÉNDICE A. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SIBMER68

7. *SelectorCantidad*. Widget especial para aumentar o disminuir haciendo clic con el mouse sobre sus flechas.
8. *Mensaje*. Clase para mostrar textos en pantalla.
9. *MOpciones*. Clase para crear menús.
10. *CuadroDetexto*. Clase para crear cuadros de texto para ingresar números o cadenas de caracteres.
11. *Formulario*. Clase para crear formularios a partir de los cuadros de texto.
12. *BMPWriter*. Clase para guardar una Textura de XNA 4.0 en un archivo de imagen que puede ser formato JPG, BMP o PNG.

El sistema está programado en 2500 líneas de código divididas en siete clases principales; cinco para almacenar la información de la base de datos y el resto para la funcionalidad de SIBMER; sumando entre todas alrededor de 2500 líneas de código. A continuación se describen brevemente las clases:

1. *Persona*. Clase genérica para guardar datos básicos del paciente o terapeuta (nombre, apellidos, fecha nacimiento y sexo).
2. *Terapeuta*. Clase para guardar datos del terapeuta que hereda de *Persona* (nombre, apellidos, fecha nacimiento, sexo, turno, cédula profesional, usuario y contraseña).
3. *Paciente*. Clase para guardar datos del paciente que hereda de *Persona* (nombre, apellidos, fecha nacimiento, sexo, número de expediente y padecimiento).
4. *PuntosJuegos*. Clase para guardar información relacionada con el juego; como por ejemplo, mano usada y tiempo.
5. *Sesión*. Clase para guardar información relacionada con la sesión; como por ejemplo, nombre del terapeuta, paciente y fecha.
6. *Game1*. Subclase de la clase *Game* del framework de XNA 4.0, contiene los métodos para cargar el contenido, inicializar y actualizar variables. Además contiene los métodos necesarios que complementan la actualización de datos y el dibujo de la interfaz gráfica del programa; incluye los manejadores de eventos que controlan ciertas acciones del programa como la ejecución de los juegos o la creación de los archivos PDF con los reportes de las sesiones del paciente.

APÉNDICE A. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SIBMER69

Para compilar y ejecutar el código se necesita una pc con windows 7 o 8, tener instalado Microsoft XNA 4.0. Kinect for Windows SDK V1.6 y visual studio 2010 o 2012. Adicionalmente la biblioteca *RehabFramework* se incluye en el código como biblioteca en formato DLL. Para la persistencia de datos se ocupó el manejador MySQL 5.6.

El código fuente completo de SIBMER esta disponible en:

<https://github.com/carlosricardocm/sibmer>

Apéndice B

Algoritmo de calibración de SIBMER

B.1. Calibración de brazos en SIBMER

En el Capítulo 3 se presentó SIBMER, el cual entre sus funciones incluye un módulo para calibrar el rango de movilidad de un paciente. Como se explicó en 3.1 para realizar la calibración se crea un esqueleto con 10 vértices que corresponden a los puntos de articulación de la extremidades superiores (Figura 3.2). Los vértices son: *Head*, *ShoulderCenter*, *ShoulderRight*, *ShoulderLeft*, *ElbowLeft*, *ElbowRight*, *WristLeft*, *WristRight*, *HandLeft*, *HandRight*.

Antes de la creación del esqueleto es necesario adecuar el sensor kinect a la posición del paciente por lo que se realiza un barrido en distintos ángulos para encontrar la posición en la cual se maximice el número de puntos vistos. Lo ideal es una posición en donde se observen los 10 puntos.

Una vez definido el esqueleto y la posición del Kinect se crean cuatro barras¹ orientadas hacia arriba, abajo, izquierda y derecha (Figura 3.3). Estas barras contienen flechas las cuales el paciente deslizará en la orientación adecuada.

¹Sliders en Ingles

El algoritmo para el deslizamiento de las flechas es el siguiente:

1. Mapear el movimiento de la mano a coordenadas del videojuego. Ver Algoritmo B.1.
2. Revisar si la posición de la mano se intersecta con alguna flecha/slider (izquierda, derecha, arriba y abajo). Ver Algoritmo B.2.
3. Se actualiza la distancia entre la posición de la mano y la flecha/slider; $\text{distancia} = \text{posicionMano} - \text{posicionSlider}$.
4. Se evalúan 2 casos con base a un nivel de tolerancia η que permite saber si el slider se esta moviendo hacia la izquierda-derecha o arriba-abajo.
 - Si la distancia $\leq -\eta$ la posición del slider se actualiza de forma positiva.
 - Si la distancia $> \eta$ la posición del slider se actualiza de forma negativa.
5. Se actualiza la posición máxima en base a la posición actual de la flecha/slider; $\text{posMayor} = \text{posicionMano}$.
6. Regresamos al paso 2.

El algoritmo de desplazamiento se realiza para cada una de las barras; una vez definidos los cuatro puntos máximos se finaliza la calibración.

Algoritmo B.1: Mapeo de los movimientos de la mano a coordenadas del videojuego

```

if (skeletonData != null)
{
    foreach (var skeleton in skeletonData)
    {
        switch (skeleton.TrackingState)
        {
            case SkeletonTrackingState.Tracked:
                Joint HandRight =
                    skeleton.Joints[JointType.HandRight];
                Joint ShoulderCenter =
                    skeleton.Joints[JointType.ShoulderCenter];
                handCoordinates =
                    ToScaledXnaCoordinates(skeleton,
                    this.game.GraphicsDevice.Viewport.Width,
                    this.game.GraphicsDevice.Viewport.Height,
                    this.SharedSpriteBatch);
        }
    }
}

```

```

        m_mousePos.X = handCoordinates.X;
        m_mousePos.Y = handCoordinates.Y;
        break;
    }
}
}

```

Algoritmo B.2: Desplazamiento de la flecha derecha y actualización de su punto máximo

```

if
(posicionMano.X.Intersects(sliderBackgroundRectangle))
{
//Actualizamos la distancia entre el mouse/mano
y el slider/flecha
distance = posicionSlider.X - (posicionMano.X);
//Revisamos los casos de la distancia de
acuerdo al nivel de tolerancia
if (distance < -5f)
{
    posicionSlider.X +=
        (float)gameTime.ElapsedGameTime.TotalMilliseconds
        * 0.40f;
    }
else if (distance > 5f)
{
    if (posicionSlider.X >= maxDer)
    {
        posSlider.X -=
            (float)gameTime.ElapsedGameTime.TotalMilliseconds
            * 0.40f;
        }
    }
}
xMayor = posicionSlidex.X

```


APÉNDICE C. CUESTIONARIO PERSONALIZADO Y NASA TLX 75

A continuación, en cada una de las 15 comparaciones selecciona el título que creas representa una contribución más importante para la carga de trabajo en la tarea:

1.
Demanda Temporal
ó
Demanda Mental
2.
Demanda Temporal
ó
Esfuerzo
3.
Demanda Física
ó
Frustración
4.
Esfuerzo
ó
Demanda Física
5.
Frustración
ó
Esfuerzo
6.
Rendimiento
ó
Demanda Temporal
7.
Esfuerzo
ó
Rendimiento
8.
Demanda Temporal
ó
Frustración

APÉNDICE C. CUESTIONARIO PERSONALIZADO Y NASA TLX 76

9.
Demanda Física
ó
Demanda Temporal
10.
Demanda Física
ó
Rendimiento
11.
Rendimiento
ó
Frustración
12.
Rendimiento
ó
Demanda Mental
13.
Demanda Mental
ó
Esfuerzo
14.
Demanda Mental
ó
Demanda Física
15.
Frustración
ó
Demanda Mental

Cuestionario Personalizado (Aplicado después de jugar la versión V1 del videojuego)

Por favor, coloca un número del 0 al 5 donde 0 es nada, 3 es regular y 5 es mucho la demanda mental y física que requeriste para resolver la tarea.

Habilidad	Demanda Mental			Demanda Física		
	0 - Nada	1 - Regular	2 - 3 - 4 - 5 - Mucho	0 - Nada	1 - Regular	2 - 3 - 4 - 5 - Mucho
Reconocer estructuras, posiciones y modelos						
Percibir colores						
Percibir tamaño y forma						
Reconocer la posición de objetos						
Estimar distancias						
Estimar cantidades o peso						
Estimar la velocidad de objetos en movimiento						
Memorizar objetos						
Reconocer patrones o secuencias de sonido						
Reconocer la incidencia de tonos o sonidos						
Reconocer la suavidad o dureza de las superficies						
Reconocer la temperatura de las superficies						
Reconocer la presión ejercida por un objeto						
Sostener un objeto						
Realizar movimientos intensos de las manos						
Realizar movimientos ligeros de las manos						
Realizar movimientos intensos de los pies						
Realizar movimientos ligeros de los pies						
Reconocer olores						
Reconocer sensaciones o estímulos internos						
Percibir movimientos de nuestro propio cuerpo						
Sentido del equilibrio						

Cuestionario Datos NASA-TLX (Aplicado después de jugar la versión V2 del videojuego)

Por favor selecciona en cada escala el punto que mejor indica tu experiencia en la tarea:

<p>Demanda Mental</p>	<p>¿Cuánta actividad mental y perceptiva se requería (por ejemplo, pensar, decidir, calcular, recordar, mirar, buscar, etc.)? ¿Fue la tarea fácil o exigente, simple o compleja, exigente o indulgente?</p>
<p>Demanda Física</p>	<p>¿Cuánta actividad física se requería (por ejemplo, empujar, jalar, girar, controlar, activar, etc.)? ¿La tarea fue fácil o exigente, lenta o enérgica, floja o extenuante, tranquila o laboriosa?</p>
<p>Demanda Temporal</p>	<p>¿Cuánta presión de tiempo sentiste debido a la velocidad con la que ocurrieron las tareas o los elementos de la tarea? ¿Fue el ritmo lento y pausado o rápido y frenético?</p>
<p>Rendimiento</p>	<p>¿Qué tan exitoso crees que fuiste en lograr los objetivos de la tarea establecida? ¿Qué tan satisfecho estuviste con tu desempeño en el cumplimiento de estos objetivos?</p>
<p>Esfuerzo</p>	<p>¿Qué tanto tuviste que trabajar (mental y físicamente) para lograr tu nivel de rendimiento?</p>
<p>Frustración</p>	<p>¿Qué tan inseguro, desanimado, imitado, estresado y molesto versus seguro, gratificado, satisfecho, relajado y complaciente te sentiste durante la tarea?</p>

A continuación, en cada una de las 15 comparaciones selecciona el título que creas representa una contribución más importante para la carga de trabajo en la tarea:

1. Demanda Temporal
- ó Demanda Mental

2. Demanda Temporal
- ó Esfuerzo

3. Demanda Física
- ó Frustración

4. Esfuerzo
- ó Demanda Física

5. Frustración
- ó Esfuerzo

APÉNDICE C. CUESTIONARIO PERSONALIZADO Y NASA TLX 79

6.
Rendimiento
ó
Demanda Temporal

7.
Esfuerzo
ó
Rendimiento

8.
Demanda Temporal
ó
Frustración

9.
Demanda Física
ó
Demanda Temporal

10.
Demanda Física
ó
Rendimiento

11.
Rendimiento
ó
Frustración

12.
Rendimiento
ó
Demanda Mental

13.
Demanda Mental
ó
Esfuerzo

14.
Demanda Mental
ó

Demanda Física

15. Frustración

6 Demanda Mental

Cuestionario Personalizado (Aplicado después de jugar la versión V2 del videojuego)

Por favor, coloca un número del 0 al 5 donde 0 es nada, 3 es regular y 5 es mucho la demanda mental y física que requeriste para resolver la tarea.

Habilidad	Demanda Mental			Demanda Física		
	0 - Nada	1 - Regular	2 - 3 - 4 - 5 - Mucho	0 - Nada	1 - Regular	2 - 3 - 4 - 5 - Mucho
Reconocer estructuras, posiciones y modelos						
Percibir colores						
Percibir tamaño y forma						
Reconocer la posición de objetos						
Estimar distancias						
Estimar cantidades o peso						
Estimar la velocidad de objetos en movimiento						
Memorizar objetos						
Reconocer patrones o secuencias de sonido						
Reconocer la incidencia de tonos o sonidos						
Reconocer la suavidad o dureza de las superficies						
Reconocer la temperatura de las superficies						
Reconocer la presión ejercida por un objeto						
Sostener un objeto						
Realizar movimientos intensos de las manos						
Realizar movimientos ligeros de las manos						
Realizar movimientos intensos de los pies						
Realizar movimientos ligeros de los pies						
Reconocer olores						
Reconocer sensaciones o estímulos internos						
Percibir movimientos de nuestro propio cuerpo						
Sentido del equilibrio						

Apéndice D

Análisis, diseño e implementación de MACOLI

En este apéndice se muestra el proceso de construcción de Macoli. Se utilizó una metodología ágil basada en procesos de HCI como: 1) obtención de requerimientos;¹ y 2) prototipado. Esta metodología fue escogida con base en las lecciones aprendidas en SIBMER, en especial para el diseño de la interacción.

En la sección siguiente se muestra el proceso de análisis y obtención de funcionalidades principales de Macoli.

D.1. Requerimientos

En HCI existen diferentes estrategias para obtener las funcionalidades principales de un sistema; por ejemplo, entrevistas, cuestionarios, grabaciones y, como es el caso de Macoli la combinación de la observación participativa y el uso de bocetos.²

En la observación participativa el desarrollador/investigador es un espectador mientras los expertos realizan la actividad y, de ser posible, experimentalmente. Mientras se observa/realiza la actividad el desarrollador se debe cuestionar lo siguiente:

1. ¿Qué es lo que hace la gente?
2. ¿Cómo lo hace?

¹*Needfinding* en Inglés

²*Sketches o Sketchboards* en Inglés

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI82

3. ¿Cuáles son las similitudes/diferencias entre las acciones de los diferentes participantes?
4. ¿Qué pasa en distintos contextos u horarios?

Por su parte los bocetos se usan en las etapas iniciales de diseño, para recoger las primeras impresiones del espacio de trabajo de la interacción.

En esta investigación, el INR³ proporcionó el acceso al Área de Terapia Ocupacional para la observación participativa. Las respuestas obtenidas se muestran a continuación.

1. ¿Qué es lo que hace la gente? Realiza ejercicios de flexión en sesiones de un minuto mientras son supervisados por un terapeuta.
2. ¿Cómo lo hace? Se utiliza un dispositivo de pared tipo sueca
3. ¿Cuáles son las similitudes/diferencias entre las acciones de los diferentes participantes? No todos los usuarios tiene el mismo nivel de movilidad en hombro; debido a esto solamente utilizan ciertos peldaños.
4. ¿Qué pasa en distintos contextos u horarios? Las sesiones siempre se realizan de la misma manera: 1) se toman los datos del usuario; 2) se obtiene información de sesiones previas; y se 3) inicia la sesión propiamente.

Con la información recopilada se realizó el bocetado para la interfaz e interacción en Macoli definiendo tres elementos principales: 1) la estructura tipo escalera sueca; 2) la interfaz administrativa; y 3) los videojuegos. En la figura D.1 se muestra el primer diseño de la estructura para la escalera de pared tipo sueca, junto con el diagrama de las funcionalidades principales. En la figura D.2 se muestran las primeras versiones de las pantallas de la interfaz administrativa del sistema de Macoli.

³Instituto Nacional de Rehabilitación

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI83

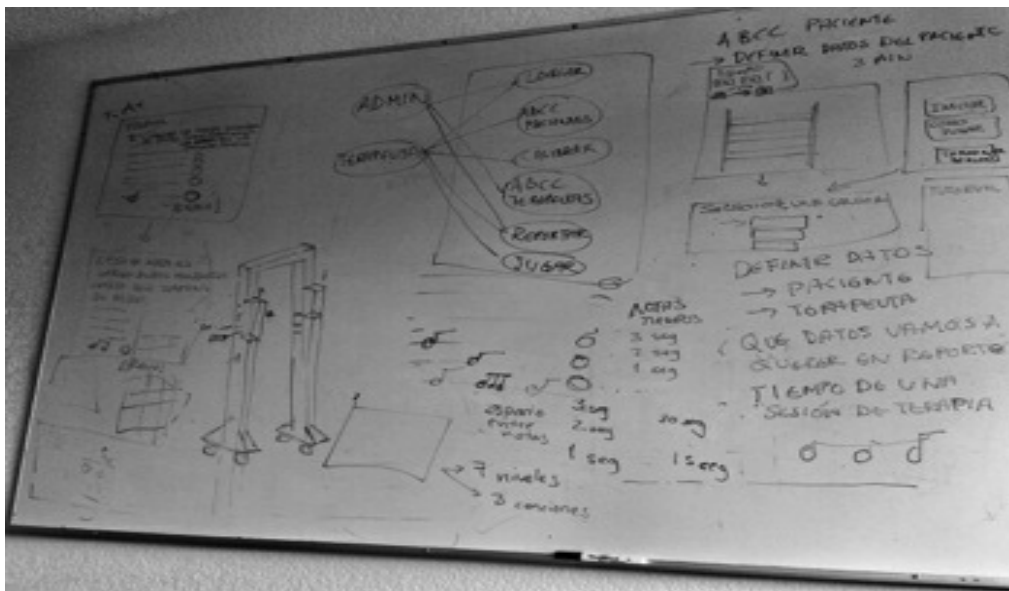


Figura D.1: Boceto estructura

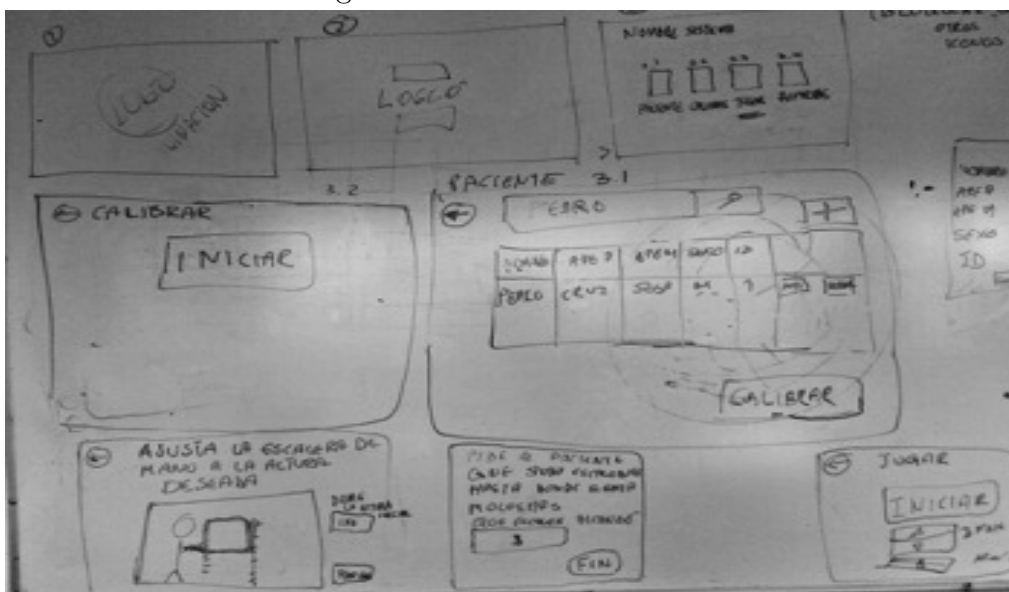


Figura D.2: Boceto con funcionalidades de Macoli

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI84

Una vez realizado el bocetado se realizó el maquetado/prototipado de la estructura tipo escalera sueca y la interfaz administrativa. Ambos prototipos se muestran en la siguiente sección.

D.2. Prototipado

En HCI los prototipos/maquetas ayudan a identificar, comunicar y probar un producto antes de implementarlo o construirlo. En particular en Macoli se realizó el prototipado de la estructura tipo escalera sueca y de la interfaz administrativa. En las siguientes subsecciones se muestran a detalle.

D.2.1. Interfaz Administrativa

Con base en las funcionalidades principales se definieron las pantallas siguientes:

- Ingreso al sistema
- Menú principal
- Administración de usuarios
- Calibración
- Videojuegos

A continuación se muestran los prototipos de pantallas junto a su versión final y descripción.

Ingreso al sistema

En la figura D.3 y D.4 se muestra respectivamente el prototipo y la versión final de la pantalla de ingreso; en ambas se requiere el nombre de usuario y contraseña del terapeuta para iniciar la sesión.

Menú principal

En la figura D.5 y D.6 se muestra respectivamente el prototipo y la versión final del menú; en ambas pantallas se muestran los enlaces para seleccionar usuario, calibrar y jugar.

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI85

Administrar usuarios

En la figura D.7 y D.8 se muestra el prototipo y la versión final de la pantalla para seleccionar usuarios; en ambas pantallas se muestran los enlaces para seleccionar, agregar, modificar y actualizar los datos del usuario.

Videojuegos

En la figura D.9 y D.10 se muestra el prototipo y la versión final de la pantalla para el manejo de los videojuegos; en ambas pantallas se muestra la forma de realizar la conexión bluetooth con la estructura e iniciar el videojuego.



Figura D.3: Captura de pantalla del boceto de ingreso al sistema



Figura D.4: Captura de pantalla final del ingreso al sistema

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI86

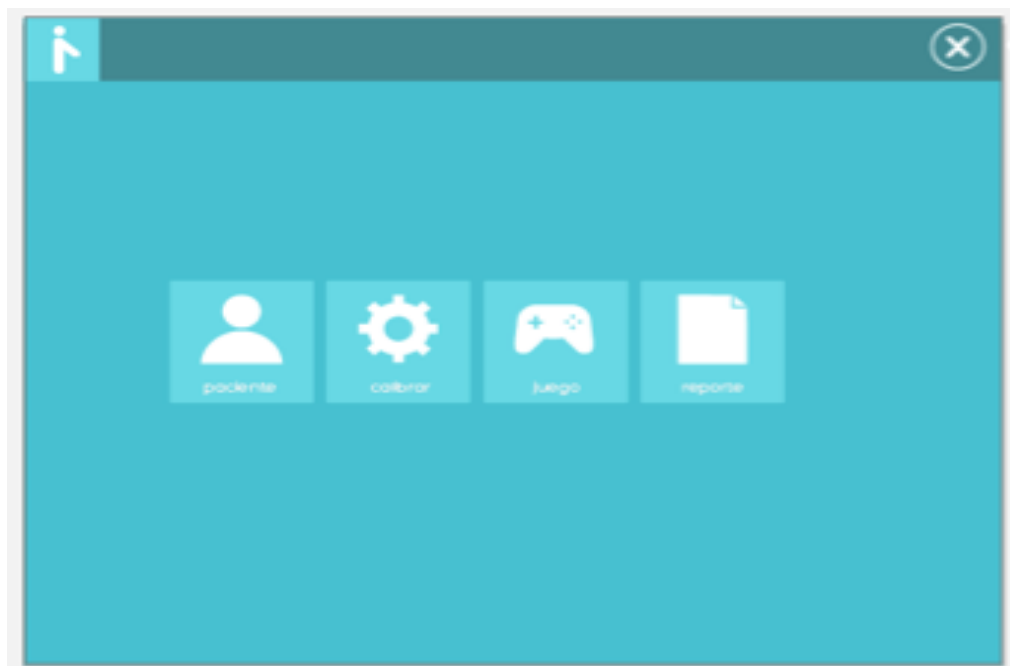


Figura D.5: Captura de pantalla del boceto del menú principal

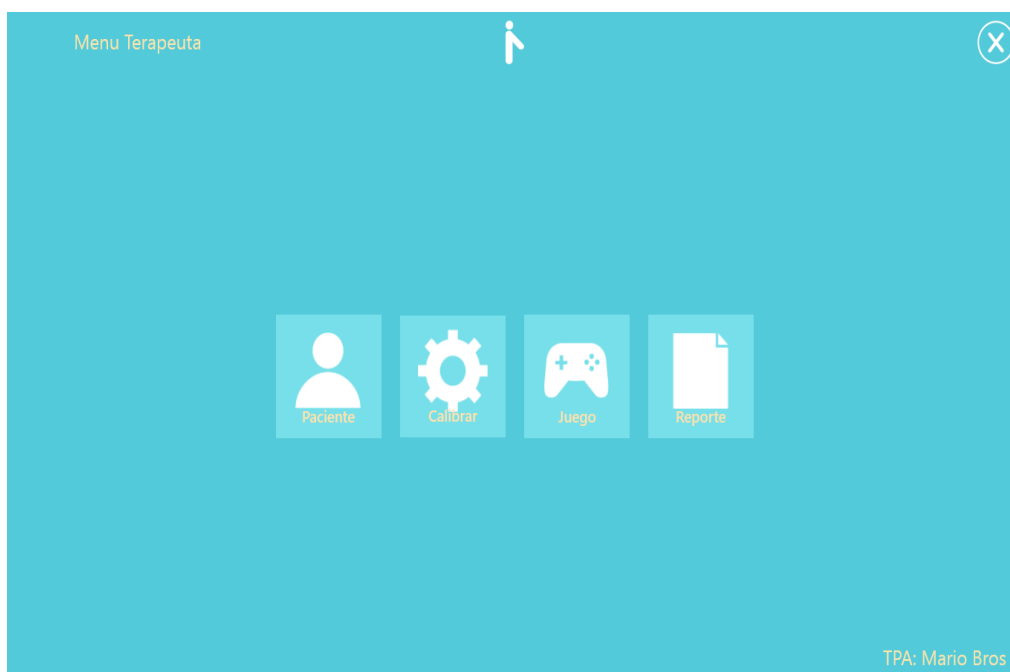


Figura D.6: Captura de pantalla final del menú principal

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI87



Figura D.7: Captura de pantalla del boceto para administrar usuarios

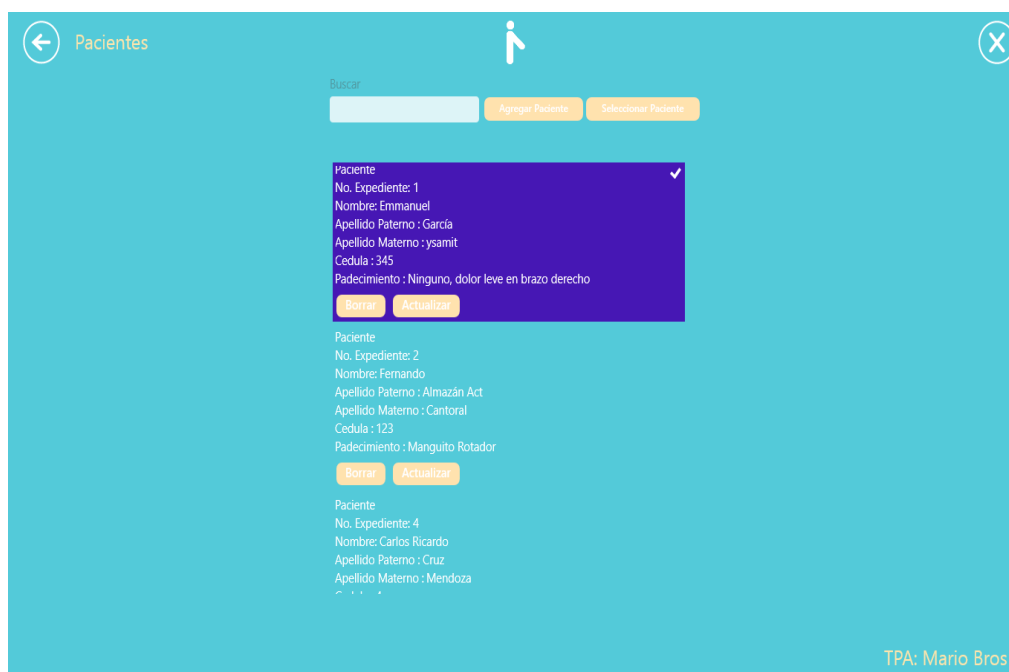


Figura D.8: Captura de pantalla final para administrar usuarios

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI88



Figura D.9: Captura de pantalla del boceto para los videojuegos

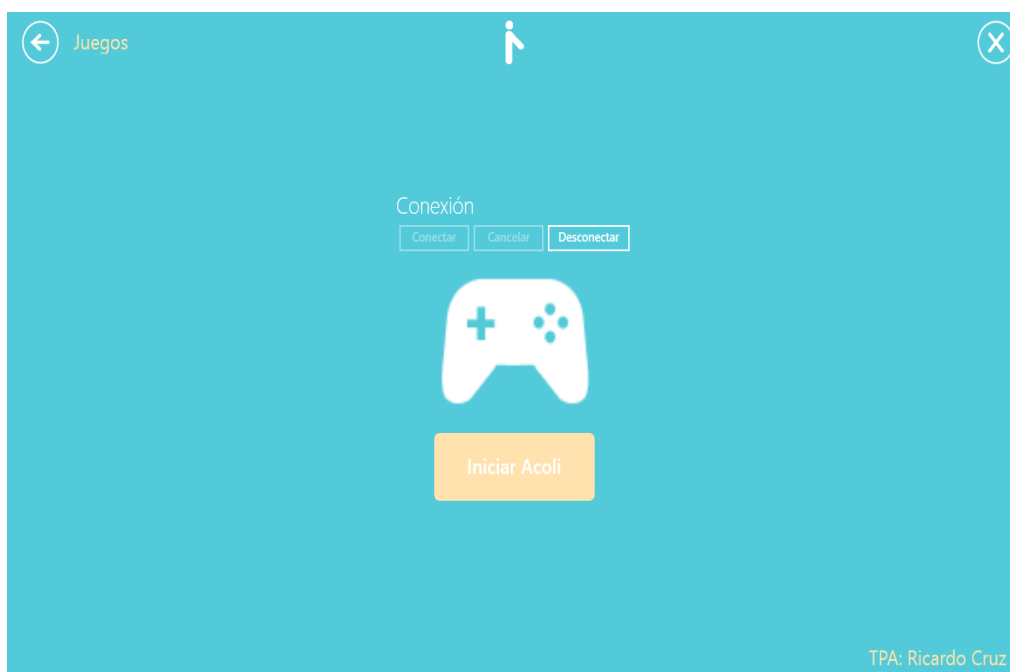


Figura D.10: Captura de pantalla final para los videojuegos

D.2.2. Estructura tipo escalera sueca

La estructura tipo escalera sueca facilita la realización de ejercicios de flexión y extensión. En la figura D.11-P0 se muestra el diseño de la estructura que se integra por: base de soporte (figura D.12-P1); soporte principal (figura D.12-P2); base principal (figura D.12-P3); escalera (figura D.12-P4); barra (figura D.12-P5); rueda central (figura D.12-P6); rueda izquierda (figura D.12-P6.1); y rueda derecha (figura D.12-P6.2).

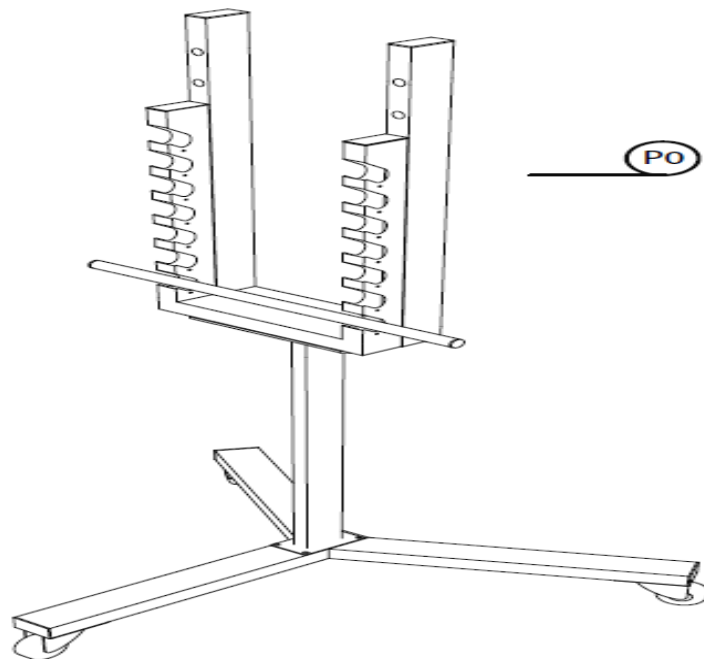
Por su parte la escalera consta de diversos circuitos integrados (figura D.13-P7). En cada escalón de la escalera es necesario colocar 2 circuitos integrados para detectar cuando la barra es posicionada; tal y como se muestra en el corte transversal de la escalera (figura D.13-P9). Todos los circuitos son conectados al sistema interno (figura D.13-P8).

Cada circuito integrado consta de: una tapa de acrílico (figura D.14-P7.1); una base de acrílico (figura D.14-P7.2); un circuito integrado (figura D.14-P7.3); un sensor de proximidad QRD111 (figura D.14-P7.3.3); una resistencia de 200 ohms (figura D.14-P7.3.1) y; una resistencia de 5.6 ohms (figura D.14-P7.3.2).

El sistema interno consta de: una fuente de corriente (figura D.15-P8.1) que puede ser una batería de litio, batería alcalina o mediante un adaptador de corriente alterna de 9v, un arduino mega (figura D.15-P8.2), un módulo bluetooth HC06 (figura D.15-P8.3), switch de corriente (figura D.15-P8.4) y el soporte principal hecho en acrílico (figura D.15-P8.5).

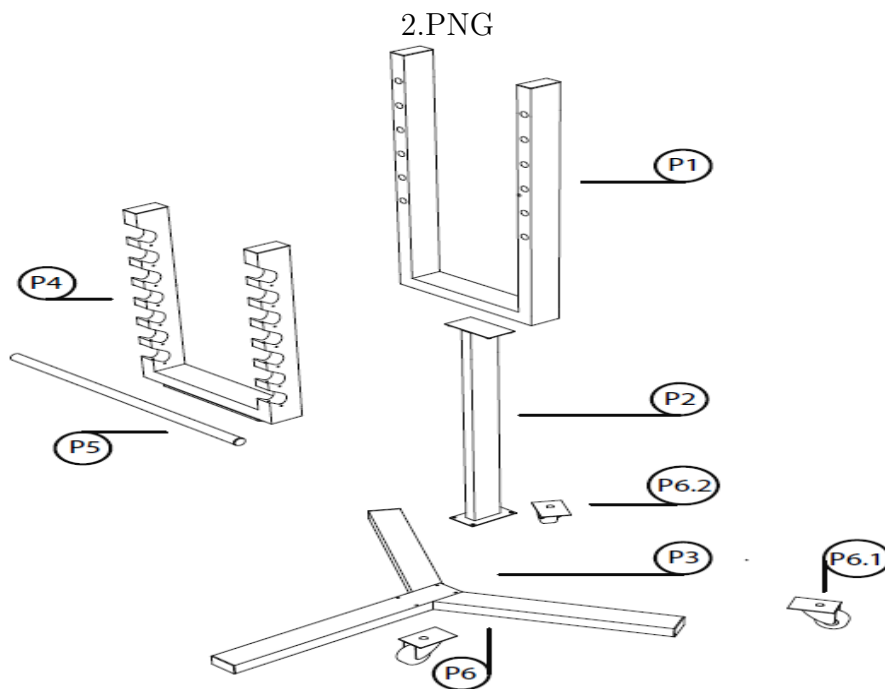
Las figuras D.16, D.17, D.18 muestran las diversas vistas de la estructura (perfil, frontal y lateral) con acabados finales; los prototipos fueron diseñados utilizando el software Rhinoceros versión 4.0. (Rhinoceros, 2018).

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI90



1.PNG

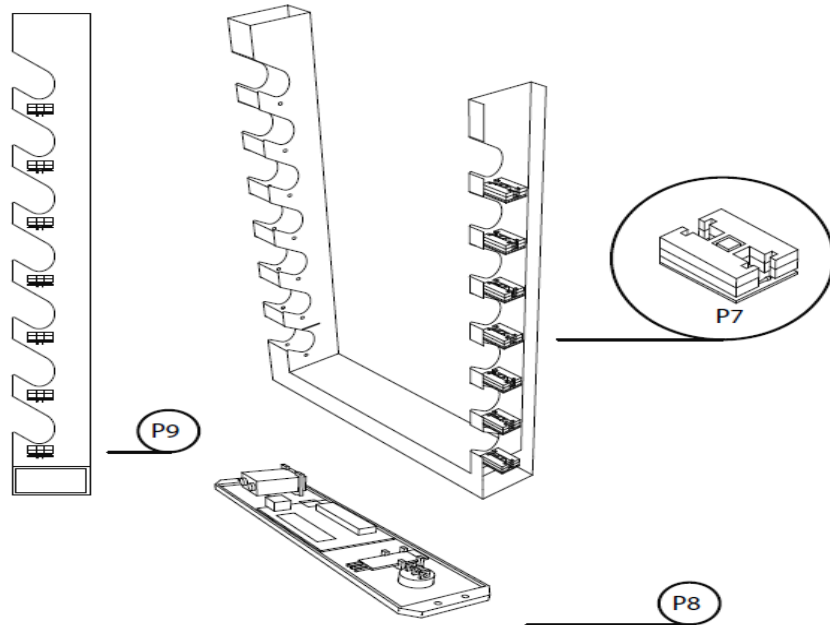
Figura D.11: Maquetado de Macoli



2.PNG

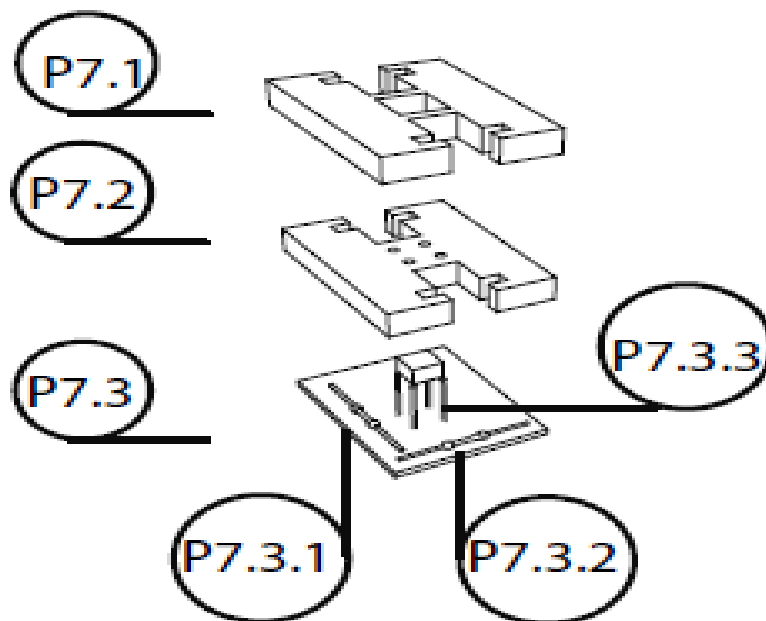
Figura D.12: Maquetado de Macoli - detalle componentes

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI91



3.PNG

Figura D.13: Maquetado de Macoli - detalle de la escalera



4.PNG

Figura D.14: Maquetado de Macoli - detalle circuitos integrados

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI92

5.PNG

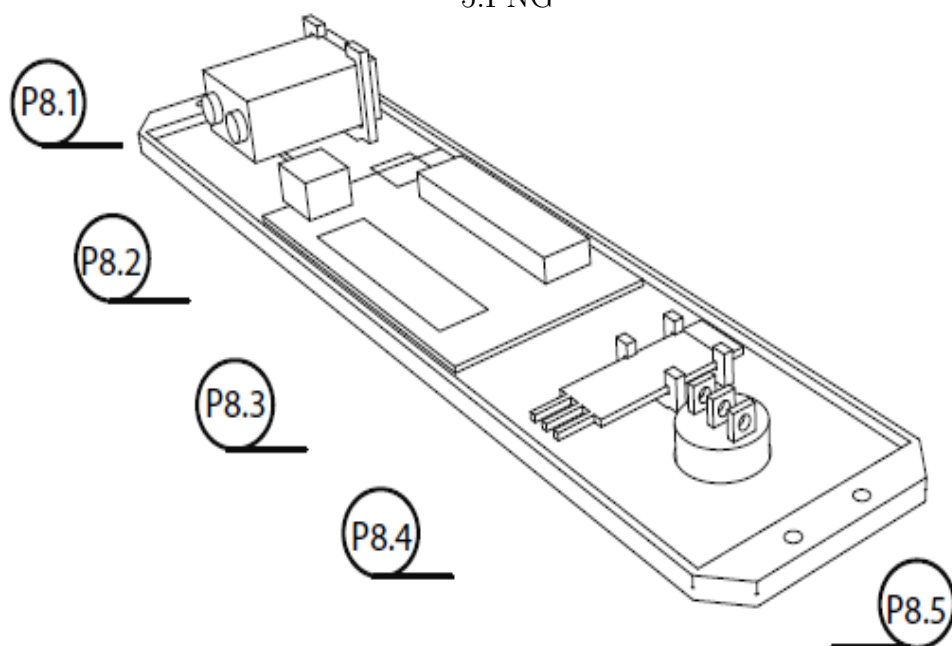


Figura D.15: Maquetado de Macoli - detalle sistema interno

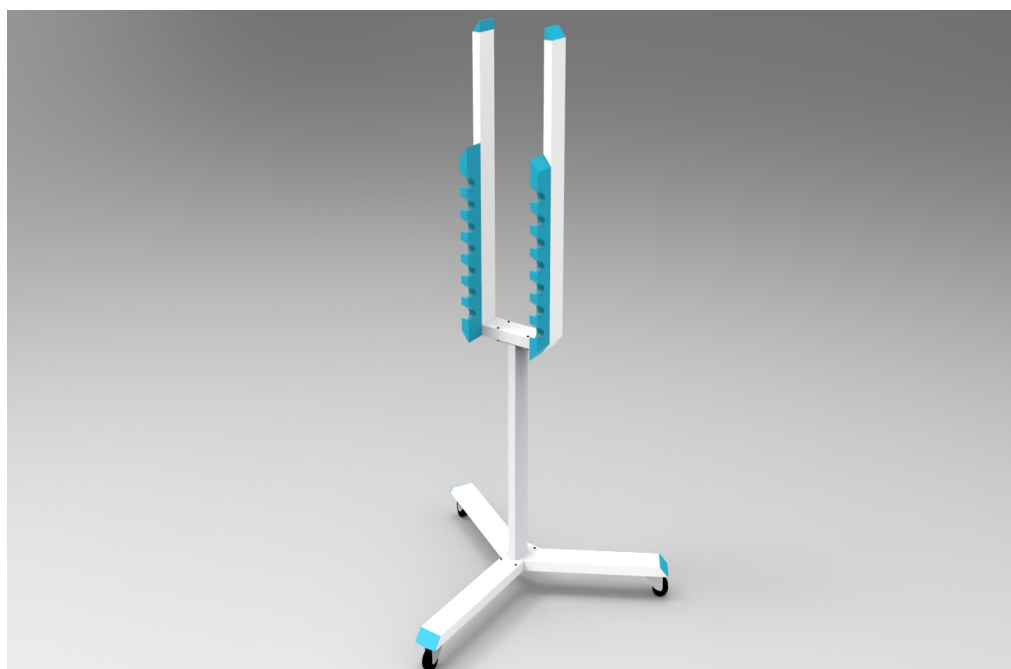


Figura D.16: Macoli render - vista perfil

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI93

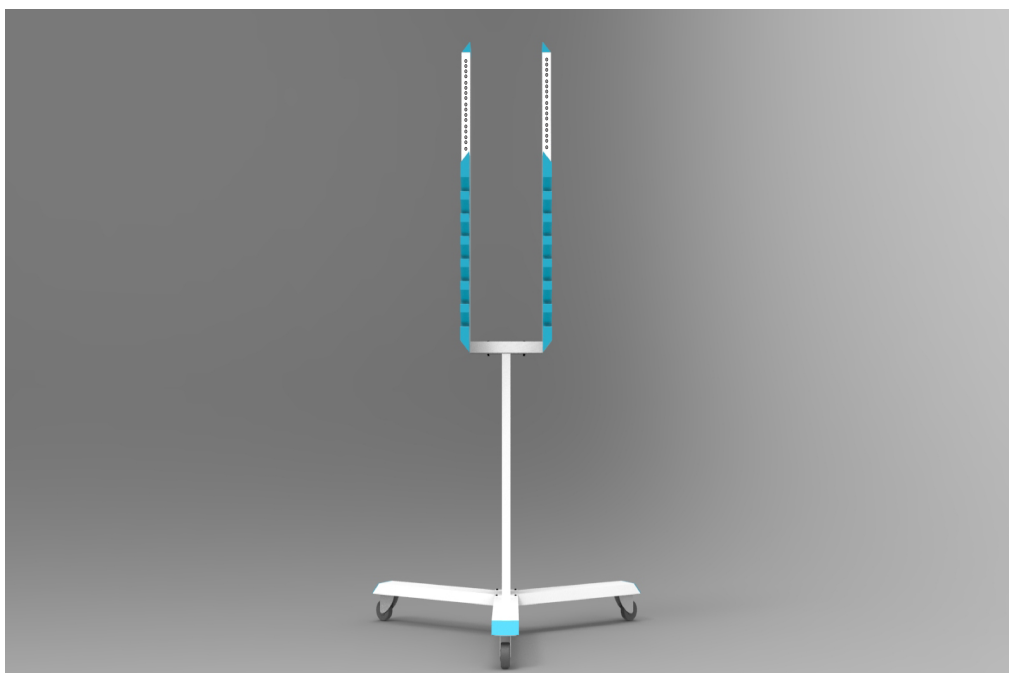


Figura D.17: Macoli render - vista frontal

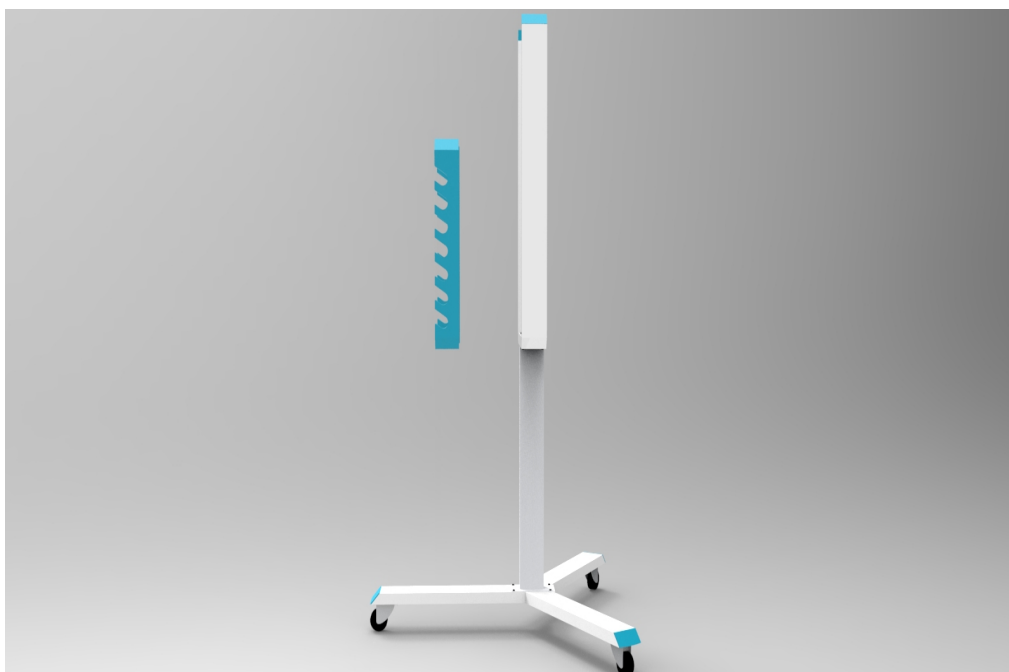


Figura D.18: Macoli render - vista lateral

D.3. Implementación de Macoli

Para construir la interfaz administrativa de Macoli se utilizó Visual Studio 2013 y el lenguaje de programación XAML y c#; para la implementación de los videojuegos se utilizó el motor de juego Unity 3D y c#; por su parte para la implementación de la lógica del sistema interno de Macoli se requirió de Arduino y c++ y para la base de datos se utilizó MySQL versión 5.6.

Para realizar la medición de cada uno de los sensores de proximidad se requirió de la siguiente configuración (Figura D.19). En la imagen D.19-a se

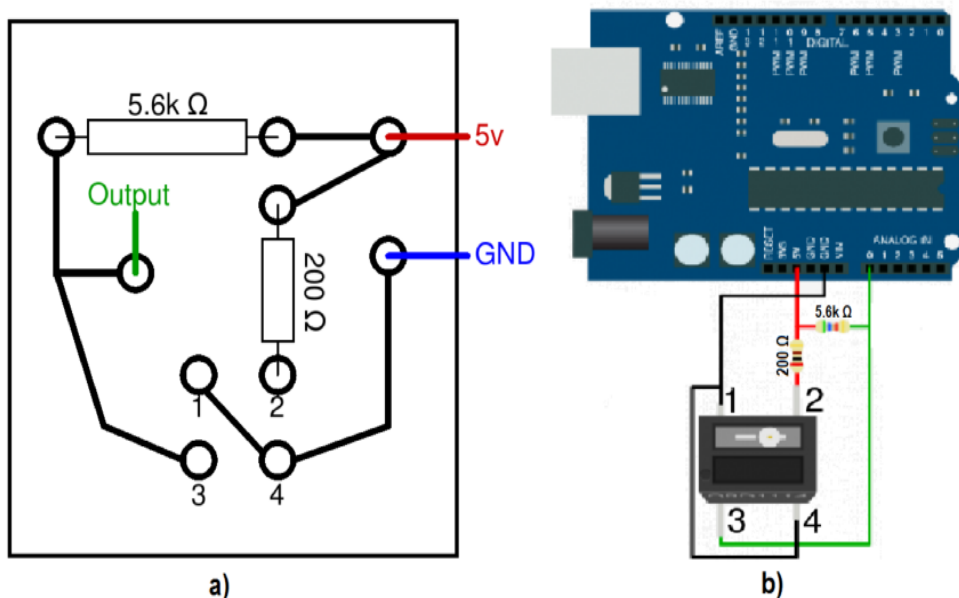


Figura D.19: Conexiones de los sensores de proximidad de la escalera

muestra el circuito impreso creado para conectar cada uno de los sensores de proximidad; el circuito impreso está compuesto por distintas pistas para soldar las resistencias de 5.6 kilohms, 200 ohms, corriente de 5 volts y tierra. La corriente y la tierra son conectados al dispositivo arduino tal y como se muestra en la imagen D.19-b.

Una vez que se obtiene la medición de cada uno de los sensores de proximidad se envía la señal a través de una conexión bluetooth a la interfaz administrativa y videojuegos. En la imagen D.20 se muestra la configuración realizada para el envío de las señales via bluetooth utilizando un dispositivo

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI95

HC-06.

El dispositivo bluetooth HC-06 se configuró asignando un nombre de dispositivo y código de configuración por medio de comandos AT. Los comandos utilizados fueron los siguientes:

Enviar: AT+NAME<Nombre>

Respuesta: OKsetname

Para cambiar el código de configuración se ingresaron los siguientes parámetros:

Enviar: AT+PIN<Pin>

Respuesta: OKsetPIN

Al configurar de esta forma el dispositivo HC-06 fue posible vincular el sistema interno con cualquier dispositivo que cuente con conexión bluetooth.

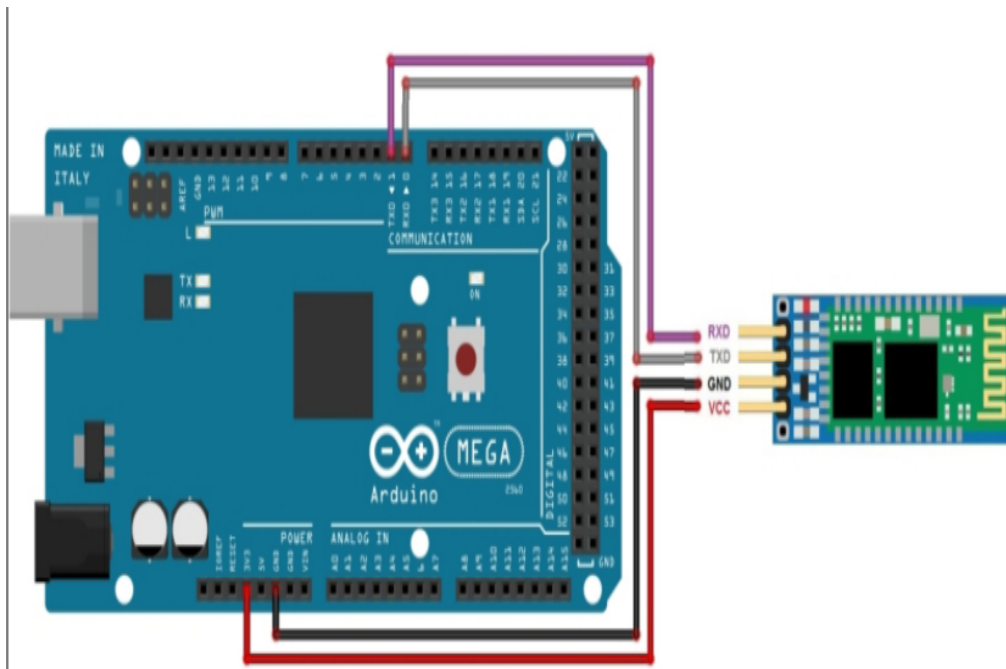


Figura D.20: Conexión bluetooth

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI96

En las imágenes D.21, D.22, D.23 y, D.24 se muestra el proceso de construcción del sistema interno de la escalera.



Figura D.21: Sistema interno de la escalera

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI97



Figura D.22: Detalle del sensor de proximidad y circuito integrado



Figura D.23: Colocación del sensor de proximidad en los peldaños de la escalera

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI98

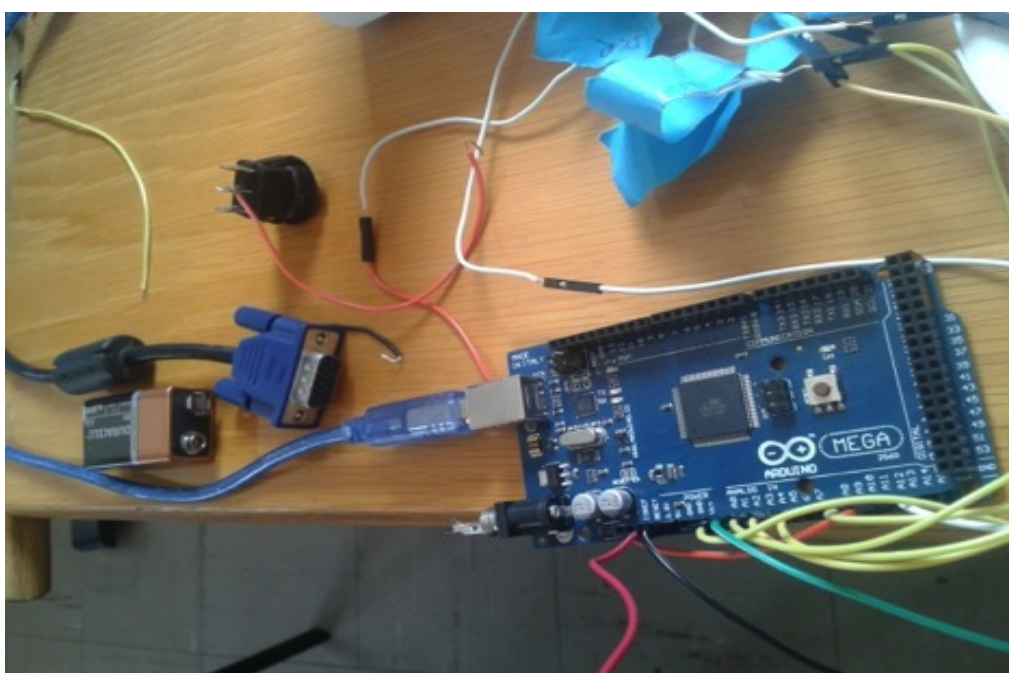


Figura D.24: Conexiones de la placa Arduino Mega

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI99

Por su parte las clases principales del sistema administrativo son las siguientes:

1. *PaginaInicio.xaml*. Interfaz con los componentes necesarios para mostrar los elementos gráficos del menú inicial.
2. *PaginaInicio.xaml.cs*. Clase para manejar los eventos y lógica de los componentes descritos en la Interfaz *PáginaInicio.xaml*
3. *PaginaCalibración.xaml*. Interfaz con los componentes necesarios para mostrar los elementos gráficos de la calibración; por ejemplo, áreas de texto para la altura de la escalera y escalón.
4. *PaginaCalibración.xaml.cs*. Clase para manejar los eventos y lógica de los componentes descritos en la Interfaz *PáginaCalibración.xaml*
5. *PaginaPaciente.xaml*. Interfaz con los componentes necesarios para mostrar los elementos gráficos para administrar los datos de un usuario.
6. *PaginaPaciente.xaml.cs*. Clase para manejar los eventos y lógica de los componentes descritos en la Interfaz *PáginaPaciente.xaml*
7. *PaginaJuego.xaml*. Interfaz con los componentes necesarios para mostrar los elementos gráficos para realizar la conexión bluetooth con la escalera e iniciar el videojuego.
8. *PaginaJuego.xaml.cs*. Clase para manejar los eventos y lógica de los componentes descritos en la Interfaz *PáginaJuego.xaml*
9. *Conexion.cs*. Clase para el manejo de la conexión entre la interfaz administrativa y la base de datos en MYSQL.

Y las clases principales de los videojuegos son:

- *GameControllerJuego*. Clase principal encargada del mantener la comunicación con las clases para inicializar las clases encargadas de crear las notas musicales, pulsadores y en general el juego.
- *BluetoothConexion*. Clase encargada de mantener la conexión entre los sensores de proximidad de la escalera y el videojuego.
- *MenuJuegoReturn*. Clase encargada de obtener la información del juego; por ejemplo: tiempo, dificultad, nivel, canción y puntos máximos.
- *Move*. Clase encargada de crear el movimiento y forma en la cual se muestran las notas musicales.

APÉNDICE D. ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE MACOLI100

- *MenuJuegoReturn*. Clase encargada de la comunicación entre la interfaz de administración y el videojuego.
- *ActivadorJuego*. Clase encargada de presionar los activadores de acuerdo a los valores que recibe de la clase *BluetoothConexion*.
- *Iniciar*. Clase encargada de pasar de la pantalla de selección de canción a la pantalla de Juego.

El código fuente de la interfaz administrativa y los videojuegos de Macoli esta disponible en:

<https://github.com/carlosricardocm/macoli>

Bibliografía

- A. Vidulich, M. and Tsang, P. (1987). Absolute magnitude estimation and relative judgement approaches to subjective workload assessment. volume 31.
- Alben, L. (1996). Quality of experience: Defining the criteria for effective interaction design. *interactions*, 3(3):11–15.
- Arhippainen, L. and Tähti, M. (2003). Empirical evaluation of user experience in two adaptive mobile application prototypes. In *MUM 2003. Proceedings of the 2nd International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*, pages 27–34. Linköping University Electronic Press; Linköpings universitet.
- Bellotti, V., Back, M., Edwards, W. K., Grinter, R. E., Henderson, A., and Lopes, C. (2002). Making sense of sensing systems: Five questions for designers and researchers. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '02*, pages 415–422, New York, NY, USA. ACM.
- Benford, S., Schnädelbach, H., Koleva, B., Anastasi, R., Greenhalgh, C., Rodden, T., Green, J., Ghali, A., Pridmore, T., Gaver, B., Boucher, A., Walker, B., Pennington, S., Schmidt, A., Gellersen, H., and Steed, A. (2005). Expected, sensed, and desired: A framework for designing sensing-based interaction. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 12(1):3–30.
- Bruya, B. (2010). Effortless attention: A new perspective in the cognitive science of attention and action. *The MIT Press*.
- Calvo, T. G., Castuera, R. J., Ruano, F. J. S.-R., Vaíllo, R. R., and Gimeno, E. C. (2008). Psychometric properties of the spanish version of the flow state scale. *The Spanish Journal of Psychology*, 11(2):660–669.
- Chen, H., Wigand, R., and Nilan, M. (1999). Optimal experience of web activities. *Computers in Human Behavior*, 15(5):585 – 608.

- Cooper, George E., H.-R. P. J. (1969). The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities. <https://apps.dtic.mil/docs/citations/AD0689722>. En línea: 2018.
- Csikszentmihalyi, M. (1991). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper Perennial, New York, NY.
- Csikszentmihalyi, M. (1993). *The evolving self: a psychology for the third millennium*. HarperCollins Publishers.
- Ellis, G. D. and Voelkl, J. E. (1994). Measurement and analysis issues with explanation of variance in daily experience using the flow model. *Journal of Leisure Research*.
- Eriksson, E., Hansen, T. R., and Lykke-Olesen, A. (2007). Movement-based interaction in camera spaces: a conceptual framework. *Personal and Ubiquitous Computing*, 11(8):621–632.
- Espinosa, J. R. D. and Mares, P. R. (2012). Familiarity of challenges and optimal experience in movement interaction games. In *Proceedings of the 4th Mexican Conference on Human-Computer Interaction, MexIHC '12*, pages 47–50. ACM.
- Finneran, C. and Zhang, P. (2002). The challenges of studying flow within a computer-mediated environment. volume 416. AMCIS 2002 Proceedings.
- Finneran, C. M. and Zhang, P. (2005). Flow in computer-mediated environments: Promises and challenges. *Communications of the Association for Information Systems*, 82(101):101.
- Forlizzi, J. and Ford, S. (2000). The building blocks of experience: An early framework for interaction designers. In *Proceedings of the Conference on Designing Interactive Systems: Processes, Practices, Methods, and Techniques*, pages 419–423.
- Fullagar, C. J., Knight, P. A., and Sovern, H. S. (2013). Challenge/skill balance, flow, and performance anxiety. *Applied Psychology*, 62(2):236–259.
- Ghani, J. A. and Deshpande, S. P. (1994). Task characteristics and the experience of optimal flow in human—computer interaction. *The Journal of Psychology*, 128(4):381–391.

- Ghani, J. A., Supnick, R., and Rooney, P. (1991). The experience of flow in computer-mediated and in face-to-face groups. In *Proceedings of the Twelfth International Conference on Information Systems, ICIS '91*, pages 229–237, Minneapolis, MN, USA. University of Minnesota.
- H. Roscoe, A. and A. Ellis, G. (1990). A subjective rating scale for assessing pilot workload in flight: A decade of practical use. page 60.
- Hamari, J. and Koivisto, J. (2014). Measuring flow in gamification. *Comput. Hum. Behav.*, 40(C):133–143.
- Hart, S. G. and Staveland, L. E. (1988). Development of nasa-tlx (task load index): Results of empirical and theoretical research. In Hancock, P. A. and Meshkati, N., editors, *Human Mental Workload*, volume 52 of *Advances in Psychology*, pages 139 – 183. North-Holland.
- Hassenzahl, M. (2005). *The Thing and I: Understanding the Relationship Between User and Product*, volume 3. Springer.
- Hassenzahl, M. and Tractinsky, N. (2006). User experience - a research agenda. *Behaviour Information Technology*, 25(2):91–97.
- Hook, K. (2008). Knowing, communication and experiencing through body and emotion. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 1(4):248–259.
- Jackson, S. and Csikszentmihalyi, M. (1999). *Flow in Sports*. Flow in Sports. Human Kinetics.
- Jackson, S. A. (2000). Joy, fun, and flow state in sport. pages 135–155.
- Jackson, S. A. and Marsh, H. W. (1996). Development and validation of a scale to measure optimal experience: The flow state scale. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 18(1):17–35.
- Kleinsmith, A. and Bianchi-Berthouze, N. (2013). Affective body expression perception and recognition: A survey. *IEEE Trans. Affect. Comput.*, 4(1):15–33.
- Larssen, A. T., Robertson, T., and Edwards, J. (2007). The feel dimension of technology interaction: Exploring tangibles through movement and touch. In *Proceedings of the 1st International Conference on Tangible and Embedded Interaction, TEI '07*, pages 271–278, New York, NY, USA. ACM.

- Law, L.-C., Roto, V., Hassenzahl, M., Vermeeren, A., and Kort, J. (2009). Understanding, scoping and defining user experience: A survey approach. In *Proc. CHI '09*, pages 719–728.
- Loke, L. and Robertson, T. (2009). Design representations of moving bodies for interactive, motion-sensing spaces. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, 67(4):394–410.
- Loke, L. and Robertson, T. (2013). Moving and making strange: An embodied approach to movement-based interaction design. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 20(1):7:1–7:25.
- Massimini, F. and Carli, M. (1988). *The systematic assessment of flow in daily experience*, page 266–287. Cambridge University Press.
- Microsoft (2018). Kinect for windows human interface guidelines v2.0. <https://go.microsoft.com/fwlink/p/?LinkID=403900>. En línea; 2018.
- Nakamura, J. and Csikszentmihalyi, M. (2002). *The concept of flow.*, pages 89–105. Oxford University Press,, Oxford, UK.
- Natrella, M. (2010). *NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods*. NIST/SEMATECH.
- Nijholt, A., Pasch, M., van Dijk, B., Reidsma, D., and Heylen, D. (2011). *Observations on Experience and Flow in Movement-Based Interaction*, pages 101–119. Springer London, London.
- Nijholt, A., van Dijk, B., and Reidsma, D. (2008). *Design of Experience and Flow in Movement-Based Interaction*, pages 166–175. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Novak, T. P., Hoffman, D. L., and Yung, Y.-F. (2000). Measuring the customer experience in online environments: A structural modeling approach. *Marketing Science*, 19(1):22–42.
- Pasch, M., Bianchi-Berthouze, N., van Dijk, B., and Nijholt, A. (2009). *Immersion in Movement-Based Interaction*, pages 169–180. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Project, G. (2015). *GNU PSPP for GNU/Linux (Version 0.8.5)*. MA: Free Software Foundation. Available from, Boston.
- Rhinoceros (2018). Rhinoceros 3D modelator. <https://www.rhino3d.com>. En línea; 2018.

- Rogers, Y. and Muller, H. (2006). A framework for designing sensor-based interactions to promote exploration and reflection in play. *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, 64(1):1–14.
- Romero, P. and Calvillo-Gómez, E. (2012). Effortless attention and composite challenges in movement interaction. In *Proceedings of the 26th Annual BCS Interaction Specialist Group Conference on People and Computers*, BCS-HCI '12, pages 157–164, Swinton, UK, UK. British Computer Society.
- Stepper, S. and Strack, F. (1993). Proprioceptive determinants of emotional and nonemotional feelings. pages 211–220.
- Trevino, L. K. and Webster, J. (1992). Flow in computer-mediated communication: Electronic mail and voice mail evaluation and impacts. *Communication Research*, 19(5):539–573.
- Tsang, P. and L. Velazquez, V. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics*, 39:358–81.
- Ubisoft (2018). Child of Eden. <http://child-of-eden.us.ubi.com/>. En línea; 2018.
- Watson, D. and Anna Clark, L. (1997). Measurement and mismeasurement of mood: Recurrent and emergent issues. 68:267–96.
- Webster, J., Trevino, L. K., and Ryan, L. (1993). The dimensionality and correlates of flow in human-computer interactions. *Computers in Human Behavior*, 9(4):411–426.
- Wilcoxon, F. (1945). Individual comparisons by ranking methods. *Biometrics Bulletin*, 1(6):80–83.
- Ziemke, T. (2003). What's that thing called embodiment? *Proceedings of the 25th Annual meeting of the Cognitive Science Society*.