



Universidad Central de Venezuela
Facultad de Ciencias
Escuela de Computación
Centro de Computación Gráfica
Centro de Investigación en Comunicación y Redes

Diseño e Implementación de una Aplicación para Rehabilitación de Motricidad Fina en Niños
utilizando Dispositivos Móviles Inalámbricos

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Bachiller
Dugarte Albornoz, Audel Eliseo
para optar al título de
Licenciado en Computación

Tutores: Villapol, María Elena
Hernández, Walter

<Caracas, 12 / 09 / 2014>
Universidad Central de Venezuela

Facultad de Ciencias
Escuela de Computación
Centro de Investigación en Comunicación y Redes (CICORE)
Laboratorio de Redes Móviles e Inalámbricas (ICARO)
Centro de Computación Gráfica



Acta del veredicto

Quienes suscriben, Miembros del Jurado designado por el Consejo de la Escuela de Computación para examinar el Trabajo Especial de Grado, presentado por el Bachiller Audel Eliseo Dugarte Albornoz C.I.: 18810451, con el título “Diseño e Implementación de una Aplicación para Rehabilitación de Motricidad Fina en Niños utilizando Dispositivos Móviles Inalámbricos”, a los fines de cumplir con el requisito legal para optar al título de Licenciado en Computación, dejan constancia de lo siguiente:

Leído el trabajo por cada uno de los Miembros del Jurado, se fijó el día 18 de septiembre, a las 10:00 a.m., para que su autor lo defendiera en forma pública, en el Centro de Computación Gráfica, lo cual este realizó mediante una exposición oral de su contenido, y luego respondió satisfactoriamente a las preguntas que les fueron formuladas por el Jurado, todo ello conforme a lo dispuesto en la Ley de Universidades y demás normativas vigentes de la Universidad Central de Venezuela. Finalizada la defensa pública del Trabajo Especial de Grado, el jurado decidió aprobarlo.

En fe de lo cual se levanta la presente acta, en Caracas el 18 de septiembre de 2014, dejándose también constancia de que actuó como Coordinador del Jurado el Profesor Tutor Walter Hernández.

Prof. Walter Hernández (Tutor)

Esmitt Ramírez
(Jurado Principal)

David Pérez
(Jurado Principal)

Profa. María Villapol (Tutor)

Agradecimientos

Agradezco a mi familia por siempre estar apoyándome y motivándome. A mis tutores María Villapol y Walter Hernández por ser quienes me han guiado en la realización de este trabajo. A mis amigos Irena Cabanach, Freddy Istvan, Víctor Felipe, Fernando Álvarez, Anabel Alves, Mercedes Rodríguez, Milagros Gómez y Francisco Lugo porque sé que estoy acá gracias a ustedes. Un agradecimiento especial al profesor David Pérez porque siempre tuvo un momento para escuchar y ayudarme con mis dudas. A los desarrolladores y comunidad de StackOverflow porque en más de una ocasión ayudaron con el desarrollo del proyecto y a todos los compañeros y colegas que han estado a lo largo de la carrera conmigo y de quienes también he aprendido.

Resumen

Título:

Diseño e Implementación de una Aplicación para Rehabilitación de Motricidad Fina en Niños utilizando Dispositivos Móviles Inalámbricos

Autor:

Audel Eliseo Dugarte Albornoz

Tutores:

Walter Hernández

María Elena Villapol

Las terapias de rehabilitación son herramientas médicas empleadas para el re-entrenamiento de personas que han sufrido lesiones o alguna enfermedad o condición que afecta su funcionamiento motor y/o neurológico. Recientemente las terapias de rehabilitación han tomado un enfoque tecnológico en el cual se emplean videojuegos y dispositivos de entretenimiento como medios de apoyo y sustitución de terapias físicas tradicionales. Esta tendencia viene dada por su impacto terapéutico y motivacional lo cual hace atractivo su uso en las terapias de rehabilitación, en particular con niños, debido a que estos son más susceptibles a los efectos de las terapias tradicionales. En este trabajo se presenta una solución basada en dispositivos móviles tipo tableta orientado a la rehabilitación de motricidad fina en niños. La solución se fundamenta en un conjunto de videojuegos que inducen actividades físicas particulares, y a la provisión de cambios neuronales y cognitivos mediante el empleo de la acción/observación. Además, se procura la captura de la atención del paciente empleando contenido dinámico y entretenido de forma interactiva. El sistema fue desarrollado para ser utilizado en el Hospital de Niños J.M. De Los Ríos, Caracas.

Palabras Clave:

Rehabilitación; Motricidad Fina; Juegos Serios; Dispositivos Móviles

Índice General

Índice General	5
Índice de Figuras.....	7
Índice de Tablas.....	8
Capítulo 1. Introducción.....	9
1.1. Problema y Motivación	10
1.2. Objetivo General	10
1.3. Objetivos Específicos	10
1.4. Justificación	10
Capítulo 2. Marco Teórico	11
2.1. Enfermedades y Condiciones que Afectan la Motricidad Fina.....	11
2.1.1. Definiciones	11
2.1.1.1. Motricidad	11
2.1.1.2. Tipos de Motricidad	11
2.1.2. Algunas Causas Conocidas para Discapacidades Motrices	12
2.1.2.1. Parálisis Cerebral	13
2.1.2.2. Accidente Cerebro Vascular, Apoplejía	15
2.1.2.3. Síndrome de Alcohol Fetal	16
2.1.2.4. Esclerosis Múltiple.....	18
2.1.2.5. Artritis	20
2.1.2.6. Otras Causas de Discapacidad Motriz.....	22
2.2. Dispositivos Móviles y Terapias de Rehabilitación	23
2.2.1. Características y Tecnologías en Dispositivos Móviles.....	23
2.2.1.1. Pantalla Táctil de Alta Definición.....	24
2.2.1.2. Sensores del Dispositivo Móvil	25
2.2.1.3. Capacidad de Procesamiento y Gráficos	25
2.2.1.4. Comunicaciones Inalámbricas	26
2.2.2. Juegos Serios de Rehabilitación en Dispositivos Móviles	28
Capítulo 3. Diseño de la Solución	34
3.1. Enfoque General.....	34
3.2. Metodología	34
3.3. Hardware	34
3.4. Software.....	34
3.4.1. Librerías y APIs para el Desarrollo	35
3.5. Solución Propuesta	36
3.5.1. Arquitectura de Hardware	36
3.5.2. Arquitectura de Software	36
Capítulo 4. Implementación de la Solución	40
4.1. Implementación de los Juegos	40
4.1.1. Implementación del Juego Armar Figuras	40
4.1.2. Implementación del Juego La Fábrica	42
4.1.3. Implementación del Juego Vestir al Personaje.....	43
4.1.4. Implementación del Juego Pintar y Rellenar Figuras	44
4.2. Implementación del Servidor y Módulo para PC de Escritorio	45
4.2.1. Implementación de la Aplicación de Escritorio para Personal Médico	45
4.2.2. Implementación de los módulos de conexiones inalámbricas <i>Bluetooth</i> y <i>Wi-Fi</i>	46
4.2.3. Implementación de la Gestión Local de Datos	47
Capítulo 5. Pruebas, Resultados y Análisis	48
5.1. Pruebas de Funcionamiento y Rendimiento.....	48
5.1.1. Consumo de Memoria (<i>Heap</i>).....	48
5.1.2. Uso de la CPU	52

5.1.3. Cuadros por Segundo (FPS).....	55
5.2. Pruebas Iniciales con Niños	56
5.3. Usabilidad y Funcionalidad	59
Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones	61
Referencias	62

Índice de Figuras

Fig. 1. Tipos de apoplejías (tomado de Heart and Stroke Foundation of Canada [14]).	16
Fig. 2. Causas de la esclerosis múltiple (tomado de Adam Medical Encyclopedia [26]).	19
Fig. 3. Diagrama del Plexo Braquial (tomado de Medicalook [37]).	23
Fig. 4. Ejemplos de SoC Tegra 2 (izquierda) y PowerVR SGX 5XT (derecha) (tomado de [39]).	26
Fig. 5. Funcionamiento de 802.11 en capas física y MAC (tomado de [41]).	27
Fig. 6. Arquitectura <i>Bluetooth</i> .	28
Fig. 7. Aplicación del proyecto <i>Injini</i> en uso (tomado de <i>Project Injini Archives</i> [47]).	29
Fig. 8. Aplicación <i>DroidGlove</i> en modo debug mostrando información sobre aceleración y movimiento (tomado de [48]).	30
Fig. 9. Ejercicios mostrados por el dispositivo móvil (tomado de [49]).	30
Fig. 10. Captura del juego Bowling (tomado de [50]).	31
Fig. 11. Parámetros configurables (a) y estadísticas de la terapia (b) (tomado de [52]).	32
Fig. 12. Arquitectura del sistema (tomada de [54]).	33
Fig. 13. Arquitectura de Hardware de la solución propuesta.	36
Fig. 14. Arquitectura de Software.	37
Fig. 15. Uso de interfaz para comunicar la aplicación con el API de <i>Android</i> .	38
Fig. 16. Diagrama de secuencia del protocolo.	39
Fig. 17. Arquitectura de Software para el computador.	39
Fig. 18. Captura de pantalla del juego Armar Figura.	41
Fig. 19. Ilustración de la detección de <i>pinza digital</i> .	41
Fig. 20. Captura de pantalla del juego La Fábrica.	42
Fig. 21. Captura de pantalla del juego Viste al Personaje.	43
Fig. 22. Captura de pantalla del juego Pintar y Rellenar Figuras.	44
Fig. 23. Captura de pantalla de la aplicación de escritorio.	45
Fig. 24. Gráfico ilustrativo del consumo de memoria asignada en juego Armar Figura.	49
Fig. 25. Gráfico ilustrativo del consumo de memoria asignada en juego Viste al Personaje.	49
Fig. 26. Gráfico ilustrativo del consumo de memoria asignada en juego La Fábrica.	50
Fig. 27. Gráfico ilustrativo del consumo de memoria asignada en juego Pintar y Rellenar Figuras.	51
Fig. 28. Gráfica comparativa del consumo de memoria asignada en MB de los juegos.	51
Fig. 29. Gráfica comparativa del porcentaje de consumo de memoria asignada usado por cada juego.	52
Fig. 30. Gráfica comparativa del porcentaje de uso de la CPU por cada juego.	53
Fig. 31. Gráfica comparativa del uso de la CPU del juego Armar Figura. Resaltado en rojo el consumo realizado por el proceso en espacio de Usuario y Kernel.	53
Fig. 32. Gráfica comparativa del uso de la CPU del juego Viste al Personaje. Resaltado en rojo el consumo realizado por el proceso en espacio de Usuario y Kernel.	54
Fig. 33. Gráfica comparativa del uso de la CPU del juego La Fábrica. Resaltado en rojo el consumo realizado por el proceso en espacio de Usuario y Kernel.	54
Fig. 34. Gráfica comparativa de la uso del CPU del juego Pintar y Rellenar Figuras. Resaltado en rojo el consumo realizado por el proceso en espacio de Usuario y Kernel.	55
Fig. 35. Gráfica comparativa de CPS por cada juego.	56
Fig. 36. Niño realizando <i>pinza digital</i> en el juego Armar Figura.	57
Fig. 37. Comparación de tiempos de jugo en Armar Figura: a) niño con más sesiones por semana, b) niño con menos sesiones por semana.	57
Fig. 38. Comparación entre tiempos del juego Armar Figura en el mes 2013-06: a) niño con más sesiones por semana y b) niño con menos sesiones por semana.	58
Fig. 39. Comparación de separación de dedos en Armar Figura: a) niño con mayor número de sesiones, b) niño con menor número de sesiones.	59

Índice de Tablas

Tabla 1. Datos del consumo de memoria asignada en juego Armar Figura.....	48
Tabla 2. Datos del consumo de memoria en juego Viste al Personaje.....	49
Tabla 3. Datos del consumo de memoria asignada en juego La Fábrica.....	50
Tabla 4. Datos del consumo de memoria asignada en juego Pintar y Rellenar Figuras.....	50
Tabla 5. Comparación de porcentaje de uso del CPU por cada juego.	52
Tabla 6. Comparación de CPS de los Juegos.	56
Tabla 7. Evaluación de heurísticas de usabilidad.	60

Capítulo 1. Introducción

En el año 2011 la Organización Mundial de la Salud (OMS) estimó que más de 1.000 millones de personas en el mundo experimentan algún tipo de discapacidad [1]. En Latinoamérica más del 25% de la población con discapacidades son niños y adolescentes, y sólo del 2% a 3% de esta población tiene acceso a los programas y servicios de rehabilitación [2].

Son muchas las formas de expresión, alcances y consecuencias que acarrear las discapacidades. Así, una parte de la población afectada evidencia distintos tipos de déficits sensitivos, cognitivos y motores. Particularmente, en los déficits motores existen diversos tipos de discapacidad que afectan a distintas partes del cuerpo, con distintos grados de severidad.

La rehabilitación es el conjunto de medidas sociales, educativas y profesionales que concierne el diagnóstico, evaluación, prevención y tratamiento de la incapacidad, encaminadas a facilitar, mantener o devolver el mayor grado de capacidad funcional e independencia posible y de este modo permitir al individuo incorporarse de nuevo a la sociedad.

El avance de la tecnología ha permitido el desarrollo de procedimientos que permiten explorar la actividad cerebral durante las terapias de rehabilitación donde la actividad cerebral constituye un factor de vital importancia en la rehabilitación motora. Recientemente, una vertiente de estudios se ha orientado a tratar distintas metodologías de reentrenamiento tomando en cuenta este aspecto, con el fin de determinar las técnicas más efectivas y eficientes. En particular se ha visto un desarrollo dentro de los denominados *juegos serios* para la salud que se enfocan en las terapias de rehabilitación, generando investigaciones, aplicaciones y sistemas que ayudan en esta rama de la medicina.

Es parte del desarrollo de estos juegos explotar nuevas tecnologías y dispositivos con el fin de generar una experiencia interactiva que permita al usuario realizar una terapia de rehabilitación y al mismo tiempo distraerse de la monotonía y cansancio que generan muchos de los ejercicios involucrados.

En el constante desarrollo e innovación de estas terapias se han empleado diferentes dispositivos tanto los creados como medios de entretenimiento, llámese consolas de videojuegos, como los creados por el equipo de terapia o investigación. Pero lo que tienen en común es que emplean características o tecnologías de dichos aparatos para lograr mayor inmersión del paciente durante los ejercicios y terapias de rehabilitación.

Aún cuando hay estudios y trabajos donde se emplean videojuegos y dispositivos móviles para terapias de rehabilitación, este enfoque se encuentra en sus comienzos y requiere mucho más desarrollo, en particular en Venezuela, hasta la fecha no se conoce ningún otro trabajo que emplee las tecnologías mencionadas para la terapia de rehabilitación lo que presenta una oportunidad interesante para innovar en el país.

La terapia de rehabilitación en niños con motricidad fina reducida es una oportunidad para que estos infantes logren en un futuro una vida sin limitaciones y puedan incorporarse a la sociedad. Dentro de esta idea se busca brindar una herramienta novedosa a la terapia de rehabilitación y se toma la oportunidad para investigar su factibilidad como apoyo en el caso particular de los niños.

Este trabajo está enmarcado en el proyecto multidisciplinario *Therapie* [3], el cual busca la rehabilitación de niños con problemas de motricidad fina a través de videojuegos y tecnologías emergentes, en conjunto con el Hospital de Niños J.M. De Los Ríos de Caracas cuyos expertos en el área de Rehabilitación y Medicina Física ajustan los requerimientos del sistema para su uso clínico por parte de pacientes en edades comprendidas entre 6 y 10 años.

1.1. Problema y Motivación

Las terapias de rehabilitación suelen consistir en la repetición de ejercicios lo cual puede ser tedioso e incomodo, y puede causar que no se complete cada ejercicio a cabalidad. En el caso de los niños es más complicado pues estos suelen requerir motivación y trabajo adicional para lograr terapias efectivas. Por otro lado se han encontrado pocos trabajos y proyectos que emplean videojuegos (catalogados como juegos serios) en dispositivos móviles como herramientas para terapias de rehabilitación en niños. Por estas razones no se conoce a profundidad la capacidad y trascendencia de emplear videojuegos en los dispositivos móviles para apoyar las terapias físicas tradicionales.

1.2. Objetivo General

Desarrollar una aplicación para dispositivos móviles que emplee juegos serios como herramienta que permitan a los niños mejorar su motricidad fina realizar con terapia de rehabilitación.

1.3. Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar actividades interactivas de juegos serios para una aplicación de dispositivos móviles que ayude en la rehabilitación de motricidad fina.
- Desarrollar una aplicación para dispositivos móviles que contenga los juegos serios, funcionalidades para el personal médico y módulos para PC.
- Determinar los requerimientos de la aplicación para adaptar y usar la metodología de desarrollo propuesta (incremental e iterativa).
- Implementar un sistema que permita capturar y desplegar datos relevantes al médico o terapeuta tratante sobre la rehabilitación de cada paciente.
- Realizar las pruebas tanto técnicas como motivacionales con el apoyo del personal médico y terapéutico para medir beneficios en niños con discapacidades motrices.

1.4. Justificación

Una de las principales motivaciones para la realización de este trabajo es la noción y el entendimiento de que existen niños con limitaciones motrices que pueden ser tratadas con terapia. Dichas terapias pueden inclusive lograr una rehabilitación completa. También ha sido incentivado en gran parte por la investigación de diversas enfermedades y condiciones que afectan la motricidad y sus terapias respectivas. Sin embargo, dichas terapias pueden no ser tan efectivas puesto que conllevan monotonía y poca motivación. Esto puede generar en los niños cierto rechazo y desagrado por las actividades por lo cual se busca involucrar los videojuegos. En este caso se quiere usar los juegos serios como un elemento motivador que permita realizar las terapias de una manera innovadora que agrade a los niños y haga de la experiencia de la terapia algo más llevadero.

Se ha visto en los últimos años la creciente tendencia a emplear nuevas tecnologías como medios alternativos para actividades de rutina. Los dispositivos móviles como tabletas y teléfonos inteligentes con todas sus capacidades y potencial no escapan a esta realidad. Es lógico pensar que puedan ser usados como medio de entretenimiento y educación lo cual suele tener un impacto positivo sobre los niños que cada día simpatizan más y se desenvuelven mejor con la tecnología. Casos de estudio y proyectos mostrados en este trabajo demuestran que usar estos dispositivos con juegos serios es altamente beneficioso para niños aún si estos presentan alguna limitación o discapacidad.

Otra razón que justifica el desarrollo en dispositivos móviles es su ubicuidad y la posibilidad de usarse en el hogar lejos de la sala de terapia y sin la intervención directa de un médico o terapeuta. Más aún con el abaratamiento de las tecnologías es previsible que en un futuro cada hogar posea algún tipo de dispositivo móvil con las características que se consideran útiles en este trabajo. Otro factor importante de este enfoque es que los dispositivos móviles pueden almacenar datos y luego comunicar por diversos medios de transmisión cierta información. Esta información puede ser por ejemplo el desempeño de cada paciente en la terapia. Conllevando a que en última instancia permitiendo al médico hacer mejor seguimiento y definir mejores terapias y ejercicios para cada paciente de acuerdo a su desempeño individual.

Capítulo 2. Marco Teórico

En este capítulo se busca proveer de una base de conocimientos básicos relacionados tanto con la motricidad y las condiciones o enfermedades que la afectan, como de las tecnologías y dispositivos modernos que se emplean y pueden emplear para ayudar en terapias de rehabilitación.

2.1. Enfermedades y Condiciones que Afectan la Motricidad Fina

En el siguiente capítulo se da una definición y categorización de motricidad y luego se describen las enfermedades o condiciones médicas más comunes que afectan la misma, es importante destacar que listar todas las enfermedades y condiciones que puedan afectar la motricidad fina está fuera del objetivo de este trabajo, sin embargo en el capítulo siguiente se busca dar a entender que existen variedad de causas tanto tratables como no tratables que pueden afectar a los pacientes y que las terapias de rehabilitación se deben adaptar a estas para lograr los mejores resultados.

2.1.1. Definiciones

Es importante tener la definición de algunos términos que se emplean a lo largo del trabajo, en particular si se trata de términos del área médica. A continuación se presentan una serie de definiciones necesarias para entender con mayor profundidad este trabajo y cualquiera relacionado.

2.1.1.1. Motricidad

La motricidad puede ser definida como el conjunto de funciones físicas coordinadas del cuerpo que se emplean para lograr un objetivo motor. De manera similar se define la coordinación motriz como conjunto de capacidades que organizan y regulan de forma precisa todos los procesos parciales de un acto motor en función de un objetivo motor previamente establecido. Dicha organización se ha de enfocar como un ajuste entre todas las fuerzas producidas, tanto internas como externas, considerando todos los grados de libertad del aparato motor y los cambios existentes de la situación [4].

En el mismo ámbito se entiende como habilidad motriz al grado de competencia a nivel físico de un sujeto frente a un objetivo determinado y dentro de lo cual se entiende además la destreza motriz como la capacidad de dicho individuo para ser eficiente en una habilidad determinada [5]. Expresado de otro modo, la habilidad motriz es la capacidad de utilizar la coordinación o motricidad que tiene un individuo para realizar una tarea y la destreza motriz es la eficiencia con que hace uso de esta capacidad.

Es importante además hacer una diferenciación entre motricidad y movimiento, pues la primera se entiende como la realización de acciones motiles con fin objetual, por lo que se tiene que el movimiento sumado a una expresión significada o intencional da como resultado la acción. En esta línea de ideas se propone la creación del adjetivo “motríceo/a” para referirse a la motricidad humana y poder diferenciarla del movimiento cuyo adjetivo es “motriz” [6]. Sin embargo y por simplicidad se seguirá usando el término motriz aun cuando exista esta diferencia lingüística.

El término motricidad es bastante general pues contempla funciones, capacidades y habilidades medidas por el nivel de destreza que permiten al ser humano realizar sus actividades cotidianas, es por este motivo que cuando la motricidad se ve reducida o limitada por alguna situación o afección se torna de gran importancia tratar la condición y recuperar a la brevedad posible las capacidades que permiten tener motricidad, pues el estilo de vida y actividades del paciente pueden verse afectados gravemente.

La rehabilitación en su definición más básica dentro de la medicina es un conjunto de actividades que se realizan con el objetivo de recuperar alguna habilidad o funcionalidad perdida (permitiendo la integración del individuo a la sociedad). De interés particular es la rehabilitación física que busca restaurar las destrezas y capacidades físicas que debe tener una persona para llevar el día a día de manera normal.

2.1.1.2. Tipos de Motricidad

Tanto si se le llama *motricidad*, *psicomotricidad* o *habilidades motrices*, en esencia se busca nombrar la habilidad ya descrita, por ende en este trabajo se denominará Motricidad por simplicidad, una parte fundamental que se debe manejar es su clasificación y que esto permita facilitar el estudio de su desarrollo normal y de las afecciones que

puedan afectarle así como de los métodos de rehabilitación que se deben emplear en cada uno de los casos, por esto se divide primariamente en *motricidad gruesa* y *motricidad fina*, cada una con sus características y elementos particulares.

Motricidad Gruesa

Es el control que se tiene sobre el propio cuerpo, los movimientos globales y amplios. Se refiere a las acciones realizadas con la totalidad del cuerpo, coordinando el desplazamiento y movimiento de las diferentes extremidades, equilibrio, los sentidos, correr, caminar, rodar, saltar, girar, expresión corporal, entre otras.

Dentro de este nivel de la Motricidad se distinguen dos dominios que coexisten para dar forma a la motricidad gruesa, estos son catalogados como *corporal estático* y *corporal dinámico* llamados de esta manera por el nivel de actividad física que realiza el cuerpo durante las actividades que definen dichos dominios [7].

En el Dominio Corporal Dinámico se tienen las capacidades de mover distintas partes del cuerpo, sincronizando movimientos y realizando desplazamientos. Los elementos básicos que componen esto son la coordinación general del cuerpo, el equilibrio y capacidades para seguir ritmos.

En el dominio Corporal Estático se tratan actividades motrices menos notorias pero igualmente de alta importancia, entre estas se tienen la respiración y el equilibrio junto con la tonicidad o control muscular y el control necesario para poder dar un buen uso a la tonicidad.

Motricidad Fina

La *motricidad fina* se corresponde a la coordinación de actividades físicas que implican el uso de movimientos de mayor precisión que son requeridos especialmente en tareas donde se utilizan de manera simultánea el ojo, mano, dedos como por ejemplo: rasgar, cortar, pintar, colorear, enhebrar, escribir [8].

Las actividades prevalecientes para referir la motricidad fina son la coordinación viso-manual y el dominio de la mano, la fonética pues para poder hacer uso del lenguaje oral se requieren una serie de aspectos funcionales y coordinación de los órganos vocales, motricidad gestual pues es necesario hacer uso de la mano y los elementos que la componen, motricidad facial la cual depende del dominio de los músculos faciales para expresar y exteriorizar pensamientos y sentimientos [7].

De esta manera se puede entender a la motricidad fina como una refinación de la motricidad gruesa que permite realizar acciones más precisas o delicadas y por tanto se entiende además como una maduración del sistema neurológico y cognitivo. Como destaca Agurre Zabaleta [9] “El control requiere conocimiento y planificación para la ejecución de una tarea, al igual que equilibrio en las fuerzas musculares, coordinación y sensibilidad natural”.

En este sentido Agurre Zabaleta [9] sugiere que para el desarrollo de la motricidad fina los niños deben desarrollar actividades como: coger, examinar, lanzar, vestirse, desvestirse, comer, asearse, trabajo o modelado con arcilla, pintar, trazar, dibujar, escribir, tocar instrumentos musicales, trabajar con herramientas, apretar, coser, jugar canicas, bailar, danzar, entre otras.

Es por lo anteriormente expuesto que se manifiesta la importancia que tiene la motricidad fina para el desarrollo personal e interpersonal de los individuos y porqué es fundamental para la adquisición de habilidades como la escritura que se consideran básicas para un niño en su crecimiento y posterior aprendizaje que le permitan una correcta adaptación a la vida adulta.

2.1.2. Algunas Causas Conocidas para Discapacidades Motrices

Habiendo definido ya la motricidad humana y teniendo en cuenta que se divide en gruesa y fina, se debe pasar a exponer algunas de las causas que generan discapacidad o deficiencias motrices, para poder establecer métodos de rehabilitación o tratamientos que permitan recuperar las capacidades perdidas. Es importante acotar que las causas presentadas a continuación son sólo expuestas con la intención de demostrar que hay gran variedad de condiciones, enfermedades o inclusive lesiones que pueden acarrear algún tipo de discapacidad motriz.

2.1.2.1. Parálisis Cerebral

Según está definido en [10] la parálisis cerebral es una discapacidad física que afecta el desarrollo del movimiento. Esta discapacidad puede variar considerablemente y no hay dos personas con parálisis cerebral que estén afectadas de la misma manera. Los problemas, como la discriminación, que sufren tanto niños como adultos con parálisis cerebral suelen ser similares.

La parálisis cerebral es la discapacidad física más común en los niños. Los niños con discapacidad física suelen sobrevivir hasta la adultez, y esa condición es a menudo poco entendida. Recientes avances en el entendimiento de la parálisis cerebral incluyen nuevas maneras de pensar acerca de las discapacidades; reconocimiento de causas (*causal pathways*); y mejoras en las mediciones, clasificaciones, y diagnósticos. Entre los retos se incluyen asegurar el bienestar de las familias y los niños; disminuir los problemas que afrontaran en su vida; y la necesidad continua de asistencia primaria, secundaria y terciaria.

También es definida en [11] como un conjunto de desordenes que involucran al cerebro y las funciones del sistema nervioso como movimiento, aprendizaje, escucha, vista, y pensamiento. Es causado por heridas o anomalías en el cerebro y en la mayoría de los casos durante el crecimiento del bebé en el vientre, pero también puede suceder durante los dos primeros años de vida cuando el cerebro del niño se desarrolla.

Es importante saber que la parálisis cerebral es un término paraguas que cubre otra serie de síntomas, también es usado cuando se cumplen un conjunto de descripciones médicas, pero no existe una prueba definitiva para diagnosticarla por lo cual si los síntomas médicos desaparecen o la lesión cerebral es progresiva, el diagnóstico médico es revisado y posiblemente cambiado.

Las definiciones de parálisis cerebral suelen ser simples pues el término al ser una descripción envuelve varias condiciones neurológicas, sin embargo esto puede resultar en falta de precisión al ser diagnosticada por varios médicos, sin embargo las imprecisiones se pueden disminuir si un grupo de médicos que tratan pacientes con parálisis cerebral sostienen reuniones periódicas para discutir los casos individuales [12].

Causas, Incidencias y Factores de Riesgo:

En algunos casos la parálisis cerebral se da por falta de oxígeno en partes del cerebro (hipoxia), los infantes prematuros poseen una probabilidad un poco más alta de desarrollar parálisis cerebral. También se puede desarrollar en los primeros años de la infancia por causas como: sangrado cerebral, infecciones en el cerebro (encefalitis, meningitis, herpes), heridas en la cabeza, infecciones de la madre durante el embarazo (rubeola), altos niveles de bilirrubina en la sangre (“piel amarillenta” de recién nacido), aunque en algunos casos la causa de la parálisis cerebral no se puede determinar.

Síntomas:

Los síntomas pueden variar entre individuos desde casos leves hasta los más severos, pudiendo afectar un lado del cuerpo o el cuerpo completo o ser más prominente en las piernas, brazos o en ambos. Por lo general incluyen:

- músculos muy tensos y no se estiran
- anomalías al caminar, rodillas cruzadas o tocándose, caminar sobre los dedos
- articulaciones tensas y no abren completamente

Algunos síntomas que pueden presentarse son:

- movimientos anormales en las manos, pies, piernas, brazos mientras se está despierto
- temblores
- marcha o andar inestable
- pérdida de coordinación
- músculos blandos o caídos y articulaciones que se mueven demasiado

Algunos síntomas presentes en el sistema nervioso:

- inteligencia disminuida o problemas de aprendizaje

- problemas al hablar
- convulsiones

Síntomas en el sistema digestivo o al comer:

- dificultad chupando o alimentándose, problemas para masticar y tragar
- vómitos y constipación

Otros síntomas:

- babeo excesivo
- respiración irregular
- incontinencia urinaria
- crecimiento más lento de lo normal

Clasificaciones de Parálisis Cerebral:

La parálisis cerebral se puede tiende a clasificar basada en el tipo, la topografía o región del cuero y la severidad de la discapacidad motriz, sin embargo las descripciones que generen el sistema de clasificación deben ser lo suficientemente genéricas como para ser usadas en distintos pacientes quienes pueden padecer de diversos tipos de parálisis cerebral con diferentes condiciones particulares.

Tipos de Lesiones:

- Espástica: es la discapacidad motriz más común, se caracteriza por el control anormal de los músculos en las extremidades voluntarias en asociación con un reflejo Babinski que perdura positivamente (indicando lesión del tracto piramidal), reflejos exagerados y en ciertos casos tono troncal reducido.
- Discinesia/Disquinesia (Dyskinesia): la cual es comúnmente encontrada con la espasticidad, se refiere a los movimientos involuntarios, los cuales pueden ser rígidos, torcidos o en algunos casos entrecortados.
- Ataxia: es la falta de coordinación voluntaria de los movimientos musculares o para movimientos voluntarios tales como caminar o alimentarse, aunque generalmente se trata como una condición particular.
- Hipotonía: es la presencia de poco tono muscular lo que suele resultar en poca fuerza muscular es una muestra de problemas en el sistema nervioso así como otros tipos de desórdenes.

Otra de los aspectos para clasificar el tipo de parálisis cerebral es el área o las extremidades que se ven afectadas, cuando se presenta espasticidad es muy común encontrar su distribución en cuatro áreas principales, por lo que se tiene esta clasificación.

Topografía o Extremidades Afectadas:

- Cuadruplejía (Quadriplegia): denota que todas las extremidades están afectadas y que por lo general los brazos están afectadas en igual o peor estado que las piernas, también se le conoce como tetraplejía (tetraplegia) o doble hemiplejía, aunque ésta última denota asimetría lateral.
- Diplejía (Diplegia): se usa para describir lesiones que afectan más a las extremidades inferiores que a las superiores, algunos médicos hacen la distinción entre paraplejía y diplejía I donde las extremidades superiores no están afectados o sólo de manera mínima; y diplejía II donde las extremidades superiores si se encuentran afectadas de manera notable, en cualquier caso se suelen agrupar como diplejía.
- Hemiplejía (Hemiplegia): implica que uno de los lados del cuerpo se encuentra afectado, presentando mayor severidad en las extremidades superiores, la hemiplejía derecha se refiere al lado derecho y de manera análoga la hemiplejía izquierda implica que el lado izquierdo está afectado.
- Otras distribuciones menos comunes se pueden encontrar como monoplejía o triplejía.

Tratamiento para la Parálisis Cerebral:

Esta condición no tiene cura alguna y el objetivo de cualquier tratamiento debe estar enfocado en lograr que la persona sea lo más independiente que se pueda, debe tener un grupo de especialistas como médico principal, dentista, terapeuta, enfermera, entre otros que asistan en la atención de la persona. Dependiendo de los síntomas y la severidad de los mismos es posible que los niños vayan a escuela regular y que a través de tratamiento de rehabilitación, terapia física u ortopédica sean capaces de realizar actividades básicas del día a día.

La terapia y la rehabilitación es una de las principales actividades que debe desarrollar cualquier niño que sufra de parálisis cerebral pues permite disminuir los niveles de discapacidad al ayudar a desarrollar habilidades básicas. En particular cuando se evalúan las habilidades funcionales de situaciones diarias se tiene que los niños que realizar terapia física funcional presentan mejoras que se ven reflejadas en sus capacidades motrices gruesas y finas relacionadas a las actividades diarias, en general la aplicación de terapia física funcional tiene efectos positivos tanto en la capacidad de los niños como en su rendimiento e independencia para el día a día [13].

2.1.2.2. Accidente Cerebro Vascular, Apoplejía

Según lo define la Organización Mundial de la Salud en [30] La apoplejía es una discapacidad neurológica focal (o en algunos casos global) de comienzo súbito y de duración de más de 24 horas (o que conlleve a la muerte), y de origen posiblemente vascular. Se puede clasificar en 3 tipos y cada uno de estos presenta su propia causa para el accidente.

De esta manera se entiende que una apoplejía o Accidente Cerebro Vascular es el cese súbito del flujo de sangre al cerebro lo cual provoca que las células comiencen a morir por falta de oxígeno a los pocos minutos. Si las células cerebrales mueren o se dañan, se presentan síntomas en pares del cuerpo controladas por el cerebro [31]. El daño de la apoplejía en el cerebro puede afectar el cuerpo entero resultando en discapacidades que pueden ir de leve a severa esto incluye problemas de parálisis y de pensamiento, problemas con el habla y problemas emocionales [32].

Tipos de Apoplejías:

Dependiendo de la causa que genere la interrupción del flujo sanguíneo al cerebro, se puede apreciar con la ilustración en la Fig. 1, o zonas del mismo se pueden categorizar los tipos de apoplejías o accidentes cerebro vasculares, principalmente se tienen dos causas: la oclusión de una arteria o una hemorragia. De estos se presentan a continuación los tres subgrupos más grandes de apoplejías:

- Apoplejía Isquémica (Ischemic Stroke): repentina oclusión de una arteria que surte al cerebro por un trombo (coagulo de sangre) que puede formarse:
 - Directamente en el sitio de la oclusión lo que genera una **apoplejía isquémica trombotica** (thrombotic ischemic stroke).
 - En alguna parte del cuerpo y seguir por el sistema circulatorio hasta obstruir una arteria cerebral generando una **apoplejía embolica isquémica** (embolic ischemic stroke).
- Hemorragia intracerebral: sangrado de una de las arterias del cerebro en (dentro) el tejido cerebral
- Hemorragia subaracnoidea: sangrado arterial que sucede en el espacio entre las dos meninges, pía mater y la aracnoidea, generando típicamente severos dolores de cabeza y pérdida de la conciencia.

Generalmente estos tipos de apoplejías se determinan a través de escaneos o imágenes digitales neurológicas, aunque la hemorragia subaracnoidea también se puede detectar con una punción lumbar.

Causas:

Las apoplejías son afecciones multifactoriales donde la combinación de varios factores de riesgo, de los cuales no todos deben estar presentes, conlleva con el tiempo a influenciar la disposición a sufrir de un ataque.

Los factores de riesgo más conocidos:

- Modificables: o Presión arterial elevada
 - Uso del tabaco
 - Poca actividad física
 - Poca consumo de frutas y vegetales
 - Alto consumo de alcohol
 - Sobrepeso
 - Diabetes
- Ambientales: o Fumadores pasivos
 - Acceso a tratamiento médico

- No modificables: o Edad
 - Sexo (los hombres de edad avanzada suelen ser más propensos en ciertos países)
 - Historial familiar o genética
 - Raza (los afro descendientes suelen ser más propensos a sufrir ataques)

Síntomas:

Los síntomas de las apoplejías dependen de cuál área del cerebro se vea afectada, en algunos casos la persona no sabe que está sufriendo una apoplejía. Los síntomas generalmente se desarrollan de manera repentina y sin advertencia, o pueden ser intermitentes los primeros dos días, generalmente son más severos cuando ocurre inicialmente la apoplejía pero paulatinamente van empeorando [15].

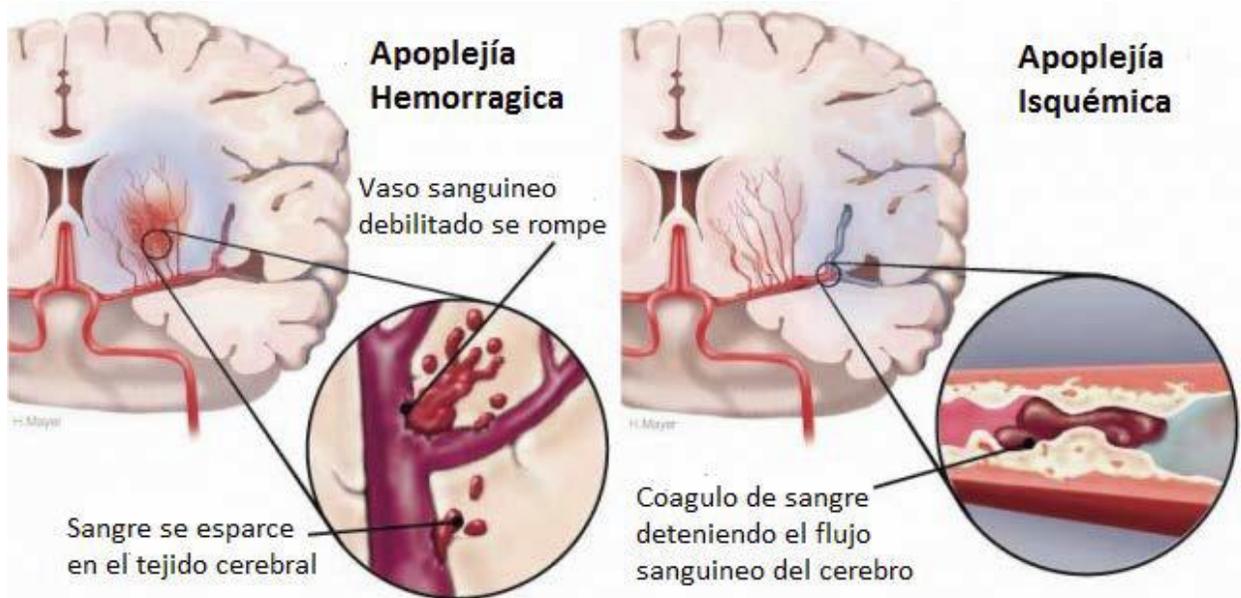


Fig. 1. Tipos de apoplejías (tomado de Heart and Stroke Foundation of Canada [14]).

2.1.2.3. Síndrome de Alcohol Fetal

Es una condición médica descrita dentro de los Desórdenes del Espectro de Alcohol fetal (Fetal Alcohol Spectrum Disorder) que se genera por el consumo de alcohol de la madre durante el embarazo lo cual genera una serie de problemas físicos y psicológicos así como deficiencias intelectuales que pueden llegar a afectar la vida adulta de quien lo padece.

Según es definido en [16] el síndrome de alcohol fetal se representa por un patrón específico de hallazgos asociados con la exposición al alcohol en el útero. Estas incluyen deficiencias de crecimiento pre y posnatales, anomalías faciales menores (fisuras palpebrales cortas, ptosis, cara plana, filium delgado, labio superior delgado), y hallazgos del crecimiento neurológico en el sistema nervioso central (microcefalia o cráneo pequeño, agnosia del cuerpo calloso, temblores, hiperactividad, problemas de aprendizaje, deficiencias cognitivas). Los infantes expuestos al alcohol en el útero pueden además presentar malformaciones mayores, incluyendo defectos cardiacos, fisuras en el labio, fisuras en el paladar, y deformidades que reducen las extremidades.

De manera análoga en [17] exponen que el término Síndrome de Alcohol Fetal se refiere a una constelación de anomalías físicas, cognitivas y de comportamiento. Sumado a las características deformaciones faciales, anomalías en el crecimiento prenatal y posnatal, y el retardo mental que definen la condición, aproximadamente 80% de los niños con el síndrome presentan microcefalia y anomalías en el comportamiento, cerca del 50% de los afectados exhiben coordinación pobre, hipotonía, déficit de atención, desordenes de hiperactividad, tejido adiposo reducido y anomalías faciales reconocibles, como hipoplasia maxilar. Defectos cardiacos, hemangiomas, y anomalías en los ojos y orejas suelen ser comunes.

Causas:

El uso y abuso del alcohol en general conlleva ciertos riesgos, sin embargo consumir alcohol aún en pequeñas cantidades cuando la mujer se encuentra embarazada representa alto riesgo para el feto pues el alcohol pasa fácilmente a través de la placenta poniendo en riesgo el normal desarrollo del bebé. Una mujer embarazada que consume cualquier cantidad de alcohol se pone en riesgo de tener un bebé con síndrome de alcohol fetal. No se ha establecido un nivel “seguro” de alcohol durante el embarazo. En caso de haber consumido alcohol es importante anotar cuando se hizo pues los riesgos parecen ser más altos durante los 3 primeros meses de embarazo, aunque su consumo en cualquier momento es peligroso [18].

Síntomas:

Por lo general las características físicas presentes en esta condición son más apreciables en los niños, sin embargo los síntomas psicológicos suelen estar presentes durante toda la vida y dependiendo de la gravedad de los mismos pueden significar características principales se encuentran:

- Poco crecimiento mientras el bebé se encuentra en el vientre
- Poca musculatura y coordinación pobre
- Desarrollo retardado
- Evidencia de un patrón de características de anomalías faciales como:
 - Labio superior plano
 - Filtro (mitad del labio superior) aplanado
 - Cara plana

- Deficiencias cardíacas
- Anomalías en el desarrollo neurológico del sistema nervioso central, como:
 - Cráneo de tamaño reducido al nacimiento
 - Anomalías estructurales en el cerebro (microcefalia, hipoplasia cerebral)
 - Habilidades motrices finas reducidas
 - Pobre coordinación mano-ojo

- Evidencia de anomalías cognitivas y patrones complejos de comportamiento:
 - Problemas de aprendizaje
 - Déficit en el rendimiento escolar
 - Poco control de los impulsos
 - Déficit específico en habilidades matemáticas o problemas de memoria y juicio

Es importante considerar el efecto la motricidad y las habilidades motrices ya que no sólo el efecto en las habilidades cognitivas más altas representa problemas para el individuo, existe un efecto en el desarrollo del sistema motor. Se ha descrito que niños cuyas madres tienen alcoholismo crónico presentaban retardo en el desarrollo motriz y disfunción en la motricidad fina.

Se ha reportado poca coordinación motriz, hemiplejía, ataxia y un incremento en la parálisis cerebral en niños. Estudios posteriores encontraron casos con desarrollo motor retrasado en niños e infantes expuesto al alcohol de forma prenatal así como disfunciones en la motricidad gruesa y fina en niños cuyas madres eran alcohólicas o bebedoras sociales. Adicionalmente se han presentado casos con ataxia axial y temblores cinéticos. Existen diversos reportes de deficiencias en precisión/velocidad motriz, velocidad del movimiento de los dedos y fuerza en el agarre [19].

Tratamiento:

Es importante destacar que no existen dos personas que presenten las mismas características y discapacidades del Síndrome de Alcohol Fetal, pues estas pueden ser físicas o psicológicas y con distintos niveles de severidad, aun así

investigaciones han revelado que intervenciones tempranas pueden mejorar el desarrollo de los niños ayudándoles a aprender habilidades importantes y pueden incluir terapias para ayudar a hablar, caminar e interactuar con otros [20].

También corresponde saber que existen terapias tanto físicas como ocupacionales desarrolladas para los niños que presentan síndrome de alcohol fetal, el objetivo de estas terapias es desarrollar o mejorar las habilidades que deben emplear en la vida cotidiana tales como: cuidado propio (vestirse, alimentarse, tareas del hogar), sensomotoras (resolución de acertijos, reconocimiento de patrones), integración sensorial (coordinación mano-ojo, habilidades motrices finas). Así mismo la terapia le permite desarrollar cualidades como: tono muscular, postura, rango de movimientos. Terapia enfocada en la motricidad gruesa le permitirá desarrollar balance y coordinación para usar con precisión las piernas y los brazos. Otros tipos de terapias le permitirán desarrollar mejores niveles de lenguaje expresivo, lenguaje receptivo y cognición [21].

2.1.2.4. Esclerosis Múltiple

La esclerosis múltiple es una enfermedad del cerebro caracterizada por afectar las células del sistema nervioso central y conllevando a una variedad de síntomas neurológicos, problemas e inclusive discapacidades a nivel cognitivo y motriz, fue descrita por primera vez en 1968 por Jean-Martin Charcot, pero sus causas siguen siendo desconocidas.

Según se expone en [22] La esclerosis múltiple es una enfermedad desmielinizante (demyelinating) inflamatoria crónica del sistema nervioso central que más comúnmente afecta a mujeres, con edades entre 20 y 40 años. El diagnóstico definitivo de la esclerosis múltiple requiere la ocurrencia de dos eventos neurológicos consistentes con la desmielinización que estén separados anatómicamente y temporalmente. Resonancias magnéticas del cerebro pueden añadir certeza al diagnóstico al identificar lesiones consistentes con la ocurrencia de desmielinización. La presencia de estas lesiones identificadas con resonancia magnética en conjunto con un síndrome aislado del nervio óptico (neuritis óptica), espina dorsal (mielitis transversa incompleta), o del tallo del cerebro o cerebelo de inicio reciente es asociada con un alto riesgo de esclerosis múltiple en su diagnóstico definitivo.

La esclerosis múltiple se caracteriza clásicamente por una serie de recaídas debido a lesiones en diversas partes del sistema nervioso central, con la mayoría de los pacientes desarrollando discapacidad progresiva en algún momento dado. Sin embargo existe un pequeño número de pacientes en quienes el curso de la enfermedad es progresivo desde el inicio y en quienes la condición tiende a involucrar predominantemente una parte del sistema nervioso central, muy a menudo la espina dorsal [23].

Causas y Factores de Riesgo:

La esclerosis múltiple es causada por un daño a la cubierta de mielina, la cobertura protectora que rodea las células nerviosas, en la Fig. 2 se puede apreciar una ilustración de esto. Cuando esta cobertura se daña las señales nerviosas se ralentizan o paran. El daño nervioso es causado por la inflamación la cual ocurre cuando las células inmunes del cuerpo atacan el sistema nervioso. Esto puede ocurrir en cualquier área del cerebro, nervio óptico o espina dorsal. Las causas exactas son desconocidas, la idea más común es que un virus o defecto genético, o ambos, son los culpables, además ciertos factores ambientales juegan un rol importante [24].

Se ha alcanzado un consenso coherente durante las últimas dos décadas con respecto a la etiología de la esclerosis múltiple: factores exógenos (incluyendo infecciosas), ambientales, o de comportamiento (estilo de vida) activan el inicio de la enfermedad en personas genéticamente susceptibles. Ni los genes por si solos ni los factores exógenos son suficientes para causar esclerosis múltiple. El escenario más probable es que en una persona genéticamente susceptible, el equilibrio entre los componentes del complejo trimolecular (moléculas complejas con histocompatibilidad mayor, receptores de células T, y antígenos propios y externos) se perturban lo suficiente para inducir un estado crónico de daño autoinmune [25].

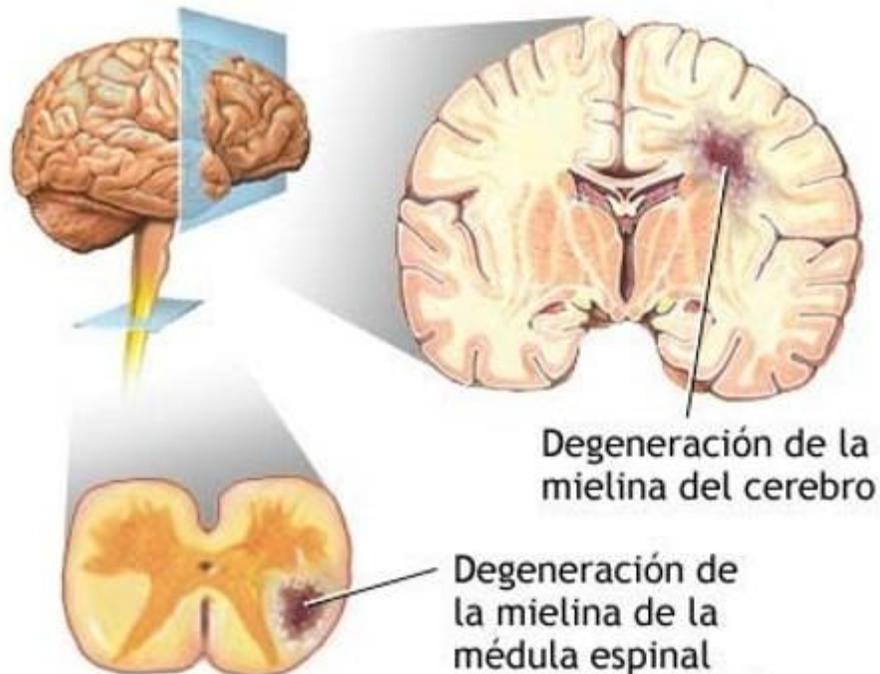


Fig. 2. Causas de la esclerosis múltiple (tomado de Adam Medical Encyclopedia [26]).

Síntomas:

Debido a que la esclerosis múltiple puede afectar diversas partes del cerebro o sistema nervioso central los síntomas pueden ser muy variados, inclusive en severidad y duración. Los episodios pueden ser cortos o durar días y desaparecer durante algún tiempo para luego reaparecer (recaídas) aunque se van haciendo sistemáticamente peores, los síntomas más comunes suelen ser:

- Musculares: o Pérdida de balance
 - Espasmos musculares
 - Entumecimiento o sensaciones anormales
 - Problemas moviendo brazos y piernas
 - Problemas para caminar
 - Problemas para coordinar movimientos precisos o pequeños
 - Temblores en uno o varios brazos y piernas
 - Debilidad en los brazos o piernas

- Intestinales o de la vejiga o Constipación
 - Ganas frecuentes de orinar

- Ojos: o Visión doble
 - Incomodidad en los ojos
 - Movimientos rápidos de los ojos incontrolables
 - Pérdida de la vista

- Otros problemas: o Dolor en la cara
 - Espasmos musculares dolorosos
 - Sensaciones de cosquilleo o quemadas en los brazos y piernas
 - Pérdida de la memoria y poca capacidad de atención
 - Dificultad para razonar y resolver problemas
 - Mareos y pérdida de balance
 - Pérdida de la audición
 - Problemas para masticar y alimentarse

Tipos de Esclerosis Múltiple:

La esclerosis múltiple se puede categorizar por los cambios en los síntomas y su frecuencia, debido a que en algunos casos pudiera inclusive pasar desapercibida o en los extremos conllevar a un súbito deterioro y discapacidad, en base a [26] y [27] se concierta la siguiente clasificación:

- Esclerosis Múltiple con Recaídas o Remisiones: se caracteriza por la súbita e imprevisible aparición (relapso/recaída) de síntomas, que inclusive pueden ser nuevos, y que luego desvanecen o desaparecen totalmente (remisión). Los relapsos pueden variar en su severidad teniendo que darse atención médica para los ataques más agudos aunque en general pueden tratarse en casa con asistencia.
- Esclerosis Múltiple Benigna: se caracteriza por no empeorar con el tiempo a pesar de haber tenido uno o dos ataques previos con recuperación completa, se identifica 10 a 15 años después del inicio de la enfermedad e inicialmente se toma como Esclerosis Múltiple con relapsos/recaídas o remisiones.
- Esclerosis Múltiple Progresiva Secundaria: es una fase que generalmente ocurre luego de la esclerosis múltiple con relapsos o remisiones y según neurólogos se caracteriza por un empeoramiento de la discapacidad independiente de los relapsos, es difícil de diagnosticar y generalmente se requiere de 6 meses continuos de progresión evidente para usar el término Progresiva Secundaria.
- Esclerosis Múltiple Progresiva Primaria: afecta a 10-15% de las personas diagnosticadas con esclerosis múltiple, se caracteriza por la gradual progresión de los síntomas desde la aparición del primero (síntoma primario), los síntomas más tempranos son problemas sutiles que se desarrollan, a menudo lentamente, con el tiempo.
- Esclerosis Múltiple Progresiva con Relapsos: se caracteriza por la aparición de relapsos agudos progresivos desde el inicio de la enfermedad, con o sin recuperación total.

Tratamiento:

No se conoce todavía una cura para la esclerosis múltiple, sin embargo existen terapias que pueden ralentizar la enfermedad y sus efectos. El objetivo de estos tratamientos es controlar los síntomas y ayudar a mantener una calidad y estilo de vida normal [28].

La terapia física no puede curar los síntomas primarios de la esclerosis múltiple (debilidad, temblores, entumecimiento, pérdida de balance, discapacidad visual, parálisis y descontrol de esfínter), pero la terapia puede ayudar a compensar los cambios que trae la esclerosis múltiple, estos “tratamientos de compensación”, como suelen ser llamados, incluyen aprender nuevas técnicas de movimiento, estrategias y equipamiento.

La terapia física es además muy útil en la disminución de síntomas secundarios de la esclerosis múltiple. Un terapeuta físico puede enseñar ejercicios para fortalecer y aflojar músculos. Muchos de estos ejercicios pueden ser realizados en el hogar. El objetivo de la terapia física es mejorar la independencia y calidad de vida al mejorar el movimiento y capacidades físicas además de ayudar a aliviar el dolor.

La terapia física puede ayudar con:

- Problemas de balance
- Falta de coordinación
- Fatiga
- Dolor
- Inmovilidad
- Debilidad

2.1.2.5. Artritis

La artritis es un desorden de las articulaciones que generalmente involucra inflamación, sin embargo el término abarca más de cien diferentes desordenes en las articulaciones que pueden ser causados por degeneración de los

huesos, trauma en la articulación, infección, entre otras. El síntoma más común que reúne este desorden es el dolor en las articulaciones lo que reduce la capacidad motriz en la zona.

Según es explicada por el Centro de Control de Enfermedades de Estados Unidos (CDC) [29] la artritis está conformada por más de cien enfermedades y condiciones reumáticas distintas, siendo la más común la osteoartritis. Otras formas comunes de artritis incluyen la artritis reumática, lupus, entre otros. Algunos tipos de artritis como el lupus o la artritis reumática pueden afectar múltiples órganos del cuerpo y generar amplios síntomas. A pesar de ser más común en adultos mayores de 65 años, personas de cualquier edad (incluidos los niños) pueden padecer verse afectados. La artritis afecta a miembros de cualquier grupo étnico o racial, sin embargo es más común en adultos obesos que en aquellos de peso normal o por debajo de éste.

Causas:

Debido a que la Artritis es una enfermedad que engloba distintas variantes en donde la causa de la inflamación generalmente permite clasificar o definir su tipo, hay ciertas causas comunes que se pueden mencionar o a las cuales dar énfasis. Como se explica en [30] la genética juega un factor primordial, a pesar de que la artritis no se hereda, las características físicas que se prestan para la aparición de artritis si son hereditarias. Por otro lado existen factores que favorecen algún tipo particular, como la ineficiencia para eliminar desperdicios corporales o algún trauma, que favorecen artritis metabólicas (osteoartritis, hipertrófica [hypertrophic] ; Las lesiones en los nervios o condiciones que generen uso y desgaste de estos suele estar ligada a la artritis atrófica (atrophic); otras causas suelen ser erosión de los huesos, cartílagos atrofiados o formación de “tejidos” que impidan el movimiento mecánico normal de las articulaciones. No se pueden dejar de lado factores de riesgo como la incidencia de la edad que conlleva menos actividad física, un estilo de vida sedentario o una dieta inadecuada pueden incrementar el riesgo de artritis [31].

La artritis generalmente involucra el rompimiento del cartílago que protege las articulaciones y permite su movimiento, además absorbe los impactos y la presión como cuando se camina, cuando no se encuentra la cantidad normal de cartílago en una articulación, los huesos colisionan y causan dolor, inflamación y rigidez.

Entre las causas más comunes se tiene:

- Enfermedades autoinmunes (lupus, etc.)
- Huesos rotos
- Desgaste general de las articulaciones
- Infección por una bacteria o virus

Síntomas:

- Los síntomas generales que se presentan con cualquier tipo de artritis son:
- Dolor en la(s) articulación(es)
- Hinchazón en la(s) articulación(es)
- Habilidad reducida para mover la articulación
- Enrojecimiento de la zona articular
- Rigidez en especial durante la mañana
- Calor alrededor de la(s) articulación(es)

Tipos:

Existe una variedad de causas para el dolor en las articulaciones lo que se traduce en una variedad de tipos de artritis, a continuación se mencionarán los más comunes:

- Osteoartritis: es el tipo más común de artritis y ocurre por el desgaste natural del cartílago que se da con el envejecimiento de las personas, por lo que suele presentarse en adultos de edad media.
- Artritis Reumática: este tipo de artritis es de causa desconocida aunque se presume que es causada por una enfermedad autoinmune en que el sistema inmunológico por error ataca y destruye los tejidos del cuerpo. Generalmente se edad en edad media y con mayor prevalencia en mujeres.

- Gota o podagra: este tipo de artritis toxica se genera por la cristalización de ácido úrico en las articulaciones puesto que el cuerpo produce demasiado o no puede desecharlo rápidamente.
- Artritis Séptica: es un tipo de artritis infecciosa que en que se produce pus en la articulación, las personas con articulaciones artificiales corren mayor riesgo de sufrir de este tipo particular de artritis
- Artritis Reumática Juvenil: éste es un tipo particular de artritis reumática que se caracteriza por presentarse en niños menores de 16 años.

Tratamiento:

Debido a que en muchos casos la causa de la artritis no se puede curar o no es conocida, los tratamientos suelen enfocarse en disminuir el dolor y recuperar las habilidades y movimientos normales de la articulación.

Parte del tratamiento debe incluir ejercicios físicos aeróbicos de bajo impacto, ejercicios para recuperar el rango de movimiento y flexibilidad, ejercicios para fortalecer el tono muscular; debe incluir terapias como masajes, acuáticas o terapia fría/caliente; además se recomienda alimentación saludable, evitar estar largos periodos en una posición y disminuir el sedentarismo; todo esto en conjunto con las medicaciones específicas al tipo de artritis que se haya determinado.

2.1.2.6. Otras Causas de Discapacidad Motriz

A pesar de ser las principales causas, no sólo enfermedades o condiciones específicas pueden generar discapacidad motriz, ciertas lesiones o síntomas de otras enfermedades pueden llegar a afectar de una manera u otra la capacidad de usar las funciones y habilidades motrices tanto finas como gruesas es por ellos que se provee un recuento de otras posibles causas de discapacidad motriz.

Una causa considerable que puede generar discapacidad motriz es el trauma al sistema nervioso central pues según se explica en [32] lesión traumática al sistema nervioso central como resultado de fuerzas extremas aplicadas al cráneo o contenido intracraneal conduce a disfunciones temporales o permanentes, incapacidad funcional o y/o alteraciones psicosociales. EL trauma al SNC puede ser causado por varios tipos de lesiones como: fracturas de cráneo, hematomas intracraneales, laceraciones, contusiones, heridas penetrantes; estas a su vez pueden generar hemorragias intracraneales o hematomas subdurales.

El cáncer es una enfermedad que afecta un gran número de personas de distintas maneras, una de estas es la discapacidad motriz producto de tumores cerebrales, como se expone en [33] los pacientes con tumores cerebrales sufren de varios déficits neurológicos como impedimentos cognitivos, debilidad motriz, déficits viso-espaciales y perdida sensorial. De manera similar en [34] se reporta que las funciones neuro-cognitivas son comúnmente disminuidas en los pacientes con tumores cerebrales, en particular el control motriz fino, funciones ejecutivas y memoria.

Un tipo de afección cuya incidencia sobre la capacidad motriz debe ser considerada son las lesiones del plexo braquial y/o parálisis del mismo, primeramente el plexo braquial es un conjunto de nervios que se ramifica desde la espina dorsal y pasa por el cuello hasta llegar al brazo y su incidencia cubre hasta la mano, tal como se puede distinguir en la Fig. 3. Tal como es descrito en [35] las principales causas de la lesión son: heridas de tracción traumática y/o lesiones por aplastamiento, síndrome de salida torácica (thoracic outlet syndrome), lesiones obstetricias, lesiones por irradiación, lesiones iatrogénicas como parálisis pos anestésica o punción de aguja, tumores, heridas de bala, compresión secundaria después de un trauma como la mala unión clavicular, laceraciones que no incluyan lesiones iatrogénicas, síndrome Parsonage-Turner o neuritis braquial, lesiones vasculares como aneurisma en la arteria o vena subclavia. En esta línea de ideas se expone en [36] que aunque la mayoría de los niños con plexopatía braquial obstetricia se recupera sin déficits residuales, un número no despreciable de ellos desarrollan severas limitaciones funcionales, deformidades óseas y severas y rigideces articulares.

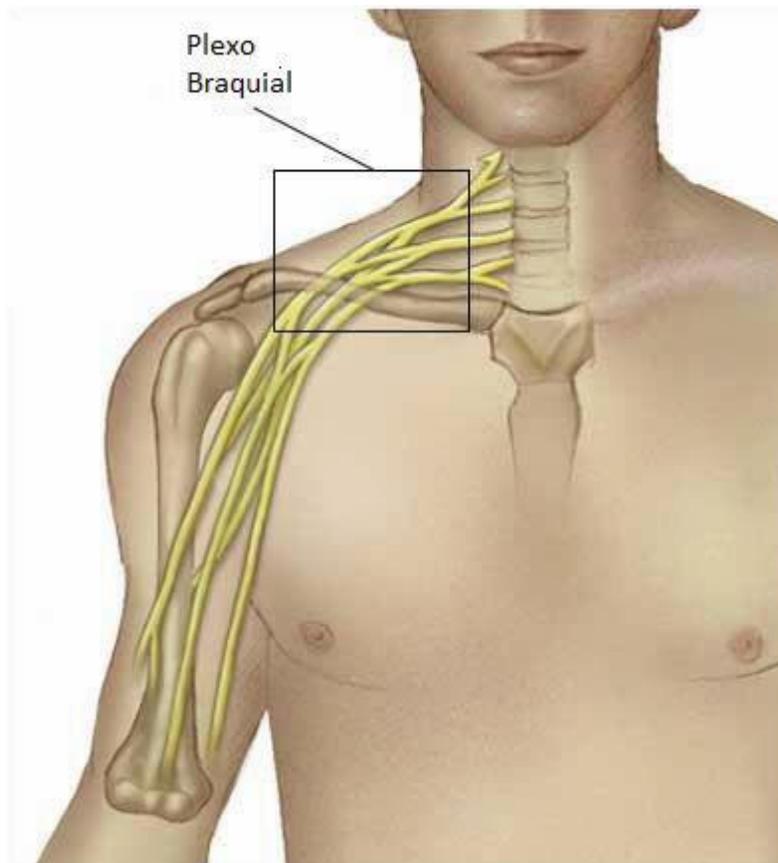


Fig. 3. Diagrama del Plexo Braquial (tomado de Medicalook [37]).

2.2. Dispositivos Móviles y Terapias de Rehabilitación

El término dispositivo móvil es difícil de definir puesto que la evolución de las tecnologías han hecho que las características cambien por lo que dentro de este concepto se pueden englobar desde laptops hasta teléfonos móviles inteligentes, sin embargo se pueden destacar algunas de las características principales que se encuentran en dispositivos móviles modernos: tamaño reducido con autonomía en su fuente de energía, interfaz de entrada salida como pantalla táctil y/o teclado virtual o físico, capacidad de conexión continua o intermitente a una red, suficiencia para expandir sus capacidades tanto de hardware como de software y capacidad de procesamiento suficiente para manejar todas estas características.

Los dispositivos móviles tales como teléfonos inteligentes y tabletas han tenido un crecimiento en uso y desarrollo durante los últimos años debido al abaratamiento de su producción y el amplio potencial para el desarrollo de aplicaciones, convirtiéndolos poco a poco en algo más que un lujo, sin embargo el desarrollo de estas aplicaciones ha estado enfocado mayoritariamente al público en general y la compartición de información en redes sociales o a videojuegos para entretenimiento. Pero esas mismas capacidades que les permiten comunicar a las personas y ejecutar juegos para entretenimiento pueden hacerlos una poderosa herramienta en el desarrollo de juegos serios pues el principio de desarrollo es el mismo y el interés para explotar esta área es creciente.

2.2.1. Características y Tecnologías en Dispositivos Móviles

Con los avances en la miniaturización de diversas tecnologías que originalmente fueron pensadas para Computadores Personales o dispositivos de mayor tamaño se ha logrado que los dispositivos móviles adquieran mayores capacidades y mayor diversidad de usos que se adaptan a todo tipo de usuarios, son este tipo de características y funcionalidades que con mayor frecuencia son sumadas a los dispositivos móviles, hasta volverlas un estándar, lo que hace tan atractivo el desarrollo de aplicaciones novedosas que puedan explotar todas las capacidades disponibles. A continuación se exponen algunas de las tecnologías que caracterizan los dispositivos móviles modernos y que resultan interesantes para el desarrollo de aplicaciones interactivas.

2.2.1.1. Pantalla Táctil de Alta Definición

Los monitores o pantallas han sido dispositivos estándar en cualquier equipo computacional desde los años 1980 dado su uso como herramienta de visualización de los datos y las operaciones en el computador, cosa que no ha cambiado desde entonces. Comenzando con las primeras tecnologías de despliegue monocromáticas se ha visto una evolución donde hoy en día es posible tener pantallas a color y de alta definición, 720p en adelante, en tamaños que abarcan desde 4 pulgadas diagonales en adelante. Múltiples tecnologías de despliegue con precios variados son empleadas por diversos fabricantes en sus pantallas y monitores, en particular para los dispositivos móviles.

Un aspecto particular de los dispositivos móviles es el desuso de los mecanismos de entrada estándar que generalmente se usan en computadores personales, mouse y teclado, esto debido a que llevar estos aparatos reduce la portabilidad y movilidad que se espera. Por esta razón se hace necesario emplear la misma pantalla como medio no sólo de salida y visualización de datos sino como medio de entrada de datos e interacción con el dispositivo, a partir de esta necesidad surge el uso de pantallas táctiles como interfaz humano-computador en dispositivos móviles.

Las tecnologías más usadas para habilitar capacidades táctiles son:

- **Tecnología Táctil Resistiva:** consiste de dos capas de material conductor con un pequeño espacio entre estos, llamado micro puntos, cuando la pantalla es tocada con el dedo o con un *stylus* las dos capas se tocan completando un circuito en ese punto. La información es reconocida por un chip o por el procesador del dispositivo y pasada al sistema operativo como un evento o acción en el lugar donde la pantalla fue presionada.
- **Tecnología Táctil Capacitiva:** esta tecnología consiste de dos capas de vidrio cubiertas con un conductor transparente (como óxido de iridio). Cuando la pantalla es tocada por el cuerpo humano, se genera una interrupción en el campo electrostático de la pantalla (la cual es medida como una carga de capacitancia) esto a su vez es detectado por el chip o procesador del dispositivo y genera una acción o evento que puede usar el sistema operativo. Esta tecnología es mucho más responsiva al contacto con el cuerpo humano comparada con pantallas resistivas haciendo la experiencia más agradable al usuario.

Existe variedad de tecnologías según se explica en [38] de las cuales a continuación se muestran las tecnologías de pantallas de alta definición con mayor uso en dispositivos móviles:

- **LCD:** Pantallas de Cristal Líquido o *Liquid Cristal Display* por sus siglas en inglés es una tecnología que aprovecha las propiedades de modulación de la luz en los cristales líquidos. Los tipos de LCD más usados en dispositivos móviles son:
 - **TFT:** los Transistores de Película Fina *Thin Film Transistors* por sus siglas en inglés es una tecnología enfocada a mejorar la imagen y contraste, aun así sufre de pobre visibilidad en luz directa o luz solar y ángulos de visibilidad estrechos.
 - **IPS:** su designación viene de *In-Plane Switching* que consiste en arreglar y conmutar las moléculas de cristal líquido que se encuentran en una capa entre los sustratos de vidrio, esencialmente en un plano paralelo al de las placas de vidrio. Se desarrolló para mejorar los tiempos de respuesta y los ángulos estrechos de visión que presentan tecnologías como TFT.
- **OLED:** Diodos Orgánicos Emisores de Luz o *Organic Light Emitting Diode* por sus siglas en inglés es una tecnología en que la capa de emisión electroluminiscente es una película de compuesto orgánico la cual emite luz en respuesta a una corriente eléctrica, esta capa se encuentra entre dos electrodos uno de los cuales es transparente. Es una tecnología superior a LCD TFT e IPS debido a que tiene mejor reproducción de colores, mejor tiempo de respuesta y son más livianas. De esta tecnología surgen versiones mejoradas:
 - **AMOLED:** se refiere a las pantallas OLED de Matriz Activa, es básicamente una pantalla OLED con todos los beneficios que esto conlleva sumado a que el direccionamiento de los píxeles es realizado con una matriz activa lo cual permite menores tiempos de respuesta y menor consumo eléctrico.
 - **Super AMOLED:** es una versión avanzada de pantallas AMOLED desarrolladas por Samsung en donde el sensor táctil se encuentra en la pantalla (digitizer integrado) lo cual hace la pantalla más delgada manteniendo todos los beneficios de las pantallas AMOLED.

2.2.1.2. Sensores del Dispositivo Móvil

La pantalla táctil no es la única forma de interacción con el dispositivo móvil, las tendencias más recientes se inclinan por la inclusión de una serie de sensores que facilitan o inclusive extienden la usabilidad del dispositivo al capturar cierta información como por ejemplo orientación e inclinación, esta información puede ser accedida y usada por las aplicaciones y el sistema operativo como un medio secundario de interacción humano-computador lo cual es explotado en aplicaciones como juegos o realidad aumentada e inclusive para determinar si la pantalla se despliega de forma vertical u horizontal.

Los sensores más comunes encontrados en dispositivos móviles modernos son:

- **Acelerómetro:** este sensor se encarga de medir la aceleración lineal del dispositivo, en la práctica esto significa que el acelerómetro mide el movimiento direccional del dispositivo. Su uso más común es para detectar el cambio de orientación de la pantalla y hacer la rotación correspondiente, otra aplicación es como control para ciertos videojuegos en que se detecta el movimiento del dispositivo en vez de usar controles o la pantalla táctil.
- **Giroscopio:** éste es un sensor que mide la velocidad de rotación angular permitiendo obtener información sobre la orientación lateral e inclinación del dispositivo, en otras palabras saber cuándo y cómo gira/vira el dispositivo.

Estos dos sensores de movimiento generalmente tienen 3 ejes de captura, permitiendo obtener magnitud y dirección, sin embargo esta información puede no ser precisa o puede obtenerse con cierto retardo, haciendo que la aplicación se perciba lenta por el usuario. Para resolver esto se usan en conjunto el acelerómetro y el giroscopio permitiendo obtener información sobre los 6 ejes y saber sobre los movimientos arriba-abajo, izquierda-derecha, delante-detrás, además del viraje, rotación e inclinación.

2.2.1.3. Capacidad de Procesamiento y Gráficos

Uno de los componentes esenciales para cualquier equipo computacional es el procesador, unidad central de procesamiento o CPU por sus siglas en inglés, el cual realiza los cálculos y operaciones primarias que debe realizar cualquier dispositivo o computador actual. Además en los dispositivos modernos donde se hace necesaria la capacidad de desplegar imágenes y gráficos complejos se acentúa la necesidad adicional de poseer componentes de despliegue gráfico apropiados por lo que surge la unidad de procesamiento gráfico o GPU por sus siglas en inglés, aunque en muchos casos es el mismo procesador el que se encarga de esta tarea, reduciendo su desempeño para otros cálculos, cuando se quiere un alto rendimiento para las aplicaciones como juegos o visualización de datos complejos es preciso tener tanto un CPU como un GPU funcionando en conjunto para obtener el mayor aprovechamiento del computador.

Ambos componentes no han escapado al proceso de evolución y miniaturización lo cual les permite ser una parte integral de la gran mayoría de dispositivos móviles modernos, si bien todavía son versiones con capacidades reducidas o arquitecturas distintas a las encontradas en computadores personales estos CPUs y GPUs son capaces de proveer al usuario con un considerable poder de cómputo y capacidad gráfica lo cual es cada vez más ineludible en la creciente cantidad y complejidad de aplicaciones desarrolladas para dispositivos móviles.

La mayoría de los CPU para dispositivos móviles funcionan bajo la arquitectura ARM o emplean un conjunto de instrucciones ARM, esta es una familia de procesadores desarrollados por la empresa *ARM Holdings* la cual está basada en la arquitectura de Cómputo sobre Conjunto de 44 Instrucciones Reducidas (*Reduced Instruction Set Computing*, RISC). Esta arquitectura permite desarrollar chips que requieren menor número de transistores y por consiguiente de consumo eléctrico que su competidor más cercano la arquitectura x86. Un aspecto que hace ARM tan flexible es que crea y designa un conjunto de instrucciones y cualquier CPU que siga estos podrá correr código ARM compatible, lo cual permite a diversos fabricantes producir sus propios chips usando el diseño de ARM bien sea licenciando y adoptando los diseños de referencia de ARM o algunas otras licencian el conjunto de instrucciones, cuya versión más reciente es ARMv7, y crean sus procesadores para usarlo.

Los GPU para dispositivos móviles no siguen una arquitectura específica, en los distintos dispositivos móviles tanto el CPU como el GPU dependen del sistema-en-chip (*System on Chip*, SoC) que haya diseñado el fabricante, por ejemplo los procesadores basados en *PowerVR* que se licencian por otras compañías para su fabricación, otro ejemplo son los chips *Tegra* que se basan en ARM donde separan el CPU y GPU, *GeForce ULP (Ultra Low Power)*,

además de añadir un coprocesador encargado de procesos simples para mejorar el rendimiento en gráficos, como se puede apreciar en la Fig. 4; también está el enfoque de *Snapdragon* y su GPU *Adreno* que fue diseñado con tecnología de ATI/AMD y se encuentra en el mismo chip con el CPU, sin dejar de mencionar que entre los más importantes están los GPU Mali de ARM empleado en los SoC *Exynos* y los cuales presentan, en el caso particular del MP-400, cuatro núcleos para procesamientos de fragmentos (*Fragment Processor*).

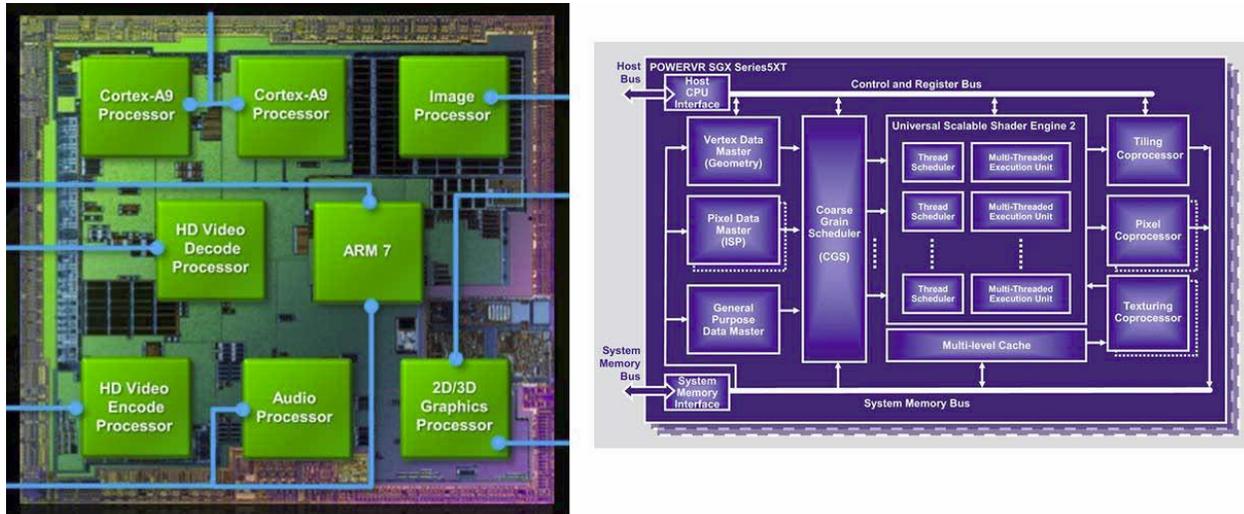


Fig. 4. Ejemplos de SoC Tegra 2 (izquierda) y PowerVR SGX 5XT (derecha) (tomado de [39]).

Sin embargo el punto más importante a considerar cuando se trata de GPU para dispositivos móviles no es la arquitectura ni el hardware sino el soporte para APIs de desarrollo como por ejemplo *OpenGL* o *DirectX*. Los estándares en cuanto a API para GPU en dispositivo móviles son *OpenGL ES*, *OpenGL* para sistemas embebidos, para el manejo de gráficos 3D; *OpenVD*, *Open Vector Graphics*, para el manejo de gráficos en 2D; *Direct3D Mobile* como API para desarrollo con *Microsoft Direct3D*. Otro API que sólo es compilado en algunos GPU es *EGL*, *Embeded-system Graphic Library*, que provee una interfaz entre *OpenGL* y el sistema de ventanas nativo del sistema; *OpenCL* que permitiría escribir programas que funcionen en plataformas heterogéneas también puede ser usado aunque no se encuentra en la mayoría de los chips.

En general cuando se habla de capacidad de procesamiento y gráficos en dispositivos móviles se tiene una amplia gama de opciones que proveen los diversos fabricantes, sin embargo gracias a que se emplean por lo menos el conjunto de instrucciones ARMv7 y gracias a que la gran mayoría de los GPUs proveen soporte para *OpenGL* y *Direct3D* en sus versiones reducidas, es posible pensar en desarrollo de aplicaciones con una escala que abarque la gran mayoría de los dispositivos móviles modernos.

2.2.1.4. Comunicaciones Inalámbricas

Las tecnologías de redes inalámbricas han tenido un crecimiento exponencial en años recientes y sus aplicaciones y usos abarcan desde la conexión de computadores personales hasta la comunicación de sensores y dispositivos de medición, en este espectro de usos los dispositivos móviles aprovechan las capacidades de transferencia de datos además de la popularidad de estas tecnologías para brindar mayor comodidad al usuario al proveer conectividad y movilidad pues no hay la necesidad de cables. En los dispositivos móviles modernos se pueden encontrar dos tecnologías casi de manera universal las cuales están asociadas cada una a un tipo de comunicación, tanto personal como local, estas tecnologías son *Wi-Fi* para comunicación en redes inalámbricas de área local WLAN y *Bluetooth* para comunicación inalámbrica en redes de área personal. Ambas están soportadas por estándares que han sido y siguen siendo constantemente revisados, actualizados y mejorados para acoplarse con la evolución de las tecnologías y las telecomunicaciones.

WLAN

La tecnología *Wi-Fi* es aquella que permite a un dispositivo, tanto computadores personales como dispositivos móviles, intercambiar datos de manera inalámbrica a través de ondas de radio en una red local, la Alianza para *Wi-Fi* define que sus productos funcionan sobre el estándar IEEE 802.11, como *Wi-Fi* es usado para la gran mayoría de las redes inalámbricas de área local se ha llegado a usar el término *Wi-Fi* como sinónimo de WLAN. 802.11 es una

familia de protocolos de comunicación half-duplex para WLAN que utilizan el mismo protocolo base y operan sobre las bandas ISM 2.4 GHz, 3.6 GHz y 5 GHz; emplean el esquema de modulación *DSSS* y Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal OFDM, dependiendo de cuál versión del estándar se use. En su arquitectura se definen dos tipos de servicio: el Conjunto de Servicios Básico BSS y Conjunto de Servicios Extendido ESS, el primero es una red inalámbrica local simple que puede ser estructurada (emplea un Punto de Acceso) o no (red Ad-hoc) mientras que el ESS está compuesto por varios BSS. El nivel MAC se divide en dos subniveles una obligatoria y la otra opcional, estas capas son: Función de Coordinación Distribuida (DCF) y Función de Coordinación Puntual (PCF), en la Fig. 5 se tiene un diagrama ilustrando las capas más bajas en 802.11, la primera tiene como método de acceso al medio CDMA/CA lo cual la permite el funcionamiento sin punto de acceso pero genera contención entre los dispositivos conectados, en el caso de PCF éste funciona sobre DCF sin embargo el acceso al medio es controlado por un punto de acceso que muestrea las estaciones lo cual hace este dispositivo obligatorio pero favorece transmisiones sensibles al retardo [40].

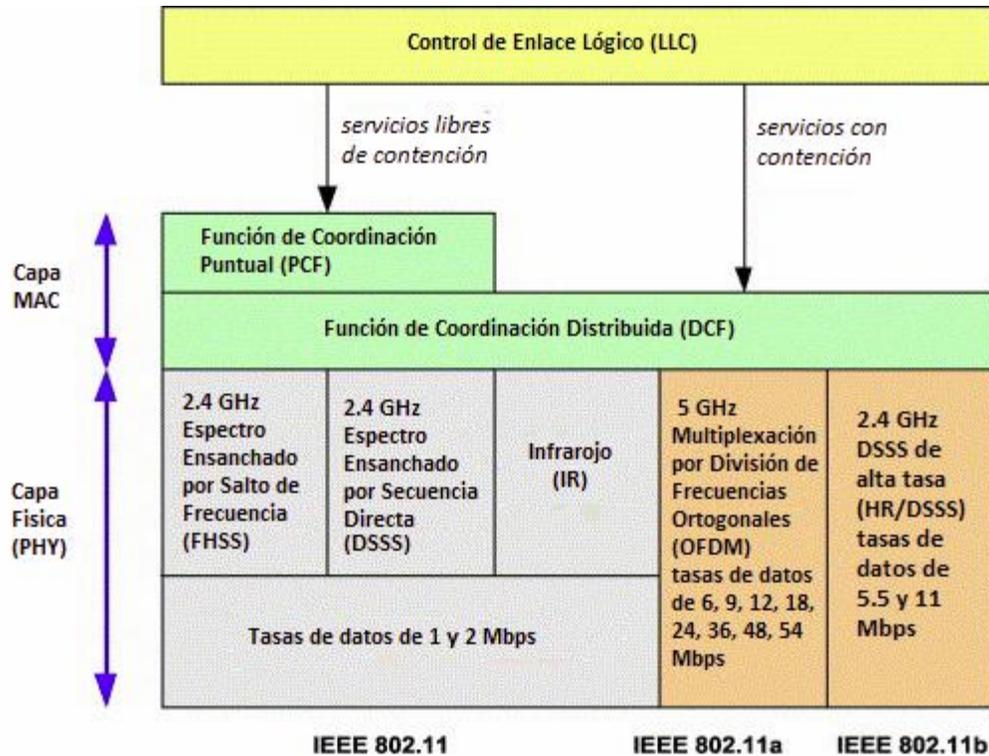


Fig. 5. Funcionamiento de 802.11 en capas física y MAC (tomado de [41]).

WPAN

Por otro lado *Bluetooth* se refiere a la tecnología y estándar desarrollada para el intercambio de datos entre dispositivos en una WPAN a través de ondas de radio en la banda ISM de 2400-2480MHz con el añadido de una alta seguridad. Emplea una tecnología de radio llamada Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia (FHSS) en donde los datos a transmitir son divididos en trozos que se transmiten en bandas de 1 MHz cada una. *Bluetooth* es un protocolo basado en paquetes con una infraestructura maestro-esclavo donde un maestro se puede comunicar con hasta 7 esclavos en redes denominadas *piconet* o picored donde el intercambio de paquetes se basa en el reloj definido por el maestro, adicionalmente varias picoredes se pueden unir para formar una red dispersa donde las estaciones secundarias de una picored pueden transmitir como primarias en otra picored. Además emplea una capa denominada L2CAP o Protocolo de Control y Enlace Lógico por sus siglas en inglés el cual es equivalente al subnivel LLC en redes LAN y provee servicios como multiplexación, segmentación y reensamblaje, calidad de servicio y gestión de grupos a los niveles superiores que son protocolos específicos para cada propósito, esto se ilustra mejor en la Fig. 6 donde se aprecian los componentes de la arquitectura *Bluetooth*.

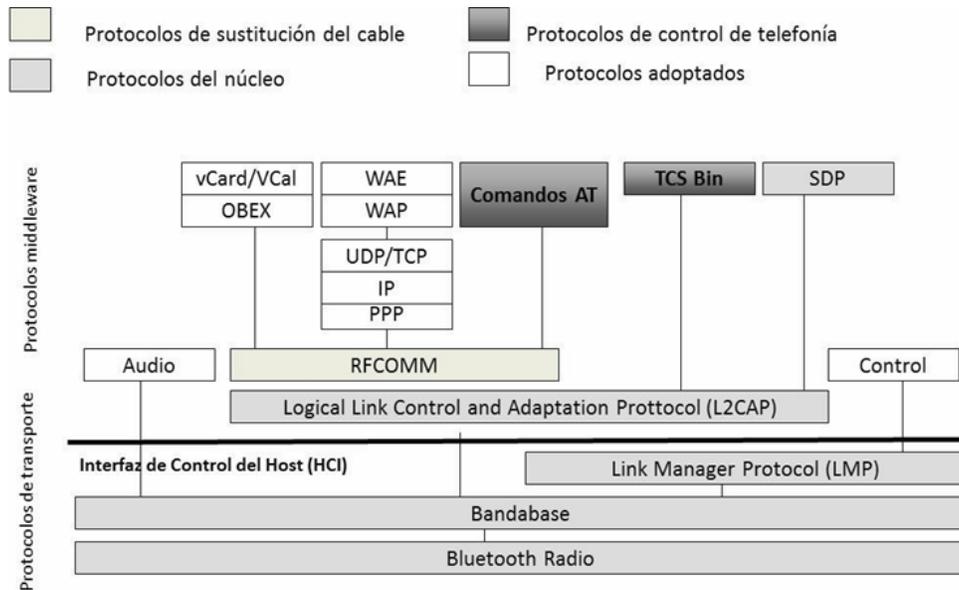


Fig. 6. Arquitectura *Bluetooth*.

2.2.2. Juegos Serios de Rehabilitación en Dispositivos Móviles

Si bien el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles ha tenido un desarrollo notable en los últimos años, todavía hay áreas de desarrollo que pueden explotar estas tecnologías y es importante dar a conocer algunas de las aplicaciones que han sido desarrolladas en estos campos emergentes como juegos serios, con todo esto se busca fortalecer y generar mayor énfasis en las relaciones con la salud pues permiten tener enfoques distintos sobre cómo realizar las terapias además de generar resultados y experiencias útiles que pueden ser aplicadas en desarrollos futuros y seguir alimentando el desarrollo tecnológico y médico.

Es importante conocer otros trabajos e investigaciones previas que aprovechen de manera similar las capacidades de las nuevas tecnologías y en particular de los dispositivos móviles como medios para el cuidado de la salud y la rehabilitación en general, de esta manera se tiene una mejor idea de que problemas pueden surgir y las soluciones aplicadas. Por ende a continuación se presentan una serie de trabajos, investigaciones e iniciativas para emplear dispositivos móviles y juegos serios en distintos tipos de rehabilitación.

Una iniciativa que busca el fomento de la salud a través de la educación y la enseñanza es la de *mobile learning* proveniente del Reino Unido y que provee ayuda, consejos e información sobre el aprendizaje en dispositivos móviles. Uno de estos juegos serios de aprendizaje en móviles es llamada Oportunidades de Aprendizaje del Tamaño de Mordiscos en Móviles (*Bite-sized Learning Opportunities On Mobiles*) la cual busca permitir el entrenamiento en el sitio de trabajo para los sectores de transporte de pasajeros y logísticas a través de habilidades básicas contextualizadas usando una variedad de tecnologías de teléfonos móviles [42].

Otro trabajo interesante enfocado en el aprendizaje sobre la salud con teléfonos celulares, conocido como *m-learning*, es el titulado Saludable de por Vida (*Healthy for Life*), dicha aplicación móvil fue diseñada para proveer apoyo e información accesible a las adolescentes embarazadas y sus compañeros (muchos de ellos de minorías étnicas), este paquete de aprendizaje incluye trípticos coloridos, quices por SMS, materiales descargables para PocketPC, etc. Atención especial fue dedicada a las necesidades de los grupos para asegurar que se cubrieran sólo contenido de interés para estos (labor y parto, enfermedades de transmisión sexual, nutrición, hospedaje y beneficios). Los materiales emplean lenguaje apropiado, ilustraciones atractivas, etc. [43].

Otros casos de juegos serios en dispositivos móviles se pueden encontrar en [44] donde se describen juegos móviles de aprendizaje como *Cooties* del grupo *Hi-Ce* en la Universidad de Michigan, en el juego cada jugador tiene un personaje en su pantalla (el *cootie*), el cual está enfermo o saludable. Los jugadores se mueven y escanean otros jugadores con el sensor infrarrojo y acumulan listas de jugadores con los cuales ha interactuado, eventualmente algunos (o la mayoría) de los jugadores se “enferman” y el objetivo es determinar cómo sucedió esto. El juego se caracteriza por ser un simulador participativo.

Otro juego al que se hace referencia en [44] es *Geney* creado en la Universidad Simon Fraser, en este juego el objetivo es que los jugadores participen en la creación de peces con características particulares. Ellos crean estos peces al combinar los peces en sus dispositivos móviles y al tratar de entender los principios de la genética que se encuentran subyacentes para cada uno de los atributos que permiten lograr el objetivo. Este juego al igual que *Cooties* fue diseñado para estudiantes de educación secundaria.

Un caso de estudio interesante por su enfoque en comportamiento y cambios controlables del comportamiento es el juego para dispositivos móviles "*Uilty Tycoon*" [45] el cual es un típico juego de manejo de recursos, el jugador asume el rol de un CEO en una empresa que produce y vende servicios públicos. La meta subyacente del juego es cambiar la actitud del jugador con respecto a las "energías verdes" y se recompensa, si bien no de manera inmediata, el uso de fuentes alternativas como solar y eólica en contraste con la más atractiva energía nuclear.

No todos los trabajos se enfocan en juegos de aprendizaje, uno de los aspectos más positivos de los juegos es el nivel de motivación y distracción que pueden generar, por lo tanto emplear juegos como medios de rehabilitación ha sido una idea empleada en muchos casos de estudio, sin embargo el utilizar dispositivos móviles como medios para realizar terapias de rehabilitación con videojuegos es una idea relativamente nueva y los siguientes casos de estudio dan un buen incentivo para continuar con este enfoque.

Una serie de dispositivos móviles que por su reciente popularidad ha motivado al desarrollo de juegos serios para rehabilitación es la de teléfonos inteligentes y tabletas, tanto con sistemas operativos *Android*, *IOS* o *Windows*, un caso particular de estudio que ha sido exitoso y del cual se han aprendido lecciones importantes para esta área de desarrollo fue el proyecto *Injini* de la empresa NC Soft. Este proyecto fue desarrollado particularmente para niños de educación básica y de él se obtuvo aprendizajes sobre el desarrollo de aplicaciones para niños como la importancia de jugabilidad independiente por parte del niño, tal como se aprecia en la Fig. 7 donde no se requiere supervisión especial para poder jugar, o la importancia de gráficos y sonidos de alta calidad, flujo ininterrumpido, inexistencia de límites de tiempo o barreras estresantes y diseño accesible [46].



Fig. 7. Aplicación del proyecto *Injini* en uso (tomado de *Project Injini Archives* [47]).

Las tecnologías emergentes y de gran popularidad como los *smartphones* no han escapado al interés por desarrollar métodos de rehabilitación que empleen juegos serios, tal es el caso de los teléfonos con sistema operativo *Android* que destaca por ser de código abierto y estar respaldado por grandes fabricantes de teléfonos celulares, con el alcance de esta plataforma en mente se desarrolló *DroidGlove* un juego serio que hace uso del acelerómetro y sensores de movimiento, tal como es mostrado en la Fig. 8 donde el modo debug despliega la información relacionada, que se encuentra en la mayoría de los teléfonos inteligentes con *Android* para proveer una serie de ejercicios de rehabilitación motivadores. Esto posee la ventaja e innovación de permitir terapia ubicua usando juegos, con además la posibilidad para el doctor de revisar los ejercicios hechos en casa por el paciente [48].



Fig. 8. Aplicación *DroidGlove* en modo debug mostrando información sobre aceleración y movimiento (tomado de [48]).

Desde años recientes donde los dispositivos móviles han ganado popularidad se han comenzado a ver más trabajos que buscan emplear estos aparatos y/o videojuegos como medios para rehabilitación, ejemplo de esto es el trabajo de Brutovsky [49] donde se plantea usar juegos en dispositivos móviles como ente motivador y emplear características del mismo dispositivo para almacenar y transmitir información sobre el paciente y la terapia. En este caso el auto hace gran énfasis en la autonomía del paciente donde éste recibe instrucciones sobre los ejercicios desde el mismo dispositivo y los puede realizar sin intervención médica mientras que un dispositivo adicional con sensores de movimiento almacena la información de un acelerómetro para determinar el grado de competencia y efectividad que se transmite al teléfono celular o dispositivo móvil pudiendo así proveer al paciente con los datos de su progreso lo cual lo mantiene motivado para seguir realizando la terapia. En la Fig. 9 se puede observar cómo se presentan ejercicios a través del dispositivo móvil.

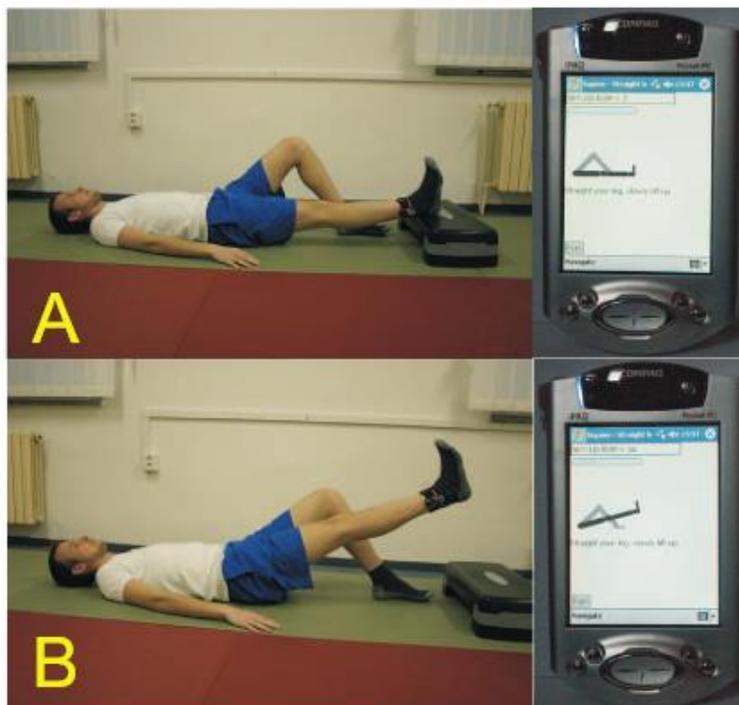


Fig. 9. Ejercicios mostrados por el dispositivo móvil (tomado de [49]).

También se pueden apreciar trabajos como el de Sunwoo et al. [50] donde se usan juegos en dispositivos móviles para asistir a adultos mayores en terapias de rehabilitación de articulaciones a la vez que usan sus sensores para captar y reconocer los movimientos de brazos y hombros, todo esto con juegos relativamente simples. Uno de los aspectos que resaltan los autores es el diseño de los juegos para aprovechar los sensores del acelerómetro y la pantalla con el objetivo de generar una experiencia de juego novedosa y poder brindar presentación amigable y visualmente agradable, tal como se puede apreciar en la Fig. 10, con el fin de mantener al jugador motivado. Esto muy similar al trabajo de Smith S. [51] donde buscan mantener adheridos a su tratamiento y ejercicios a la población de tercera edad que realiza fisioterapia con un videojuego similar al *Dance Dance Revolution* además de proponer el uso del sistema SMS como medida de monitoreo con sus teléfonos celulares. Permitiendo quedar asentando que es posible emplear este enfoque en la rehabilitación y cuidado de adultos mayores.

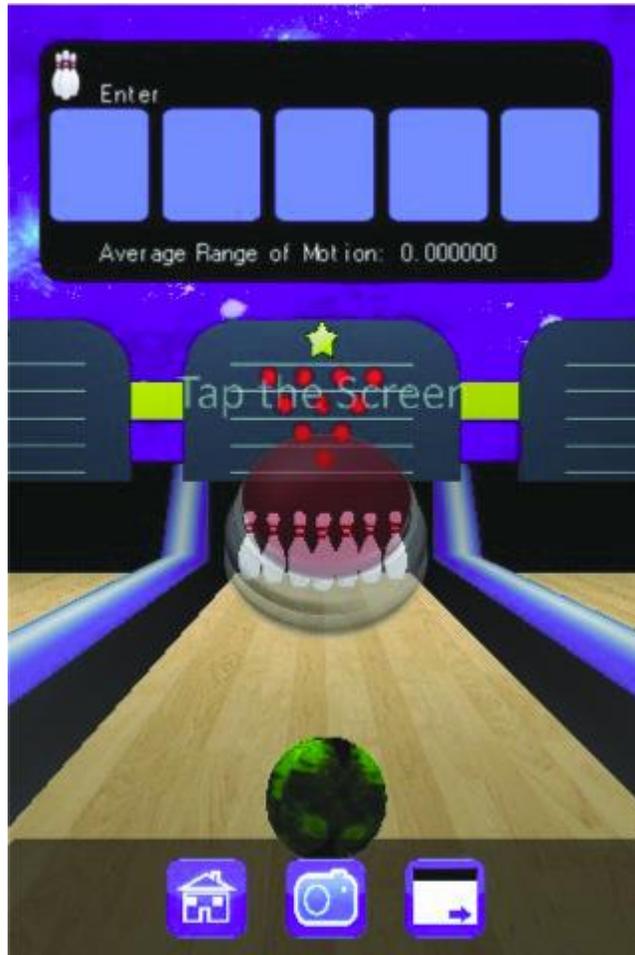


Fig. 10. Captura del juego Bowling (tomado de [50]).

De manera similar Raso et al. [52] emplea dispositivos móviles y busca atacar el problema del tiempo y distancias de los pacientes a sus centros de terapias pero busca enfocarse en una población general a la vez que proveen guía y ayuda al indicar ejercicios de terapia y capturar la información del progreso de dichos pacientes a través de los sensores de movimiento y acelerómetro presentes en dispositivos como el iPhone®, todo esto desde sus propias casas y permitiendo adaptarse a las peculiaridades de cada uno de ellos. Tal como se aprecia en la Fig. 11 (a) la aplicación posee parámetros configurables para permitir adaptarse mejor a cada usuario, a la vez que en (b) se aprecia el despliegue de estadísticas relevantes durante el proceso de terapia.

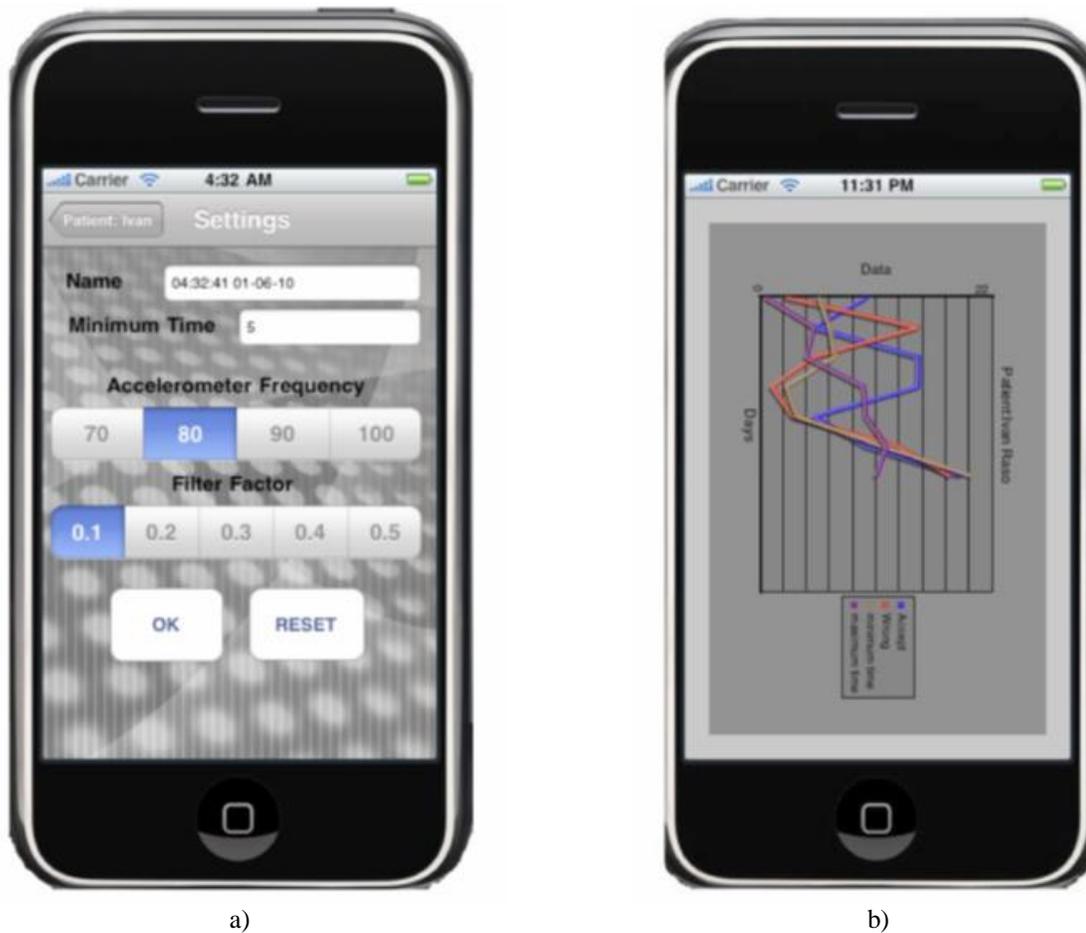


Fig. 11. Parámetros configurables (a) y estadísticas de la terapia (b) (tomado de [52]).

No sólo se han usado los dispositivos móviles para rehabilitación física, también se han demostrado casos como el presentado por Long To et al. [53] donde se propone usar juegos en dispositivos móviles para tratar la ambliopía (*amblyopia*) tanto en niños como en adultos, todo esto desde casa aprovechando las capacidades de conectividad de los dispositivos *iPod touch*® el cual por su popularidad y número de usuarios así como su pantalla táctil y poder de cómputo proveen cualidades útiles para videojuegos de rehabilitación en casa. En este trabajo los investigadores deciden que el uso del dispositivo móvil permite mayor facilidad de uso y en el caso particular de los niños logra mayor ser un factor motivador para el cumplimiento de las tareas de terapia.

Otro trabajo interesante porque integra no sólo dispositivos móviles *Android* sino el accesorio Kinect de la consola Xbox de Microsoft en un sistema que permite evaluar y rehabilitar a pacientes que han sufrido apoplejías, en esta investigación realizada por Hsiao-Kuang Wu et al. [54] se usa el Kinect como dispositivo de evaluación de pacientes y un teléfono *Android* como dispositivo para rehabilitación tanto en la clínica como en casa, ambos dispositivos se encuentran integrados al sistema y se comunican a un servidor que almacena información del avance de los pacientes. Una funcionalidad adicional que busca aumentar la motivación en este sistema fue la implementación de un sistema de comunicación por IMS (IP Multimedia Subsystem) a través de un servidor que utiliza el protocolo SIP. En la Fig. 12 se puede apreciar la arquitectura de sistema propuesta en este trabajo.



Fig. 12. Arquitectura del sistema (tomada de [54]).

Capítulo 3. Diseño de la Solución

En este capítulo se explica en detalle el plan de desarrollo, implementación y el conjunto de consideraciones tomadas en cuenta durante la fase de elaboración del sistema desarrollado. En principio se describen los aspectos de influencia y motivación ante el desarrollo del sistema, destacando experiencias previas que promovieron el desenvolvimiento de éste. Posteriormente, se procede a explicar en detalle las especificaciones del trabajo, considerando para ello la definición en concreto del sistema, alcance, a quién se dirige específicamente y una descripción detallada de cada uno de los módulos que fueron programados para la composición del trabajo. Finalmente se expone la metodología empleada para la ejecución, haciendo mención de la organización para el desarrollo.

3.1. Enfoque General

Principalmente se busca estudiar y establecer cómo se pueden usar los videojuegos en dispositivos móviles de tipo tableta para asistir en la rehabilitación de motricidad fina en niños. Se busca lograr la rehabilitación de niños con la ayuda de videojuegos programados en dispositivos móviles tipo tableta con sistema operativo *Android*. Posteriormente dicha aplicación debe ser capaz de comunicarse a través de tecnologías de comunicación inalámbrica como *Bluetooth* o *Wi-Fi* a un computador personal. Este PC que funciona como servidor central utiliza una base de datos de pacientes con sus actividades y sesiones de juego. Con este desarrollo se busca lograr un uso innovador de las tabletas como herramientas de apoyo en terapias de rehabilitación para niños.

En este trabajo se plantea un sistema de aplicación para dispositivos móviles y módulo de comunicación con el computador, dentro de la aplicación para dispositivos móviles se tienen una serie de videojuegos diseñados para ayudar en terapias de rehabilitación de motricidad fina enfocados en la activación y reentrenamiento, dirigidos a niños. Mientras que el módulo de comunicación implementa un protocolo para la sincronización de la información de progreso del paciente via *Bluetooth* o *Wi-Fi*.

3.2. Metodología

Para el desarrollo de este trabajo se aplicará *Scrum*¹ como guía para la metodología de desarrollo iterativa e incremental, la cual expone como característica principal un proceso de desarrollo rápido, progresivo y flexible que promete resultados tangibles en corto tiempo. Adicional a la metodología de desarrollo, se establece como paradigma de programación al enfoque de programación orientada a objetos. Usando esta metodología se puede trabajar realizando módulos o partes acumulativas del proyecto dentro de cada sprint o planificación semanal logrando un esquema de trabajo que se adapta bien al desarrollo individual.

3.3. Hardware

Los requerimientos de Hardware para esta solución buscan principalmente economía, fácil adquisición y adaptabilidad. Es por esto que el hardware requiere sólo 3 componentes principales:

- 1) Un dispositivo móvil tipo tableta con pantalla de 10.1 pulgadas
- 2) Un Computador Personal Con puertos USB y/o interfaz de red
- 3) Un medio de comunicación inalámbrica, puede ser un adaptador *Bluetooth* USB o un Punto de Acceso *Wi-Fi*

3.4. Software

El software requerido para el funcionamiento de la solución también busca ser fácil de adquirir por lo cual la tableta debe disponer de sistema operativo *Android* y la PC del sistema operativo Windows, además el computador deber poder ejecutar programas hechos en lenguaje Java por lo cual se requiere el Java Runtime Environment y poder ejecutar scripts de Python por lo que se requiere tener instalado Python 2.7. En la mayoría de los casos el sistema operativo Windows se encarga de conseguir e instalar los controladores (drivers) para el adaptador *Bluetooth* pero en algunos casos se deberá realizar la instalación de estos a través de un CD o medio similar.

¹ <http://scrummethodology.com/>

3.4.1. Librerías y APIs para el Desarrollo

Una de las características más atrayentes del desarrollo para dispositivos con *Android* es la capacidad de usar el API gráfico *OpenGL ES*, la cual a pesar de ser un sabor de *OpenGL* con un subconjunto reducido del API de PC, provee poderosas capacidades para el despliegue de gráficos tanto en 2D como en 3D permitiendo la creación de juegos y aplicaciones altamente interactivas con presentaciones vistosas y capaces de ejecutarse en la gran mayoría de los dispositivos móviles modernos.

Sin embargo, desarrollar aplicaciones con *OpenGL ES* directamente en el API de *Android* puede ser una tarea que consume tiempo y que conlleva gran cantidad de líneas de código, en particular si se desea emplear la versión 2.0 o superior de *OpenGL ES* puesto que desde esta versión se emplean *shaders* y *pipeline* programable. Dadas estas dificultades se han creado diversas librerías y APIs para programación y creación de videojuegos que simplifican la tarea de codificación sin perder las capacidades gráficas de *OpenGL ES*.

Existe gran variedad de librerías y APIs para creación de videojuegos en *Android*, algunas muy conocidas como lo son Cocos2Dx, Unity, AndEngine, Rokan y LibGDX. De estas se escogió LibGDX como Framework para desarrollar los juegos del proyecto, los puntos favorables que impulsaron esta decisión fueron: El rendimiento en comparación con otras librerías es deseable, permite hacer uso de un empaquetador de texturas para simplificar el manejo de elementos de juego. La portabilidad del código propio del API permite que se pueda codificar un juego sólo una vez y luego ser ejecutado en *Android*, *IPhone* o en la PC, Las instrucciones y funciones son simples pero mantienen similitud con *OpenGL*, el proyecto es altamente documentado y en constante desarrollo, un proyecto creado con esta librería es portable y hecho en código Java lo que permite abrir y ejecutarlo directamente en el IDE eclipse con ADT.

Por otro lado se tiene el servidor que se ejecuta en la PC de escritorio y sirve como puente entre la aplicación móvil y la base de datos central, este servidor que originalmente permitiría acceso sólo por *Bluetooth* se decidió programar en el lenguaje Python dado que fue el primer módulo a desarrollarse y principalmente porque se necesitaba un lenguaje con programación ágil y sencilla que además permitiera usar una gran cantidad de bibliotecas y de esta manera extender su funcionalidad enormemente. En particular se decidió usar la versión 2.7 de Python dado que es una versión con mayor documentación en particular con las bibliotecas que se necesitan para el proyecto, de las cuales al menos una no presenta soporte para la versión 3.

Se utilizaron en particular dos de estas bibliotecas de Python para el servidor, la primera PyBluez es una biblioteca de Python que permite utilizar y comunicarse a través del protocolo *Bluetooth* enviando mensajes a través de sockets de manera muy similar a la programación de sockets para TCP/IP, todo esto mientras se tenga conectado al computador un adaptador o dispositivo que emplee esta tecnología. En segundo lugar se utiliza la librería sqlite3 que permite hacer consultas a la base de datos Sqlite del Computador central del proyecto *Therapie*, donde se encuentran los datos de médicos y pacientes así como de sesiones de juego, de esta manera se tiene un script que recibe comandos vía *Bluetooth* del dispositivo móvil y es capaz de acceder o actualizar datos en la base de datos y así asegurarse que hay integridad sincronización entre los datos provenientes de la tableta y los almacenados en la base de datos. Adicionalmente se empleó la biblioteca Hashlib de Python con la cual se encripta utilizando el algoritmo MD5 datos del personal médico como contraseñas. Por último se utiliza la biblioteca Subprocess de Python que permite ejecutar desde el código otros programas y capturar su salida estándar lo cual permite hacer uso del generador de gráficas del proyecto.

También fue necesario contar con una librería que permitiera generar gráficas con los datos recabados por la aplicación por cada paciente para luego poder visualizarlas tanto en la aplicación de escritorio como en la aplicación que se encuentre en el dispositivo móvil, dado que en este punto del desarrollo se había adelantado bastante de la aplicación de escritorio que fue programada en lenguaje Java el cual también es usado para la programación de la aplicación para dispositivos móviles se decidió usar la biblioteca de Java JFreeChart, se decide usar esta librería por su alta popularidad, versatilidad y guías o ejemplos de los creadores y la comunidad de usuarios buscando hacer el proceso de codificación del módulo de generación de gráficos una tarea que consumiera la menor cantidad de tiempo y esfuerzo posible pero logrando un módulo capaz de generar gráficos vistosos, elegantes y presentables.

Adicionalmente se utilizó el API *Kryonet* el cual fue desarrollado en Java y permite conectividad a través de redes locales (LAN) y hace uso de una abstracción sobre los sockets tradicionales para utilizar un esquema de serialización de clases permitiendo enviar no sólo flujos de caracteres o bytes sino datos más complejos, todo esto sumado al uso de *listeners* por cada conexión establecida con lo cual no es necesario esperar por llamados bloqueantes tradicionales

a funciones send/rcv de sockets, estas facilidades le han permitido ser el API para conectividad en redes más recomendado por la comunidad de desarrolladores de LibGDX.

3.5. Solución Propuesta

La propuesta presentada en este trabajo consiste en una arquitectura de hardware y software para la rehabilitación de motricidad fina usando videojuegos en dispositivos móviles, enfocado para tabletas, que satisfaga un conjunto de requerimientos tales como: facilidad de uso para el personal médico, intuitivo y natural para el paciente, factible y seguro para el paciente, además bajo costo y facilidad de replicación para otras instalaciones hospitalarias o el hogar.

3.5.1. Arquitectura de Hardware

En la Fig. 13 se muestra la arquitectura de hardware propuesta, la consiste de una PC convencional con conexión a red y/o puertos USB, un adaptador *Bluetooth* USB que debe conectarse al alguno de los puertos USB para lograr conectividad inalámbrica y una tableta con sistema operativo *Android* cuyo tamaño de pantalla debe ser de 10.1 pulgadas. Esta decisión de desarrollar aplicaciones basadas en *Android* se tomó dado que esta plataforma es más abierta con los desarrolladores y tiene alta popularidad entre los usuarios del país. Fue un requerimiento planteado por el personal del hospital la capacidad de conexión entre el dispositivo móvil y la PC vía *Bluetooth* con un adaptador USB, dado que esto es más económico que adquirir e instalar los componentes para una red inalámbrica 802.11 *Wi-Fi*. Es a través de este adaptador con capacidades inalámbricas que el dispositivo móvil puede enviar y recibir datos tanto de médicos como de pacientes y sesiones de terapia. Esta solución permite acoplarse de manera sencilla por ejemplo al proyecto *Therapie* que lleva una base de datos con pacientes y médicos permitiendo agregar mayor alcance al proyecto ya existente.

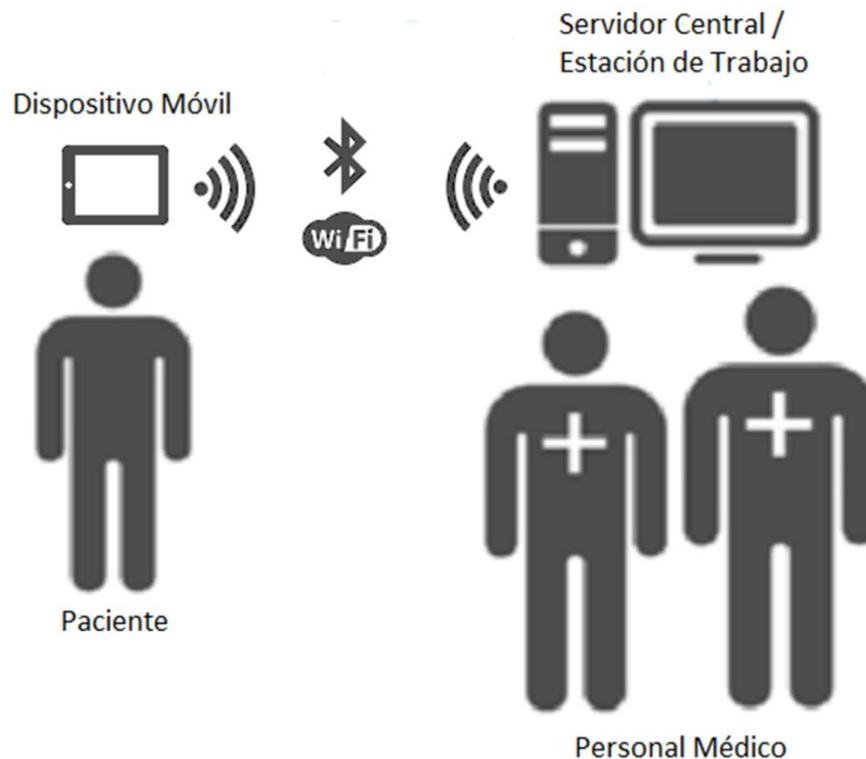


Fig. 13. Arquitectura de Hardware de la solución propuesta.

3.5.2. Arquitectura de Software

Por su parte la arquitectura de software funciona en el sistema operativo *Android* con número de versión mínima 3.0 (API 11 *Honeycomb*) y se divide en varios módulos con funcionalidades específicas, como se puede apreciar en la Fig. 14 que logran en conjunto una aplicación para dispositivos móviles que hace uso de las características

consideradas más relevantes en la propuesta y de este modo probar la factibilidad de este enfoque en terapias de rehabilitación. Los módulos son descritos a continuación. Adicional a estos módulos se tienen los componentes del lado del servidor que proveen la capacidad de almacenamiento a largo plazo en la base de datos, así como aplicaciones adicionales para facilitar la tarea del personal médico. Los módulos son descritos a continuación.



Fig. 14. Arquitectura de Software.

Control Central

El primer módulo es el Control Central el cual se encarga de invocar y acceder las funcionalidades y servicios de los demás módulos desde una interfaz de usuario presentada de manera sencilla con lo cual se le puede considerar el módulo central de la aplicación.

Módulo de Videojuegos

Fue en este módulo donde el personal médico tuvo mayor rol puesto que el diseño de las actividades y ejercicios estuvo guiado por sus sugerencias e ideas. De esta manera se plantearon una serie de juegos serios que hicieran uso de las características de la tableta para repetir ejercicios básicos de motricidad fina con el objetivo de ayudar en la terapia de rehabilitación.

El módulo de juegos es el componente más importante de la aplicación pues a través de los juegos y la interacción de los pacientes con estos se podrá realizar la terapia. Los juegos cumplen con dos funcionalidades principales: primero presentar al usuario una interfaz atractiva e interactiva con actividades simples pero cuya repetición no aburra ni genere estrés en el paciente. Todo esto a la vez que la segunda funcionalidad es recabar datos del desempeño en cada sesión de juegos, por ejemplo tiempo para completar objetivos o número de movimientos por sesión.

Gestión de Usuarios

El módulo de gestión de usuarios verifica que sólo el personal médico autorizado pueda acceder a los datos de los pacientes y asignar terapias. Este componente presenta una interfaz de acceso, para que los médicos acreditados puedan acceder y usar por completo la aplicación, así como también permite consultar o ingresar pacientes en la base de datos, permitiendo al médico obtener desde el dispositivo móvil la información relevante del paciente a tratar y poder asignar una terapia acorde. Este módulo funciona en conjunto con el módulo de comunicación inalámbrica y con el repositorio local de datos.

Gestión Local de Datos

La gestión local de datos principalmente se encarga de mantener una copia local de los datos de sesiones de juego y estadísticas que estos generen en caso de que no sea posible conectarse con el servidor a través de un repositorio

local de datos el cual es una versión reducida de la base de datos central en el servidor del hospital, este repositorio actúa como medio de almacenamiento temporal en caso de fallas en la comunicación con el servidor y/o la base de datos central, permitiendo así tener cierto grado de autonomía e independencia del servidor centra infraestructura de red del hospital.

Presentación de Estadísticas

El módulo de presentación de estadísticas en un componente sencillo que permite al médico o terapeuta ver de forma gráfica la evolución del paciente a través de datos recabados en los juegos de la aplicación, pudiendo de este modo ayudar a determinar si existen mejoras en el desempeño como resultado de la terapia. La presentación de estadísticas se hace mediante gráficas que muestran datos individuales de cada paciente y cada juego a través del tiempo.

Comunicación Inalámbrica

El módulo de comunicación inalámbrica es el componente que permite a la aplicación hacer uso de las capacidades inalámbricas del dispositivo móvil a través de las tecnologías *Bluetooth* y *Wi-Fi*. Fue requerido que usara ambas tecnologías puesto que emplear un adaptador USB para *Bluetooth* es económico y sencillo y no requiere infraestructura de red adicional. Cuando se emplea *Bluetooth* este módulo se conecta con un programa hecho en Python 2.7 que se ejecuta en el servidor y realiza consultas a la base de datos central. Ya que éste es un programa relativamente sencillo y no requiere ningún componente adicional, se puede hacer funcionar en conjunto con el proyecto *Therapie* permitiendo que todos los resultados y sesiones de terapia sean almacenados en la misma base de datos.

Dado que LibGDX es un API enfocado al desarrollo de videojuegos y no posee componentes para manejar comunicación inalámbrica vía *Bluetooth* y dado que tampoco se puede acceder directamente al API de *Android* desde el código que se emplea en los videojuegos fue necesario implementar una interfaz Java que permitiera hacer llamadas desde el API de LibGDX al API de *Android* tal como se aprecia en la Fig. 15.

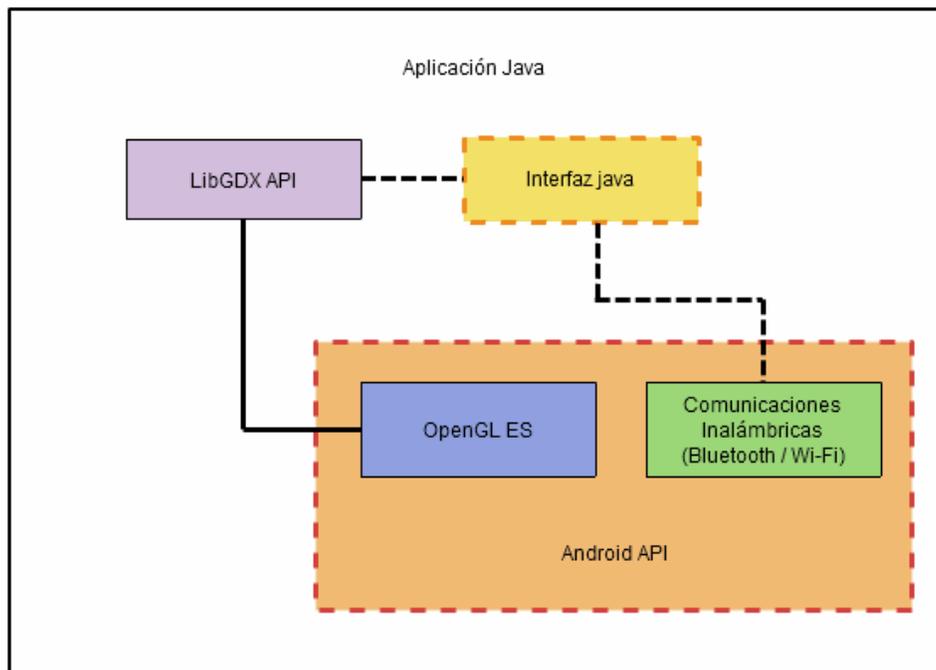


Fig. 15. Uso de interfaz para comunicar la aplicación con el API de *Android*.

Fue además desarrollado un pequeño protocolo que permitiera las operaciones básicas como acceder al sistema y consultar pacientes así como la transmisión de los datos de sesiones de juegos tanto para visualizar estadísticas como para guardarlos en la base de datos. Este protocolo es el mismo tanto para la comunicación por *Bluetooth* como por *Wi-Fi* ya que las operaciones no varían sin importar cual medio se emplee, en la Fig. 16 se puede apreciar un diagrama donde se realizan algunas de estas operaciones entre la aplicación en la tableta y el servidor.

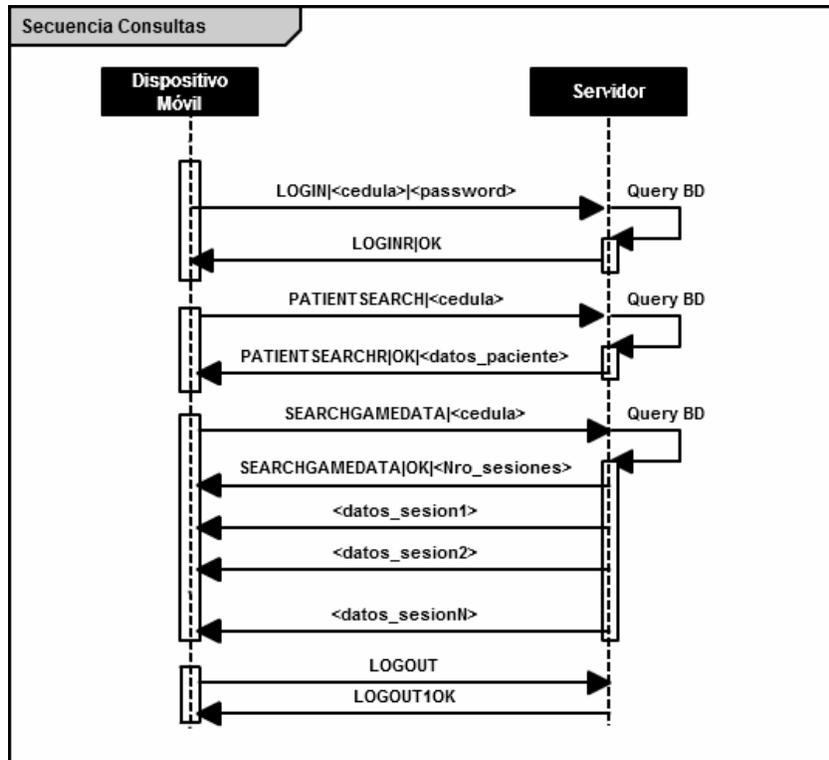


Fig. 16. Diagrama de secuencia del protocolo.

Aplicación de Escritorio para Personal Médico

A pesar de que el desarrollo está enfocado en una aplicación para tabletas, es importante tener una aplicación de respaldo que se pueda ejecutar en la PC de escritorio donde se ejecutan otros componentes. Esto en caso de que el personal médico requiera verificar alguna información de pacientes y no disponga en el momento de una tableta o en caso de que requiera poder visualizar las gráficas y estadísticas de manera más cómoda desde su escritorio o inclusive poder copiar y hacer uso de ellas de otro modo. La generación de gráficos se lleva a cabo por un programa adicional el cual puede ser ejecutado por otras aplicaciones, como el servidor hecho en Python. En la Fig. 17 se puede apreciar como usando esta arquitectura se puede aprovechar el generador de gráficos no sólo por la aplicación de escritorio sino por el mismo servidor o cualquier otra futura aplicación que funcione de manera similar.

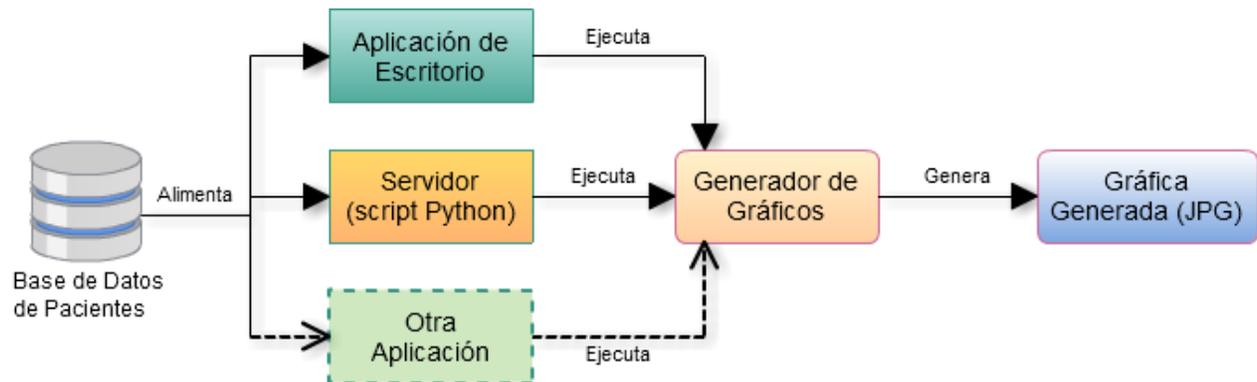


Fig. 17. Arquitectura de Software para el computador.

Esta aplicación de escritorio posee una interfaz simple que busca uso con sencillez y seguridad puesto que sólo puede ser usada por personal médico acreditado, esto se logra con la presentación de una pantalla de autenticación por usuario y contraseña asegurando que los datos médicos y otra información de los pacientes sólo sea accedida por quienes estén designados a esto. Más allá de la autenticación el usuario podrá buscar datos de pacientes que estén registrados y en caso de tener sesiones de juego en la tableta también podrá visualizar gráficos referentes a su progreso en el tiempo o en la última sesión de juego.

Capítulo 4. Implementación de la Solución

La aplicación ha sido implementada para funcionar en el sistema operativo *Android* desde su versión 3.0 (*Honeycomb*). Esta decisión se tomó dada su alta popularidad, las facilidades para el desarrollo, el relativo bajo costo de adquisición y la gran cantidad de dispositivos de diferentes marcas que lo usan. Por defecto el lenguaje de programación usado en *Android* es Java lo que provee las fortalezas de un lenguaje orientado a objetos. Se usó el *Android Developer Tools* (ADT) el cual está basado en el IDE Eclipse con el SDK de *Android* agregado. Adicionalmente para el desarrollo de los juegos se contó con el Framework LibGDX el cual facilita el uso del API *OpenGL ES* y provee herramientas como el empaquetador de texturas que facilitan la tarea de desarrollo.

Se consideran como candidatos para aplicar las terapias usando videojuegos en dispositivos móviles a niños entre 6 y 10 años por el pensamiento lógico concreto alcanzado a esta edad y dado que poseen las habilidades numéricas y de comunicación mínimas para la comprensión de la interfaz del juego. Debido a la variedad de patologías que acuden al Servicio de Rehabilitación Física del Hospital de Niños J.M. de Los Ríos se consideró clasificarlas en lesiones físicas, cognitivas y neurológicas. Dentro de los candidatos considerables se tiene a aquellos que presentan limitaciones en amplitud articular, coordinación, déficit de atención, alteraciones sensorio-perceptuales y cognitivas. A continuación se presenta cada una de las actividades de integración (videojuegos serios) desarrolladas en el presente trabajo.

4.1. Implementación de los Juegos

Esta sección detalla cómo fueron implementados cada uno de los juegos que se encuentran dentro de la aplicación. Dado que estos juegos son el componente central del trabajo es importante entender cómo y por qué fueron desarrollados.

4.1.1. Implementación del Juego Armar Figuras

Este videojuego presenta al usuario con una serie de partes de vehículos que van desde ruedas hasta ventanas o similares que actúan como piezas y una figura a la cual pertenecen dichas partes. El objetivo consiste en colocar cada pieza en su posición correcta haciendo uso de la pantalla táctil como control y realizando un ejercicio de *pinza digital* que simula el agarre de estas partes. La figura principal puede ser un avión, camión, tren o excavadora, dependiendo de la cantidad de piezas que se quieran dejar usar al paciente.

Al iniciar el juego piezas se encuentran del lado izquierdo de la pantalla en posiciones aleatorias y el paciente debe tomar cada una de ellas haciendo *pinza digital* y colocarlas sobre su posición correcta en la figura principal, por ejemplo tomar un ala de avión y colocarla al lado del fuselaje, cuando haya colocado todas las piezas en sus posiciones correctas sobre la figura se realizará una animación de victoria y aparecerá un diálogo indicando que ha completado la actividad. En la Fig. 18. Captura de pantalla del juego Armar Figura se puede apreciar una captura de pantalla de dicho juego.

Con esta actividad se busca realizar movimientos finos de la mano y los dedos para así activar y ejercitar estos. Dado que en general no se requieren demasiadas repeticiones del ejercicio para completar la actividad, esta se puede emplear para diagnósticos iniciales tanto del paciente como del dispositivo móvil.

La detección de la *pinza digital* es uno de los elementos fundamentales de los juegos y la aplicación. El framework LibGDX permitió realizar esto de manera sencilla pues la detección de múltiples contactos de dedos en la pantalla se hace a través de funciones ya implementadas que retornan la posición de los dedos en coordenadas de cámara. Luego sólo se calcula la distancia entre estos dos puntos y si es menor a cierto umbral configurable se está realizando la *pinza digital*. En la Fig. 19 se puede apreciar una ilustración de dicha funcionalidad y como además se emplea el punto medio de dicha pinza para determinar si se puede o no mover alguna pieza.

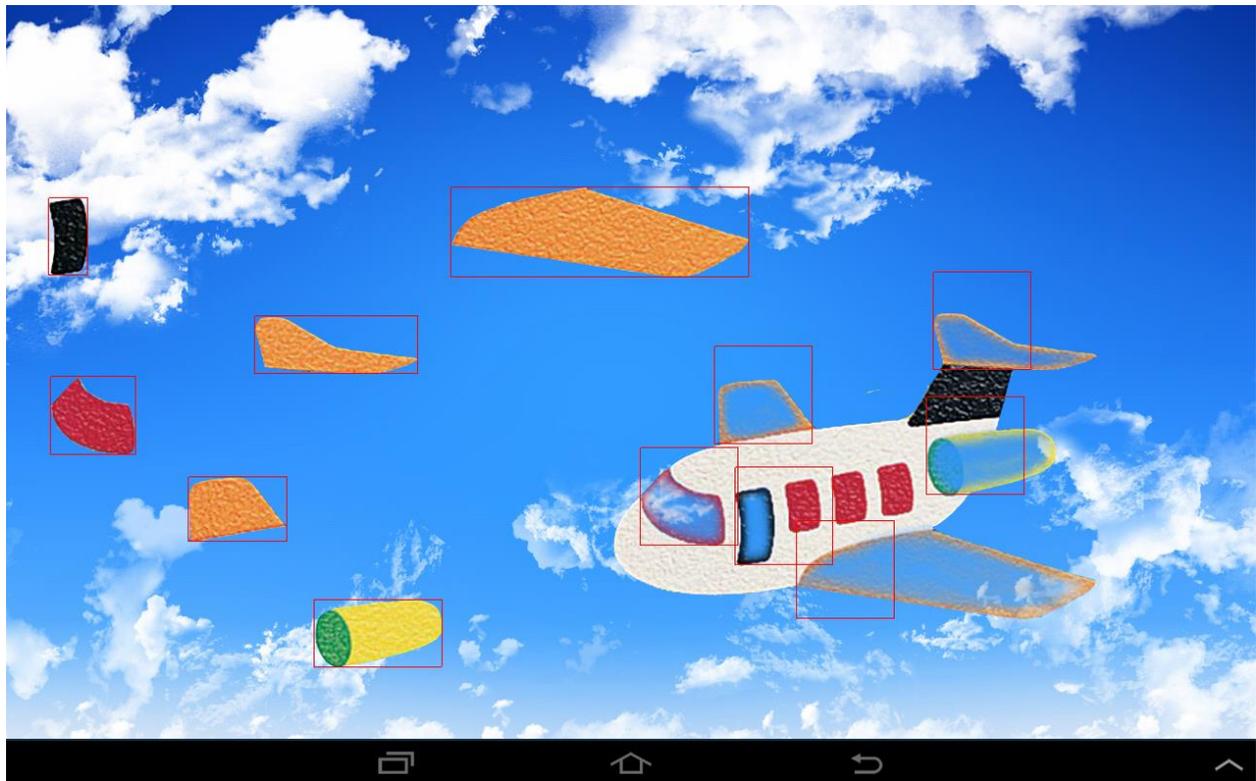


Fig. 18. Captura de pantalla del juego Armar Figura.

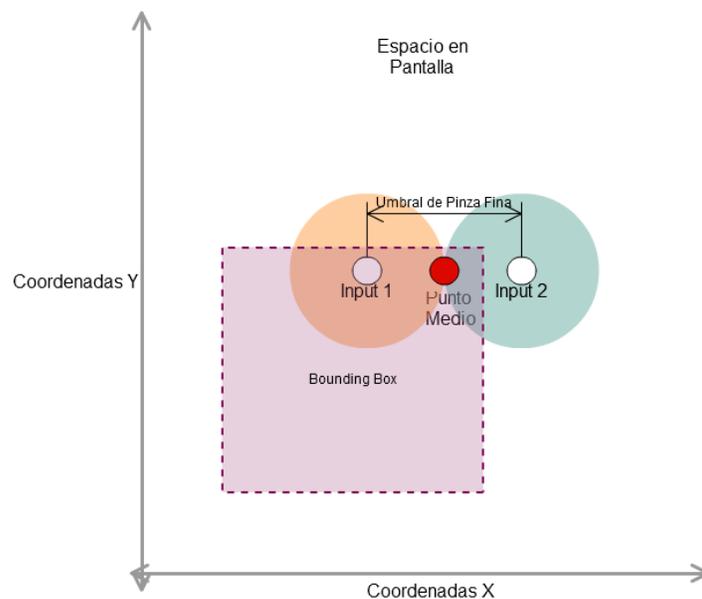


Fig. 19. Ilustración de la detección de *pinza digital*.

En el caso de las figuras representadas en el juego se trata de 2 arreglos, uno con cuadrados que representan las cajas delimitadoras (*bounding box*) y otro con las coordenadas en pantalla de las texturas usadas para las piezas. En otras palabras en que parte de la pantalla se despliegan las texturas. Ambos arreglos deben tener las mismas coordenadas en el mismo orden, luego cuando el paciente haga *pinza digital* sobre una de las figuras se calcula si el punto medio de la *pinza digital* está dentro de alguno de las *cajas delimitadoras*. En caso de estar dentro de la caja delimitadora se selecciona. Con lo que se colocan además los dos elementos de los arreglos, coordenadas para las texturas y coordenadas de *cajas delimitadoras* en la última posición de sus respectivos arreglos.

La razón de colocar la pieza en uso en la última posición del arreglo es porque dicho arreglo representa el orden de despliegue de las texturas en la pantalla. Al colocar de última una textura esta da la impresión de estar por encima de las otras piezas y así mantener al paciente enfocado en la pieza que está moviendo. Dentro del API de LibGDX este arreglo en particular es el contenedor de actores de la clase Stage (escenario) la cual es una abstracción empleada por el Framework para simplificar el desarrollo de videojuegos.

Un elemento interesante del desarrollo es que se debió medir la posición relativa de las piezas con respecto al modelo y guardar estos datos en un archivo para que luego durante la ejecución se transformen a coordenadas de pantalla permitiendo que el juego se ajuste a múltiples resoluciones con cambios menores aunque el enfoque de desarrollo es para tabletas con pantallas de 10.1 pulgadas.

4.1.2. Implementación del Juego La Fábrica

Inspirado en el juego con el mismo nombre de la versión para Kinect del proyecto *Therapie*, se desarrolló este juego con mecánica similar pero adaptada a los dispositivos móviles. En este juego se presenta al jugador con una línea de ensamblaje en una fábrica por la cual se mueven diversas piezas como tuercas o tornillos. El objetivo en este juego es tomar de la línea las piezas requeridas que se indican al comenzar y colocarlas en un contenedor ubicado debajo de la cinta transportadora de la línea de ensamblaje tal como se aprecia en la Fig. 20.

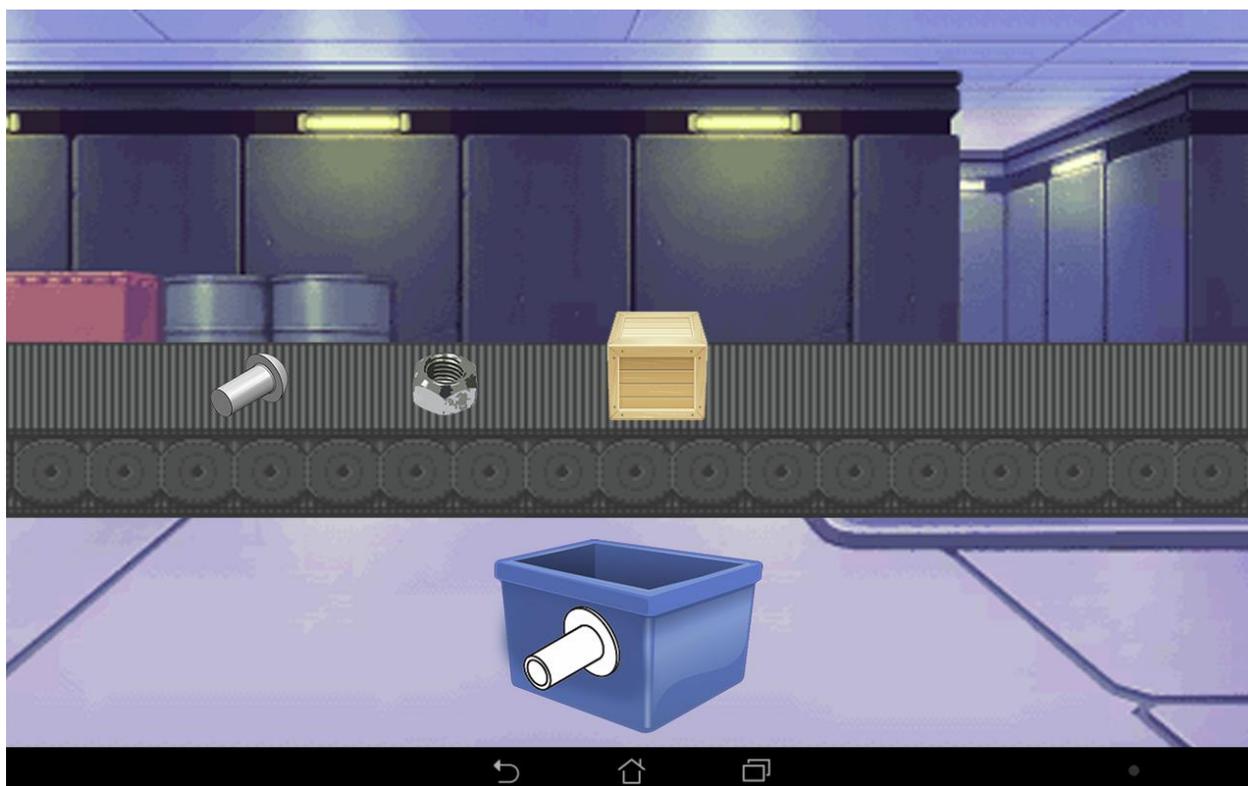


Fig. 20. Captura de pantalla del juego La Fábrica.

Dado que este juego puede tener una duración indefinida se debe establecer un temporizador para evitar que el paciente se canse por sesiones prolongadas. Sin embargo, dado que este juego tiene más elementos variables como tasa de piezas defectuosas o velocidad de la cinta transportadora e inclusive el color de las piezas, se considera que éste debería ser la actividad central a la hora de practicar *pinza digital* y desarrollar coordinación mano-ojo de los pacientes.

Cómo se mencionó con anterioridad este juego permite al personal médico encargado configurar ciertos parámetros que pueden hacer variar el nivel de dificultad, por ejemplo la velocidad a la que se mueven las piezas. Es importante entonces considerar que este juego se puede adaptar a los avances que desarrolle cada paciente, pero es responsabilidad y decisión del médico o terapeuta decidir cuál nivel de dificultad se adapta mejor a cada paciente.

Un aspecto interesante del diseño de este videojuego es el diseño y la presentación puesto que estos son los elementos primordiales para mantener la atención y motivar al paciente. Por esto se decidió que presentar sólo un fondo estático con figuras moviéndose sería muy monótono. Por lo tanto se decidió que se presentaría una cinta transportadora con movimiento y las piezas transportadas moviéndose con esta, todo con el fin de presentar un escenario creíble y animado. Para lograr el efecto de la cinta transportadora se utilizó la librería *Sprite* de LibGDX para manejo de texturas 2D y sus animaciones y efectos. Luego sólo se debe realizar un ciclo en el cual se mueven las coordenadas de textura, que en este caso sólo serían las verticales, cada intervalo definido de tiempo, desplazándose dentro de la textura como si fuera un rollo infinito y logrando el efecto óptico de movimiento de la cinta transportadora.

4.1.3. Implementación del Juego Vestir al Personaje

En este juego se presenta al paciente con una figura humana del lado derecho, esta figura debe ser vestida usando una serie de piezas de ropa que de manera similar al juego Armar Figuras. Las prendas de ropa deben colocarse en sus respectivas posiciones, con la diferencia de que las piezas serán de tamaño menor y se pueden incluir opciones de vestuario, por ejemplo camisa y franela o pantalón y short. En la Fig. 21 se muestra una captura del juego.

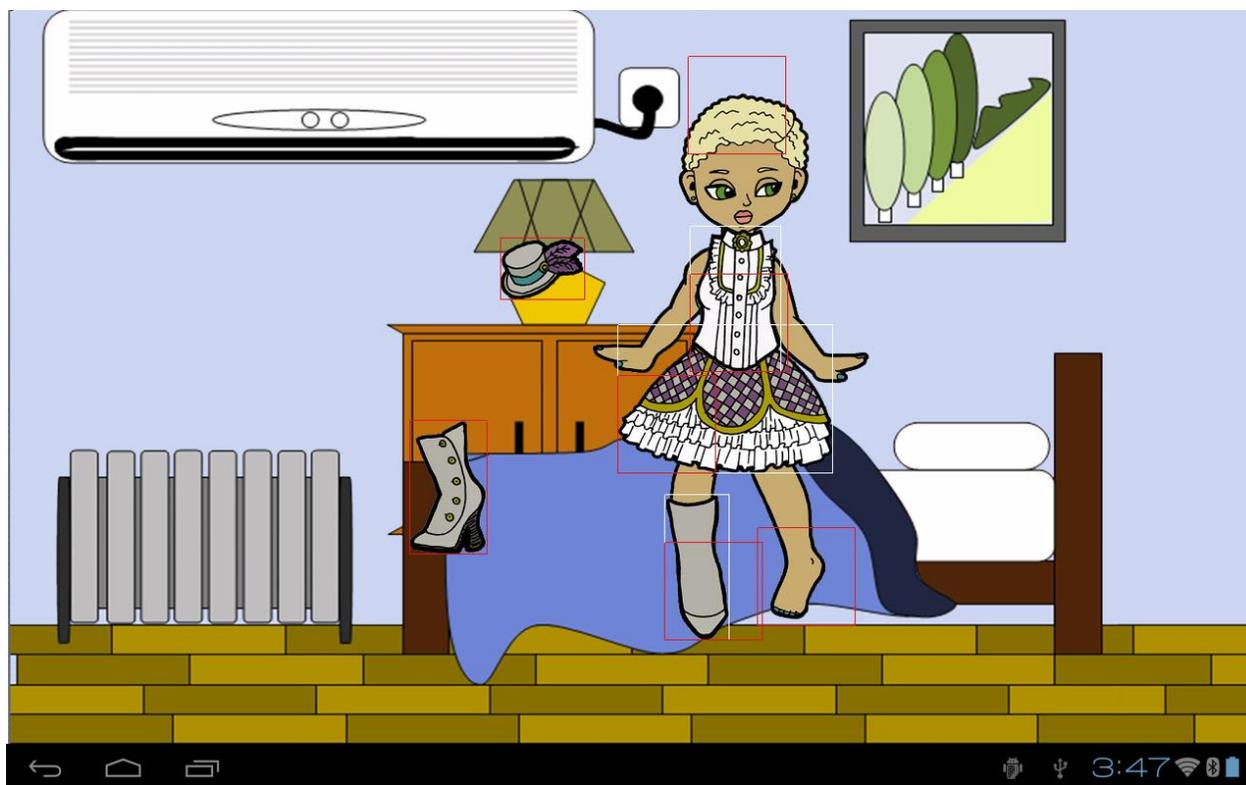


Fig. 21. Captura de pantalla del juego Viste al Personaje.

La mecánica de este juego es similar a la de armar la figura sin embargo el objetivo más allá de la práctica de *pinza digital* es lograr desenvolvimiento a nivel cognitivo. Esta meta se puede lograr al aprender, por ejemplo, cuáles son las prendas de vestir y dónde se usan. Con este juego se obtiene un nuevo propósito final que es permitir al niño desarrollar independencia en tareas cotidianas como vestirse. Según fue descrito por el personal médico, dado que los niños con discapacidades motrices suelen ser sobreprotegidos y cuidados en exceso por sus padres, ciertas tareas tan cotidianas como vestirse se realizan con ayuda o la realizan sus padres por ellos generándoles alto grado de dependencia.

Dado que la lógica detrás de esta actividad comparte elementos de los juegos anteriores su implementación se centró en buscar modelos de personajes y ropa que estos puedan usar. En cuanto se tienen los modelos, los cuales son simples imágenes en formato PNG, se procedió a usar software de edición de imágenes para limpiar y ajustar las resoluciones de modo que los atlas de texturas usados para los juegos no fueran de tamaño excesivo

4.1.4. Implementación del Juego Pintar y Rellenar Figuras

Como su nombre sugiere se presenta al paciente con un espacio similar a una hoja en blanco en donde éste puede usar un *stylus* o sus dedos para realizar trazados similares a dibujar. Se puede trabajar en dos modos, el primero es el *modo libre* donde el paciente podrá dibujar de manera autónoma. También se puede trabajar en el *modo actividad*, donde se le presentan una serie de figuras geométricas que deberá rellenar. En la Fig. 22. Captura de pantalla del juego Pintar y Rellenar Figuras, se puede apreciar una captura de pantalla de dicho juego, donde se pueden ver los elementos básicos de una aplicación de dibujos como lo es una paleta de colores, un selector del grosor de las pasadas y un selector de borrador y lápiz.

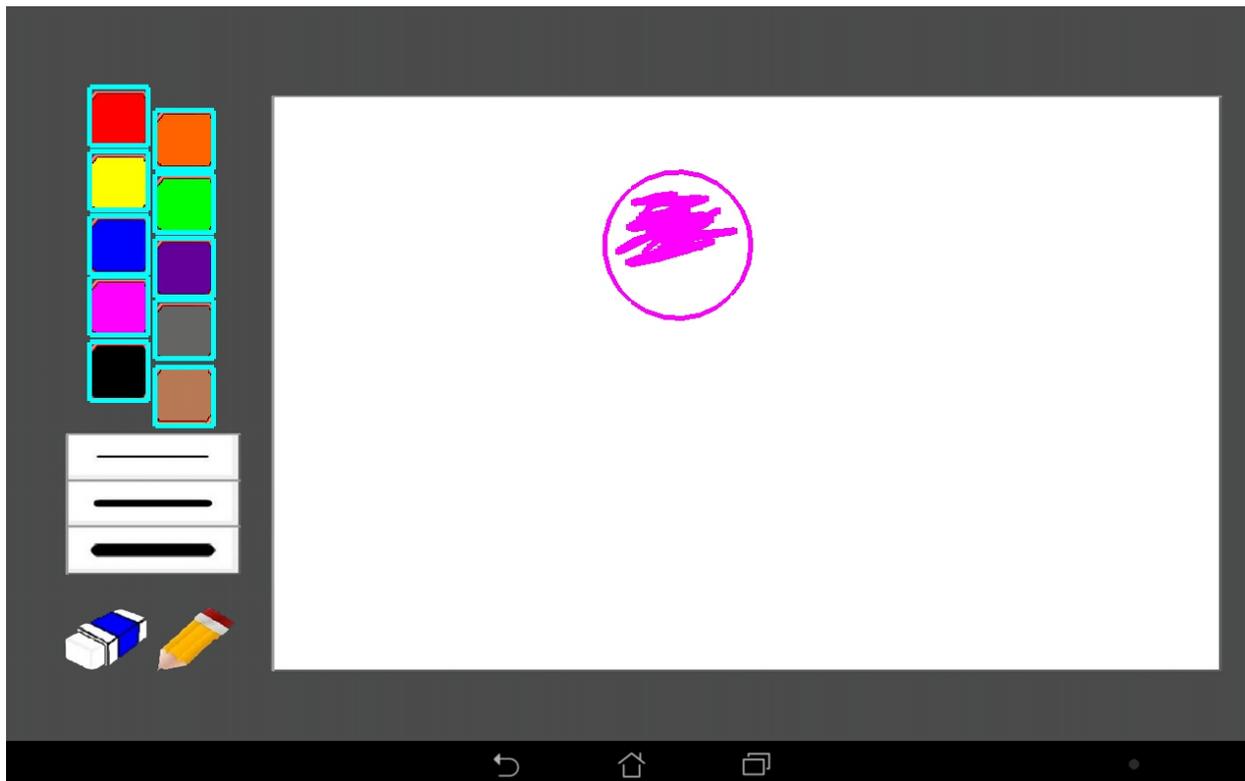


Fig. 22. Captura de pantalla del juego Pintar y Rellenar Figuras.

Esta actividad idealmente se debe realizar con un *stylus* de modo que el paciente practique manejo básico de lápices y utensilios de escritura lo cual es una habilidad básica para el normal desenvolvimiento de cualquier individuo y allí radica la importancia de que esta actividad se mantenga simple mientras se evalúa el estado del paciente y se induce a que gane más soltura en el uso de utensilios de escritura. Una manera sencilla de medir el avance del paciente con este juego es saber cómo rellena las figuras geométricas presentadas en el modo actividad, de modo que al saber el porcentaje de las figuras que se rellenan y cuánto del espacio exterior también es “pintado” se puede tener de manera numérica una estimación de que tan bien se desempeña el paciente usando el *stylus*.

Para lograr calcular el porcentaje de píxeles rellenos dentro de la figura se deben realizar dos pasos explicados a continuación: primero se toma una captura de pantalla para poder tener todos los píxeles en un arreglo ordenado y poder recorrerlos. Esta operación se logra de manera sencilla con el API de *LibGDX* y sólo requiere crear un buffer para guardar la información de los píxeles. No obstante, debido a que almacenar la información de cada píxel es una operación que consumía un tiempo considerable se optó por tomar únicamente los píxeles del área alrededor de la figura que se debe rellena, lo cual reduce el tiempo de esta operación y del paso posterior. Con los valores de color de los píxeles almacenados en el buffer, sólo resta recorrerlo buscando únicamente los píxeles que estén dentro de la geometría, cálculo que se facilita debido a que son figuras geométricas simples. Si el píxel evaluado está dentro de la figura, se compara el valor de color contra el valor del fondo para determinar si ese píxel fue pintado por el usuario (en cuyo caso se aumenta un contador de píxeles pintados).

Por último se calcula el área de píxeles en blanco de la figura y se usa para dividir el número de píxeles pintados, obteniendo así un porcentaje aproximado de área rellena o pintada. Para lograr un nivel mayor de precisión en este

porcentaje se puede restar el número producto del perímetro de la figura por el grosor en pixeles de los bordes de la figura logrando así obtener un mejor aproximado de cuántos pixeles internos fueron rellenos por el usuario. De manera similar se puede calcular cuántos pixeles externos fueron pintados, aunque este cálculo puede no ser exacto ya que si el usuario pinta fuera del área donde se toma la captura de pixeles, estos no serán contados.

4.2. Implementación del Servidor y Módulo para PC de Escritorio

A continuación se presenta cómo fue el desarrollo de la aplicación y programas adicionales. Se explica qué herramientas de desarrollo se emplearon así como cuáles APIs y bibliotecas hicieron posible el proceso de codificación de la solución planteada. Para cada uno de los módulos y juegos contenidos se explica de manera general cómo fueron programados y cómo interactúan los componentes.

4.2.1. Implementación de la Aplicación de Escritorio para Personal Médico

Esta aplicación fue desarrollada pensando en un método que permita al personal médico visualizar gráficas de los pacientes desde el computador central en caso de que no tengan acceso inmediato a las tabletas. El desarrollo fue hecho usando el IDE NetBeans dada la familiaridad que existe para crear interfaces gráficas de usuario (GUI) con este IDE y debido a que se mantenía el lenguaje de programación Java cuyas puntos fuertes fueron ya mencionados.

Esta aplicación consta de una serie de vistas o ventanas donde el personal médico puede visualizar datos básicos de los pacientes. En caso de haber datos de sesiones de juego también se puede generar y ver una gráfica con los datos de las últimas sesiones de juego que haya tenido el paciente seleccionado. En la Fig. 23 se pueden apreciar las vistas principales de la aplicación. Para poder visualizar uno de estos gráficos primero se debe acceder en la aplicación con un usuario y contraseña que acrediten al usuario como parte del personal médico. Luego puede buscar un paciente por su número de identificador, lo cual presentará una nueva ventana donde se ven los datos básicos del paciente y dónde se puede seleccionar que tipo de datos de sesiones de juego se desean graficar. La selección puede ser: nombre del juego (armar figura, la fábrica, etc.) y cuál dato en particular se quiere visualizar. Vale acotar que no todos los juegos tienen los mismos datos, (tiempo de juego, porcentaje de relleno, etc.) y por último si se desea ver un histórico de sesiones de juego o sólo la última sesión de juego.

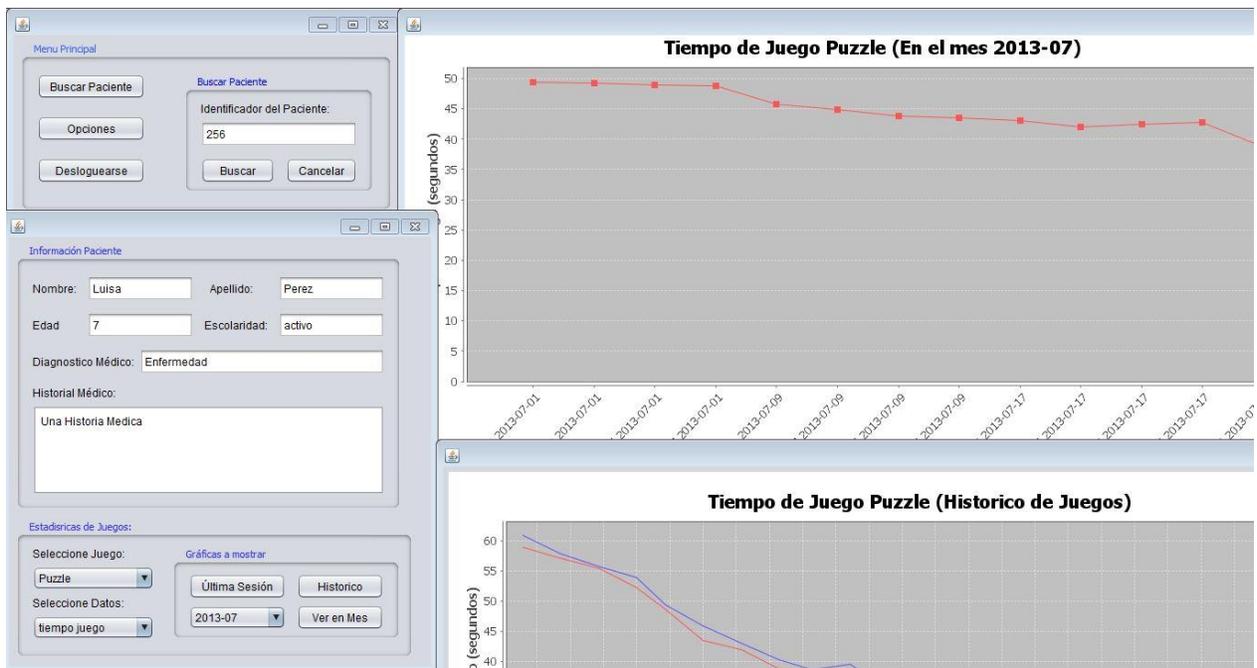


Fig. 23. Captura de pantalla de la aplicación de escritorio.

Una vez se hayan seleccionado los parámetros deseados se abrirá una última ventana mostrando la gráfica. En caso de que no se haya podido generar por falta de valores o algún error también se visualizará en esta misma ventana. Cabe destacar que esta aplicación no genera los gráficos sino que crea un archivo con los datos necesarios para generarlos y hace uso de una aplicación contenida en otro JAR ejecutable (generador de gráficos en la Fig. 15). A este generador de gráficos se le pasa como parámetro el nombre del archivo y espera por un mensaje de éxito que

debe ser arrojado por la salida estándar para tener certeza de que se generó una imagen con la gráfica y que puede presentar dicha imagen al usuario. Para lograr generar los gráficos se debió importar la librería JFreeChart.

La ejecución de este programa generador de gráficos es bastante sencilla pues sólo consiste en leer el archivo que se especifica como parámetro de ejecución y en este se define qué tipo de gráfico es (dependiendo si es sólo para datos de la última sesión o una serie en el tiempo para el histórico de sesiones de juego). Luego de determinar el tipo de gráfica se generan los conjuntos de datos que la alimentaran y se leen dichos datos de manera secuencial del archivo para por último crear la imagen que contendrá dicha gráfica y enviar el mensaje de éxito antes de finalizar su ejecución.

4.2.2. Implementación de los módulos de conexiones inalámbricas *Bluetooth* y *Wi-Fi*

Tal como se describió con anterioridad el primer módulo en desarrollarse fue el servidor de conexiones por medio de *Bluetooth* el cual fue programado en el lenguaje Python versión 2.7 dado que se buscaba programar y realizar pruebas ágilmente, este servidor hace uso de una implementación de sockets muy similar a la usada para TCP/IP sólo que en esta caso se establece un canal RF-COM como medio para la comunicación, dado que emplea sockets no fue complicado establecer el protocolo de mensajes ilustrado en la arquitectura de software y también fue posible implementar un método simple para transferencia de archivos entre los dispositivos conectados y el servidor. Dado que datos de personal médico como contraseñas son transmitidos por este medio, las conexiones establecidas se realizan a través de un canal RF-COM seguro y al recibir las contraseñas, por ejemplo, se utiliza la biblioteca Hashlib para calcular un String que contiene el resultado de aplicar el algoritmo MD5 a este dato, permitiendo almacenarlos en la base de datos con mayor seguridad.

Dado que el servidor debe también enviar gráficas con datos de los pacientes según sea requerido desde la aplicación en el dispositivo móvil, es necesario que sea capaz de extraer de la base de datos únicamente los datos requeridos y guardarlos en un archivo que al ejecutar el generador de gráficos lo alimente con datos extraídos indicándole como parámetro de ejecución el nombre del archivo con los datos, por esto se requirió de la biblioteca *subprocess* para ejecutar el programa generador de gráficos y capturar su salida estándar permitiendo saber cuándo termina su ejecución y en caso de ser correcta poder enviar el gráfico generado al dispositivo móvil.

Una complicación que surge de utilizar LibGDX como API para el desarrollo de los videojuegos es que no existe soporte para *Bluetooth* en el API sin embargo está documentado que utilizando una interfaz Java para crear un *facade* es posible acceder directamente a métodos nativos del API de *Android* o ejecutar Actividades, programas dentro de *Android*, con lo cual es posible hacer uso de *Bluetooth* o cualquier otra funcionalidad que no sea posible acceder desde LibGDX. Por lo tanto se decidió utilizar este enfoque para llamar al *facade* y ejecutar actividades *Android* cada vez que fuera necesario utilizar la conectividad por medio de *Bluetooth*, el único inconveniente de esto es un cambio en la interfaz gráfica puesto que se va de una interfaz hecha con la biblioteca UI de LibGDX a una interfaz nativa de *Android* lo cual podría confundir al usuario, pero dado que los botones y funciones son los mismos se espera que el impacto en un usuario promedio sea leve.

Por otro lado también es necesario contar con conectividad a través de *Wi-Fi* para esto y por recomendación de la comunidad de desarrollador de LibGDX se utilizó el API *Kryonet* el cual brinda una abstracción sobre los sockets de Java para TCP/IP y busca agilizar el desarrollo de aplicaciones cliente/servidor. Todo esto probado y utilizado en algunos juegos y aplicaciones hechos con LibGDX. Su cualidad más sobresaliente es el hecho de que se integra sin problemas al API de LibGDX permitiendo acceder a la conectividad de redes locales (LAN) desde el mismo código LibGDX lo que se traduce en una interfaz gráfica de usuario uniforme para conectarse al servidor por medio de *Wi-Fi*. Por otro lado su utilización en la cual se tiene un *listener* para el cliente y servidor permitiendo liberarse de llamadas bloqueantes como las de sockets da cierto grado de libertad que puede ser explotado en juegos o aplicaciones interactivas futuras.

En cuanto al servidor hecho con *Kryonet* para conectividad LAN, el desarrollo se enfocó en replicar las mismas funcionalidades, e inclusive mensajes, que tiene el servidor para *Bluetooth*, pero adaptándolas al esquema de *listeners* que emplea esta API. La única complicación que se presentó fue realizar la transmisión de archivos ya que no estaba extensamente documentado como realizar esto con el API, la solución para esto es usar un socket de Java que se abre en un puerto TCP distinto al del servidor y por este socket se envía el flujo de datos del archivo que se desee transmitir, en el caso particular de este proyecto se usa para transmitir los archivos de imágenes con gráficos sobre el desempeño de los pacientes. Como nota adicional cabe destacar que el servidor LAN puede estar ejecutándose en un computador conectado tanto por *Wi-Fi* como por cable a la red local ya que ambos tipos de interfaz hacen uso de TCP/IP y el único factor que permite la conectividad es que tanto cliente como servidor estén

en la misma red local dado que el cliente utiliza descubrimiento de servicios para determinar la dirección IP del servidor y realizar la conexión lo cual también facilita la tarea del usuario final puesto que no tiene que colocar dirección o algo similar para conectar los módulos del proyecto.

4.2.3. Implementación de la Gestión Local de Datos

Dado que la aplicación de dispositivos móviles requiere almacenar y acceder a diversos datos que pueden ir desde el identificador del médico o terapeuta que esté usando el dispositivo hasta las configuraciones de juegos o inclusive las mismas estadísticas y datos recabados por cada paciente, inclusive dado que deben ser accesibles desde actividades *Android* y la aplicación LibGDX fue necesario estructurar como se almacenarían y manejarían los datos. Para esto se utilizan dos métodos, el primero y quizás más conocido es el uso de archivos con texto plano, esto se utiliza principalmente para grandes volúmenes de datos como lo son por ejemplo los resultados de las sesiones juegos de los pacientes antes que se sincronicen con el servidor, la única particularidad de este método es que se deben guardar en directorios del sistema de archivos *Android* que permitan acceso tanto del API nativo como de LibGDX, una vez encontrada la ruta, que generalmente es el directorio `/data` no hubo mayor complicación.

Por otro lado para almacenar datos más puntuales y cuyo acceso requiera menos complejidad y tiempo se usan las preferencias compartidas (*Shared Preferences*), estas son simplemente un conjunto de duplas clave/valor que utiliza el sistema operativo *Android* y al cual tiene acceso directo el API de LibGDX, esto permite tener un medio de comunicación entre las actividades nativas *Android* y la aplicación LibGDX en el cual se pueden almacenar tipos de datos básicos como String, Int o Boolean para luego acceder en cualquier momento o módulo de la aplicación de manera eficiente y al guardar se tiene la garantía de que estos datos se mantendrán en el tiempo hasta que sean editados nuevamente. Dado que sólo permite almacenar datos puntuales, este método es usado para almacenar información como la configuración de los juegos o el identificador el paciente seleccionado por el médico para jugar en el dispositivo móvil.

Como mención particular está el hecho de que ciertos datos son almacenados de manera volátil en la clase que hace las veces de contexto y actividad para *Android* por LibGDX, ya que el objeto inicializado es pasado a cada pantalla e instancia de la aplicación LibGDX es posible almacenar ciertos datos de manera local pero que pueden ser accedidos rápidamente cuando se necesiten en alguna vista o juego, aunque con el uso de preferencias compartidas su uso queda muy limitado.

Capítulo 5. Pruebas, Resultados y Análisis

En el siguiente capítulo se exponen distintos resultados y análisis derivados de estos con el fin de medir las capacidades de la solución desarrollada en este trabajo. Las pruebas buscan corroborar que la solución y todos sus módulos funcionan como fueron diseñados y de manera estable. Permitiendo corroborar que cualquier usuario final tendrá una experiencia satisfactoria. Y que los objetivos planteados al comenzar el desarrollo de este trabajo se puedan cumplir a cabalidad. La mayoría de las pruebas de dispositivos móviles se realizaron en una tableta *Samsung Galaxy Tab2* de 10.1 pulgadas (modelo GT-P5113) con pantalla TFT, procesador de doble núcleo de 1GHz y 1GB de memoria RAM. Todas las características son similares con tabletas de otras empresas y por ende son el factor común y principal para el desarrollo de la solución propuesta en el trabajo.

5.1. Pruebas de Funcionamiento y Rendimiento

Una de las principales pruebas que se realiza a cualquier aplicación o solución computacional es sobre su rendimiento y funcionamiento. De esta manera se puede saber la cantidad de recursos de hardware mínimos para que pueda ejecutarse con normalidad. Estas pruebas tienen mayor peso en dispositivos móviles dado que los mismos suelen tener recursos más limitados que en computadores personales modernos y por ende es un factor limitativo al desarrollo de aplicaciones en estos. En el caso de las mediciones de rendimiento, se enfocarán principalmente en los juegos desarrollados puesto que estos son los módulos con mayor impacto en el rendimiento del sistema dada su naturaleza como aplicaciones interactivas.

5.1.1. Consumo de Memoria (*Heap*)

La memoria de los dispositivos móviles es escasa y conocer cuánto de esta memoria es consumida por las aplicaciones es fundamental. La herramienta ADT provee a través de una interfaz de usuario toda la información relevante al consumo de memoria, la cual se presenta a continuación con gráficos por cada uno de los juegos.

A continuación se presentan la Tabla 1. Datos del consumo de memoria asignada en juego Armar Figura. Fig. 24. Gráfico ilustrativo del consumo de memoria asignada en juego Armar Figuras; Tabla 2 y Fig. 25 del juego Viste al Personaje; Tabla 3 y Fig. 26 del juego La Fabrica; Tabla 4 y Fig. 27 del juego Pintar y Rellenar; y por último se consolidan y comparan estos datos con las Fig. 28 y Fig. 29. Con estas gráficas se pueden apreciar los valores de utilización y tamaño de la memoria dinámica y asignada que fueron recabados durante las pruebas de ejecución con lo cual se busca lograr un entendimiento basado en datos numéricos de la aplicación y su rendimiento en cuanto a uso de memoria.

- Juego Armar Figura:

	Tamaño de Pila (MB)	Asignado (MB)	Libre (MB)	% Usado
Promedio	12,98883	9,476867	3,512067	73,5122
Desviación	2,400366	1,446394	1,210752	4,818875
Máximo	17,066	12,367	6,44	77,7
Mínimo	9,836	7,56	2,242	58,28

Tabla 1. Datos del consumo de memoria asignada en juego Armar Figura.

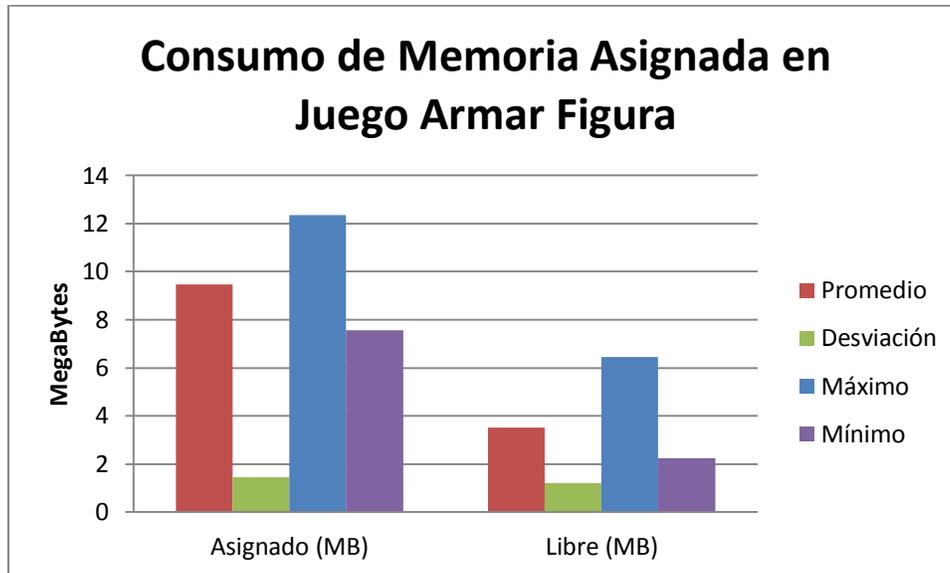


Fig. 24. Gráfico ilustrativo del consumo de memoria asignada en juego Armar Figura.

- Juego Viste al Personaje:

	Tamaño de Pila (MB)	Asignado (MB)	Libre (MB)	% Usado
Promedio	10,9424	7,911533	3,0311	72,173
Desviación	1,365264	1,182399	0,480775	4,02571
Máximo	13,051	9,97	4,039	79,4
Mínimo	8,73	5,865	2,232	63,65

Tabla 2. Datos del consumo de memoria en juego Viste al Personaje.

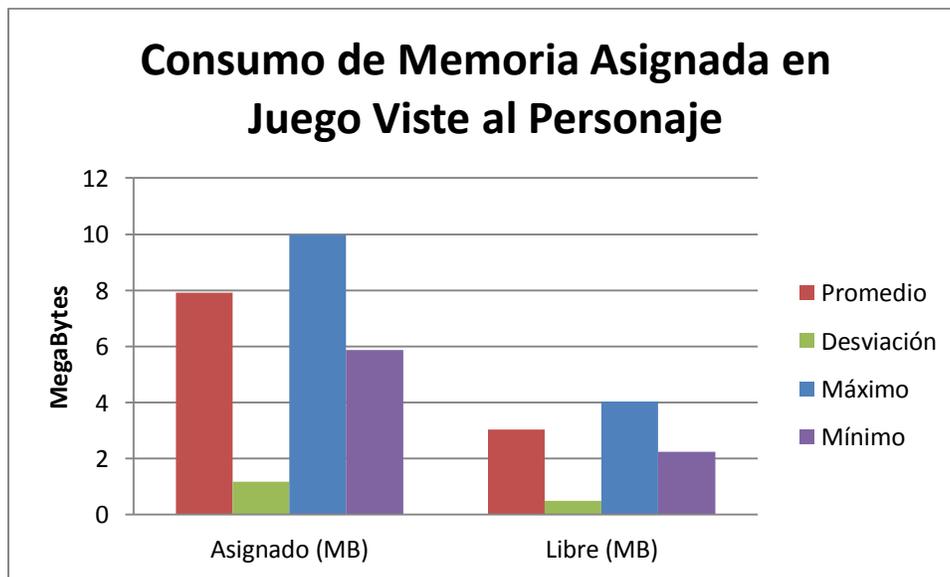


Fig. 25. Gráfico ilustrativo del consumo de memoria asignada en juego Viste al Personaje.

- Juego La Fábrica:

	Tamaño de Pila (MB)	Asignado (MB)	Libre (MB)	% Usado
Promedio	12,33543	9,055633	3,288767	73,34967
Desviación	2,323119	1,802263	0,659193	3,121948
Máximo	16,301	12,33	4,35	77,19
Mínimo	8,562	5,778	2,054	65,98

Tabla 3. Datos del consumo de memoria asignada en juego La Fábrica.

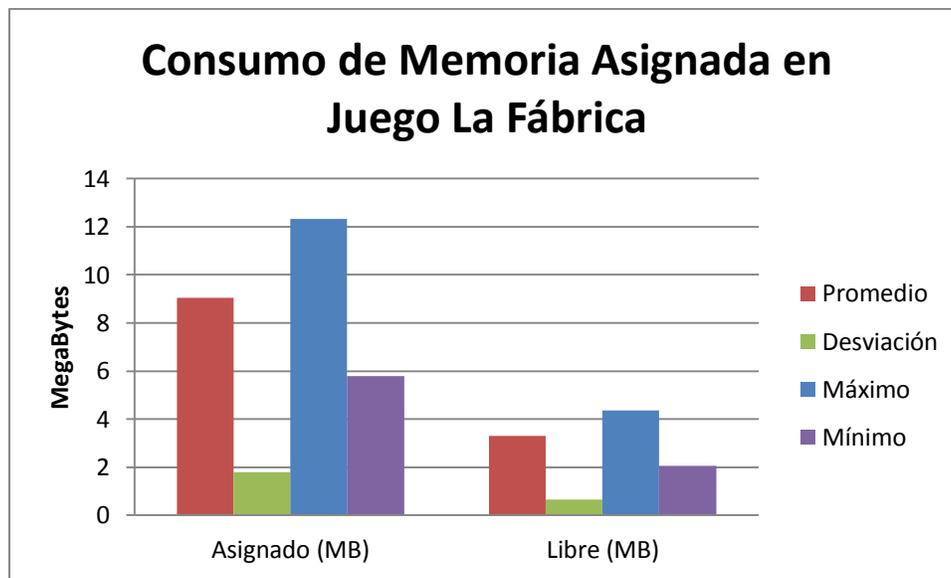


Fig. 26. Gráfico ilustrativo del consumo de memoria asignada en juego La Fábrica.

- Juego Pintar y Rellenar Figuras:

	Tamaño de Pila (MB)	Asignado (MB)	Libre (MB)	% Usado
Promedio	10,3508	7,6441	2,874733	73,84947
Desviación	1,129724	1,00624	0,978384	2,550929
Máximo	12,531	9,512	7,929	79,174
Mínimo	8,625	6,012	2,292	65,99

Tabla 4. Datos del consumo de memoria asignada en juego Pintar y Rellenar Figuras.

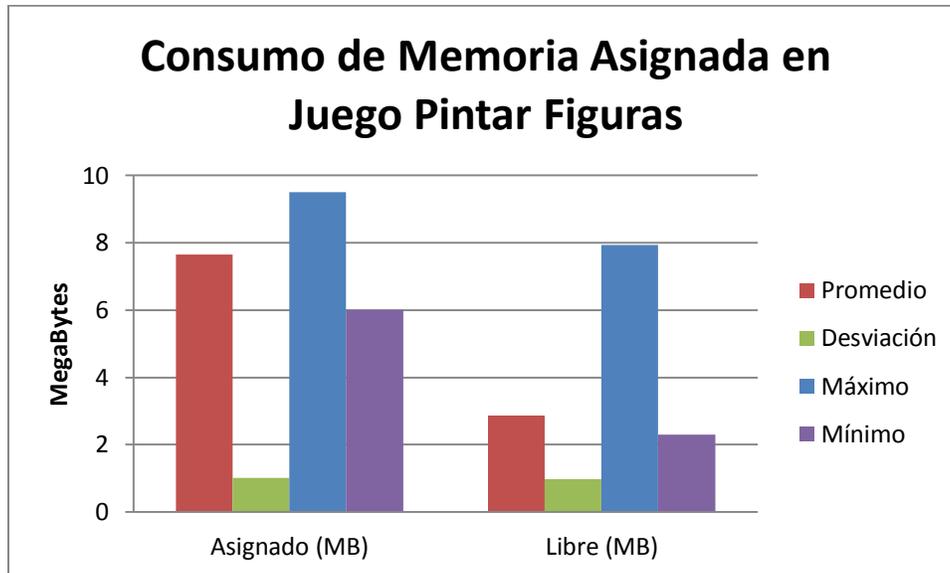


Fig. 27. Gráfico ilustrativo del consumo de memoria asignada en juego Pintar y Rellenar Figuras.

Tomando estos valores de los distintos juegos se puede realizar una comparación sobre la utilización de la memoria. De esta manera se puede tener una idea general del consumo de memoria de los juegos que se emplean en la solución desarrollada en este trabajo.

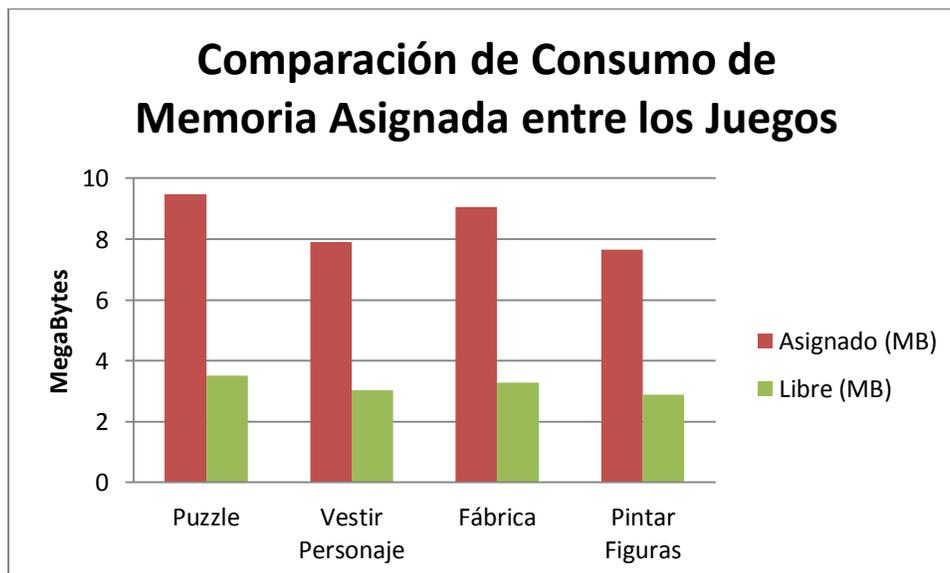


Fig. 28. Gráfica comparativa del consumo de memoria asignada en MB de los juegos.

Como es de esperarse los valores del consumo de memoria son bastante cercanos para todos los juegos con diferencias no mayores a 2 MB. Con esto se da buen indicio de la capacidad tanto del API de desarrollo como del sistema operativo *Android* para sustentar y ejecutar cómodamente aplicaciones interactivas como juegos. Dentro de la comparación entre cada uno de los juegos se puede notar que los dos juegos con mayor tamaño de memoria dinámica de memoria asignada fueron el juego Armar Figura y el juego La Fábrica.

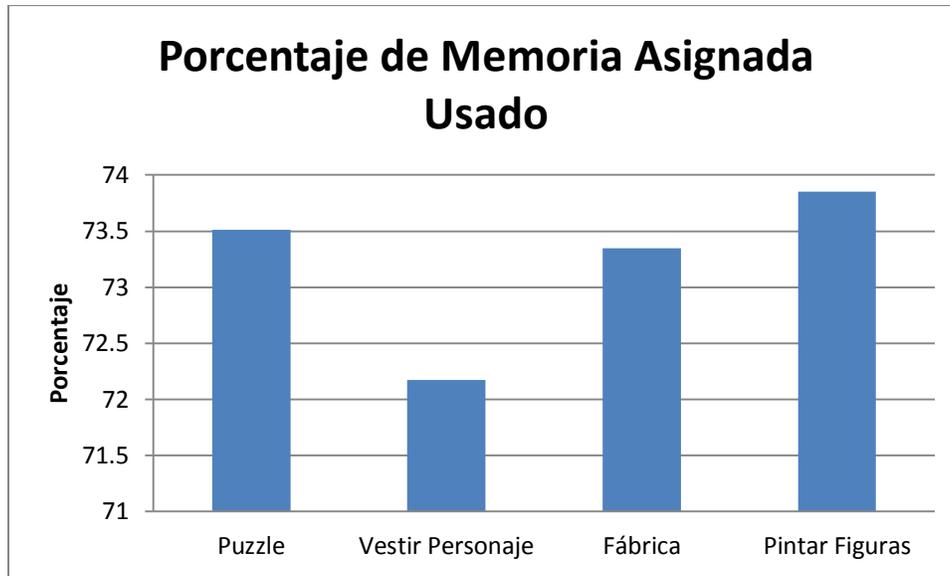


Fig. 29. Gráfica comparativa del porcentaje de consumo de memoria asignada usado por cada juego.

Esto puede deberse a que son los juegos que emplean mayor cantidad de texturas, imágenes, con alta resolución en pantalla durante un momento determinado. Sin embargo, la diferencia con los otros juegos es relativamente pequeña por lo cual no surge preocupación sobre el consumo de memoria de estos dos juegos. Es también notable que el juego de Pintar y Rellenar Figuras tenga el mayor porcentaje de memoria asignada aun cuando el tamaño de su pila es el más pequeño. Esto puede deberse a que se necesitan estructuras de datos que almacenan gran cantidad de números en punto flotante (posiciones de pantalla donde se ha pintado) y dado también a que debe crear repetidamente un arreglo bidimensional con información de color (24bits por pixel) de la zona donde se encuentra la figura objetivo del juego.

Como análisis final de estos valores y gráficos sobre consumo de memoria se puede observar que los valores son bastante aceptables para juegos que corren en una tableta con 1GB de memoria RAM. Inclusive se puede pensar en realizar juegos con mayor cantidad de elementos gráficos como texturas o imágenes y estructuras de datos adicionales para que en futuros desarrollos se tengan juegos más complejos y entretenidos a los probados en esta solución.

5.1.2. Uso de la CPU

Otro factor a considerar cuando se realiza el desarrollo de las aplicaciones móviles es el uso del CPU puesto que es otro recurso limitado en particular para los dispositivos móviles. Por esto es importante realizar mediciones sobre la carga en el CPU que realiza cada uno de los juegos que forma parte de la solución desarrollada. Puesto que son los módulos con mayor demanda de recursos de hardware dadas sus características interactivas, la evaluación se realizó durante la ejecución de los juegos. De manera similar al consumo de memoria se realizaron 30 corridas de cada juego donde se midieron los porcentajes de carga. Se tomaron en cuenta tanto los comandos del usuario como las llamadas al sistema del Kernel que resultaron de la ejecución de estos juegos. Teniendo entonces que la suma de ambos será el porcentaje total de carga sobre el CPU de los juegos durante su ejecución. A continuación una tabla donde se pueden comparar los valores recopilados y luego una gráfica donde se ilustra esta comparación de valores.

Porcentaje de utilización de la CPU								
	Armar Figura		Viste al Personaje		Fábrica		Pintar Figuras	
	Usuario	Kernel	Usuario	Kernel	Usuario	Kernel	Usuario	Kernel
Promedio	19,001	6,563333	20,17067	7,08	22,493	5,936667	22,70033	5,406667
Desviación	2,988805	1,851837	12,48312	2,958207	3,027511	1,945851	8,735976	1,171678
Máximo	25,17	11,7	32,22	11,8	26,18	10,7	28,2	7,5
Mínimo	15,11	4,3	16,11	5,3	18,13	4,2	18,13	3,4

Tabla 5. Comparación de porcentaje de uso del CPU por cada juego.

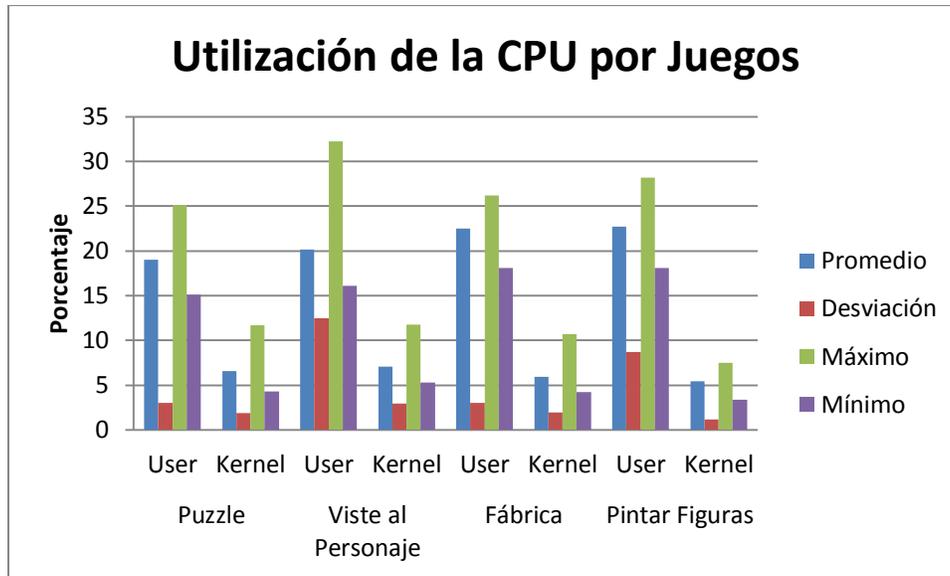


Fig. 30. Gráfica comparativa del porcentaje de uso de la CPU por cada juego.

Dado que se utilizó el entorno de desarrollo ADT bajo Eclipse se tuvo acceso a varias herramientas que proveen información sobre las aplicaciones en desarrollo y su consumo de recursos dentro de los dispositivos móviles. Estas herramientas proveen inclusive de gráficos particulares que informan cómo es el comportamiento dentro del sistema operativo con otros procesos y aplicaciones. De esta manera se puede tener una idea más clara de cómo será el comportamiento de la aplicación en un uso cotidiano. A continuación se presentan estos gráficos generados por la herramienta ADT, estos son: Fig. 31. Gráfica comparativa del uso de la CPU del juego Armar Figura Fig. 32, Fig. 33 y Fig. 34. Donde se ilustra de manera general con el porcentaje de uso del CPU, tanto el usado directamente por las llamadas al sistema del usuario como por las llamadas del sistema que requieren del Kernel. También se puede apreciar que los porcentajes en estas gráficas se corresponden de manera aproximada con los valores consolidados mostrados en la Tabla 5. Comparación de porcentaje de uso del CPU por cada juego.

- Juego Armar Figura:

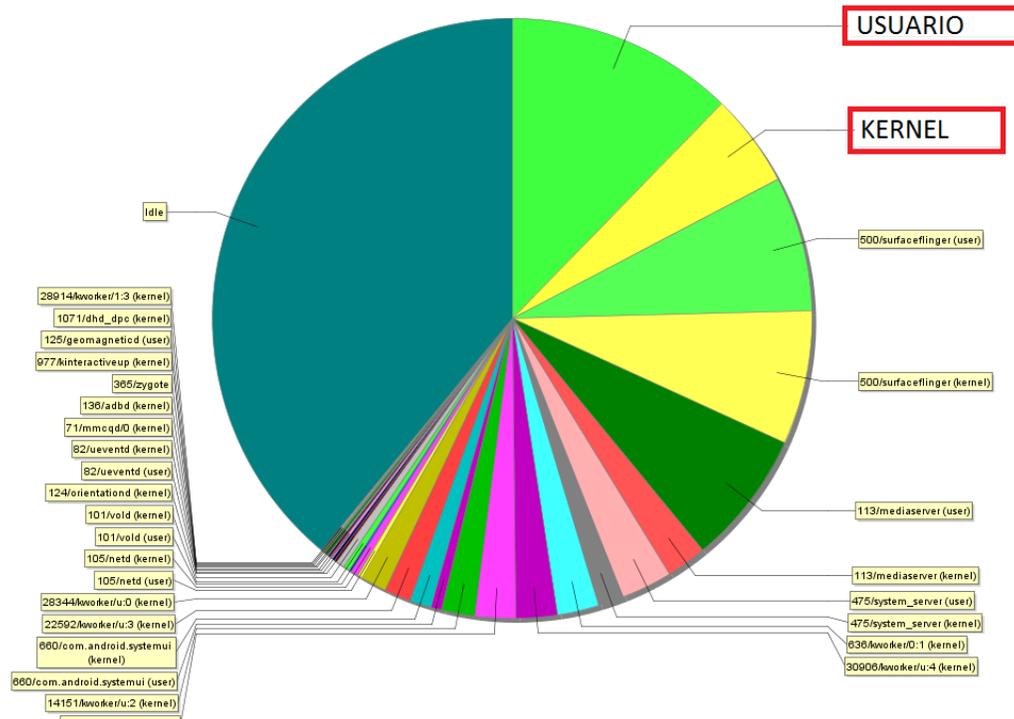


Fig. 31. Gráfica comparativa del uso de la CPU del juego Armar Figura. Resaltado en rojo el consumo realizado por el proceso en espacio de Usuario y Kernel.

- Juego Viste al Personaje:

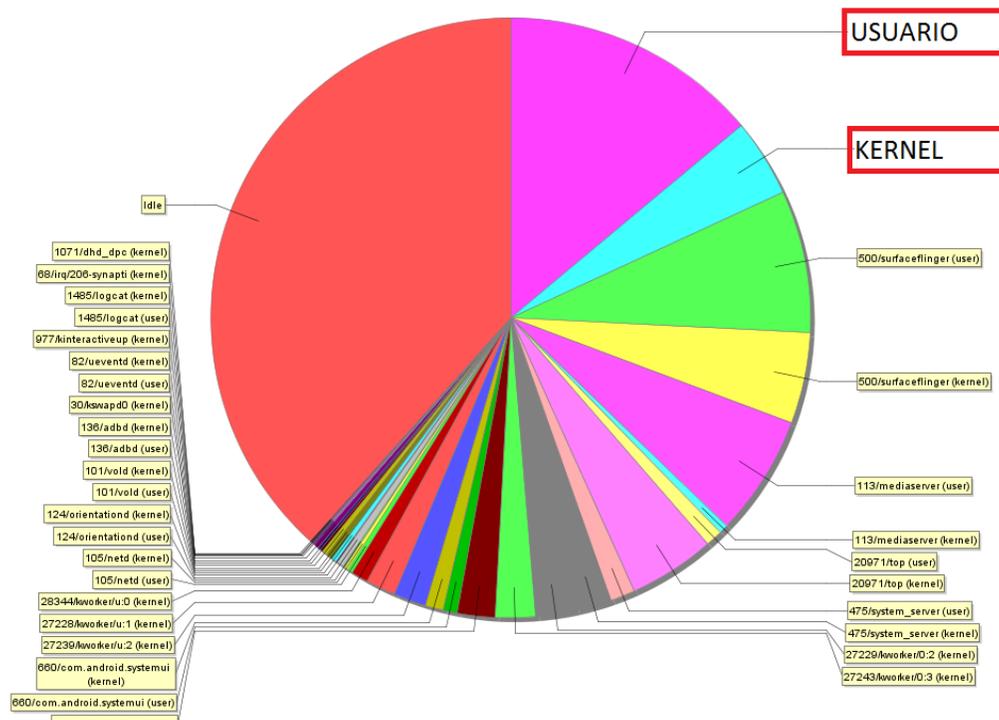


Fig. 32. Gráfica comparativa del uso de la CPU del juego Viste al Personaje. Resaltado en rojo el consumo realizado por el proceso en espacio de Usuario y Kernel.

- Juego La Fábrica:

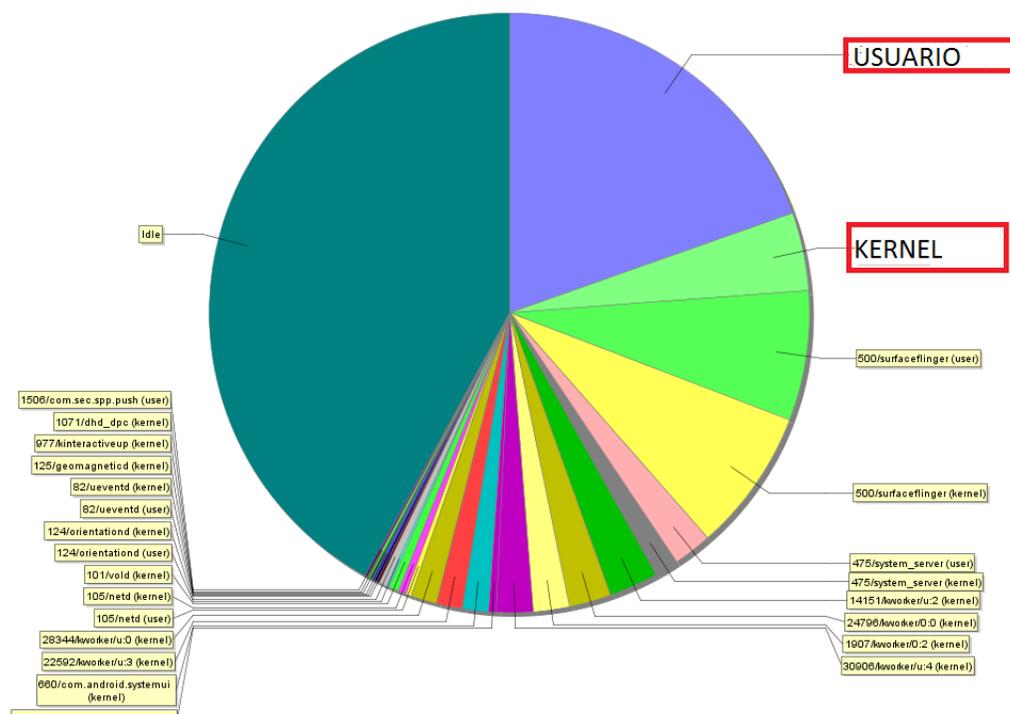


Fig. 33. Gráfica comparativa del uso de la CPU del juego La Fábrica. Resaltado en rojo el consumo realizado por el proceso en espacio de Usuario y Kernel.

- Juego Pintar y Rellenar Figuras:

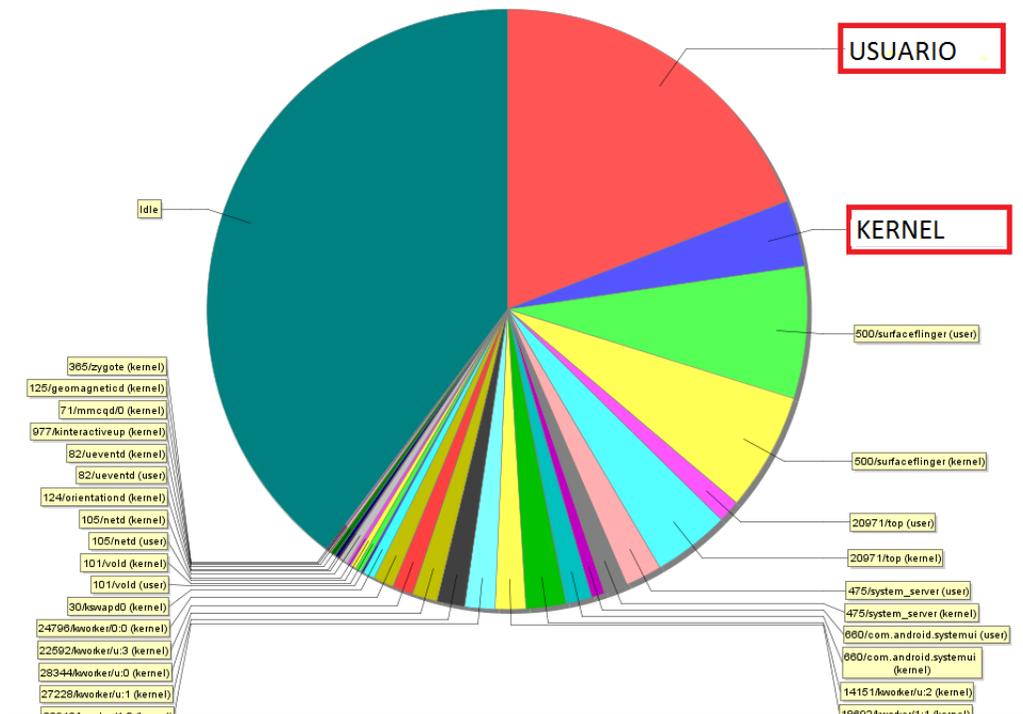


Fig. 34. Gráfica comparativa de la uso del CPU del juego Pintar y Rellenar Figuras. Resaltado en rojo el consumo realizado por el proceso en espacio de Usuario y Kernel.

De los valores recopilados y las gráficas obtenidas se aprecian los porcentajes de utilización del CPU que genera cada uno de los juegos. Los valores se encuentran dentro de lo esperado para aplicaciones interactivas a pesar de que los porcentajes de carga son comparativamente grandes en relación a otros procesos y servicios, que además se ejecutan en segundo plano. Sin embargo, no opacan por ejemplo al servicio *surfaceglinder* el cual se encarga de realizar la composición gráfica de superficies que es el último paso antes de la rasterización de imágenes en pantalla. Esto indica que la carga total sobre el CPU resultante de mantener los juegos en ejecución es manejable para la tableta con sus recursos limitados de hardware.

5.1.3. Cuadros por Segundo (CPS)

Una métrica importante en particular para los juegos y aplicaciones interactivas es la cantidad de cuadros que pueden ser desplegados por la pantalla en un segundo durante su ejecución normal. Dado que el ojo humano percibe la sensación de animación y movimiento sólo cuando se muestran más de 24 cuadros por segundo, es importante mantener esta tasa por encima del valor mínimo. Entre mayor cantidad de cuadros más fluida será la animación, y al mantener una tasa constante se puede garantizar una experiencia de usuario equilibrada. Los CPS también suelen ser usados como métrica de capacidad de procesamiento gráfico en juegos y aplicaciones de alto consumo de recursos. En el caso de esta aplicación que utiliza gráficos en 2D, los recursos son suficientes, aun cuando son de un dispositivo móvil, y el foco debe ser en la estabilidad de las tasas de cuadros por segundo.

Las mediciones de CPS se realizaron con la ayuda de una herramienta del API de LibGDX que captura la cantidad de cuadros por segundo a los que se ejecuta cada juego- Luego se despliega esta información en el visor de bitácoras, logs, llamado *logcat* dentro de Eclipse permitiendo llevar un registro continuo de los cuadros por segundo. Luego es posible consolidar la información en tablas o gráficos como los mostrados a continuación.

Cuadros por Segundo (CPS)

	Armar Figura	Viste al Personaje	La Fábrica	Pintar Figuras
promedio	54,27854	55,24638	58,22023	54,06152
desviación	11,35984	7,686337	5,248914	6,93105
máximo	61	61	61	61
mínimo	4	16	5	25
moda	59	59	60	60

Tabla 6. Comparación de CPS de los Juegos.

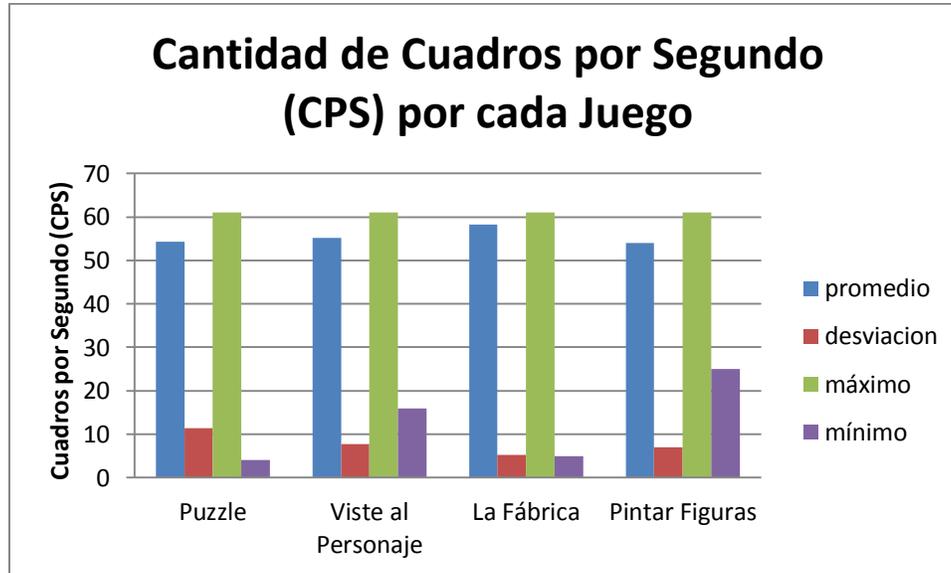


Fig. 35. Gráfica comparativa de CPS por cada juego.

Como es de esperarse los cuadros por segundo en todos los juegos muestran valores promedio altos y cercanos a los 60 CPS. Cabe destacar que LibGDX limita por defecto la cantidad de cuadros por segundo a 60 debido a que valores por encima de éste no aportan nada a la experiencia general del jugador o usuario. Razón por la cual los valores máximos en todos los juegos son 61 CPS. Lo interesante de estas mediciones son los valores mínimos puesto que están por debajo de los 24 CPS y es importante conocer si estos pueden tener algún impacto sobre la jugabilidad o experiencia de los jugadores/pacientes. La razón principal por la cual existen valores por debajo de los 24 CPS es debido a que las mediciones comienzan cuando se cargan los elementos de cada juego. En esta fase los cuadros toman un tiempo considerable para ser desplegados y esto se refleja en las mediciones. Sin embargo, esta fase ocurre únicamente al inicio de cada juego lo cual suele ser casi imperceptible para los usuarios y no pone en entredicho la interactividad de los juegos.

5.2. Pruebas Iniciales con Niños

Como parte fundamental del desarrollo de la aplicación está el probar los juegos con sus usuarios finales, los niños. Razón por la cual se realizaron una serie de pruebas cortas con niños cuyas edades están dentro de las establecidas inicialmente. Estas pruebas cortas sólo tienen como objetivo determinar el agrado de los juegos entre los niños y si es viable capturar datos del desempeño de cada juego. Gracias a las ilustraciones empleadas para la presentación gráfica de los juegos, estos fueron bien recibidos por los niños con lo cual se pudieron capturar algunos datos. Aunque los datos recabados fueron limitados, permiten extrapolar hacia posibles resultados. En la siguiente figura se muestra una de las pruebas realizadas durante el juego Armar Figura para practicar *pinza digital*.



Fig. 36. Niño realizando *pinza digital* en el juego Armar Figura.

Como resultados de estas pruebas iniciales se generaron algunas gráficas, usando el generador de gráficos del sistema presentado en este trabajo. Se pudieron observar unos resultados iniciales alentadores tanto a nivel de receptividad de los niños como en los datos capturados. Es importante resaltar que estas pruebas fueron realizadas por un periodo de tiempo muy corto y que se realizaron durante una fase de afinación. Por lo cual fases futuras de pruebas deben ser realizadas con personal médico capacitado, con mayor número de niños y por periodos de tiempo que permitan corroborar la capacidad real de esta solución como apoyo a las terapias de rehabilitación de motricidad fina en niños. Sin embargo, a continuación se muestran algunas gráficas generadas en base a estos datos y otras realizando una extrapolación de los mismos en conjunto con los recopilados por el proyecto *Therapie* original lo cual puede servir como indicativo del tipo de progresos esperados.

Los gráficos de progreso que se muestran a continuación Fig. 37. Comparación de tiempos de juego en Armar Figura se corresponden con dos pacientes, el primero con mayor número de sesiones por semana, 3 sesiones por semana, y menos juegos por sesión, dos intentos de cada juego por sesión; en contraste se tiene uno con sólo una sesión por semana pero jugando cada uno de los juegos cuatro veces por sesión.

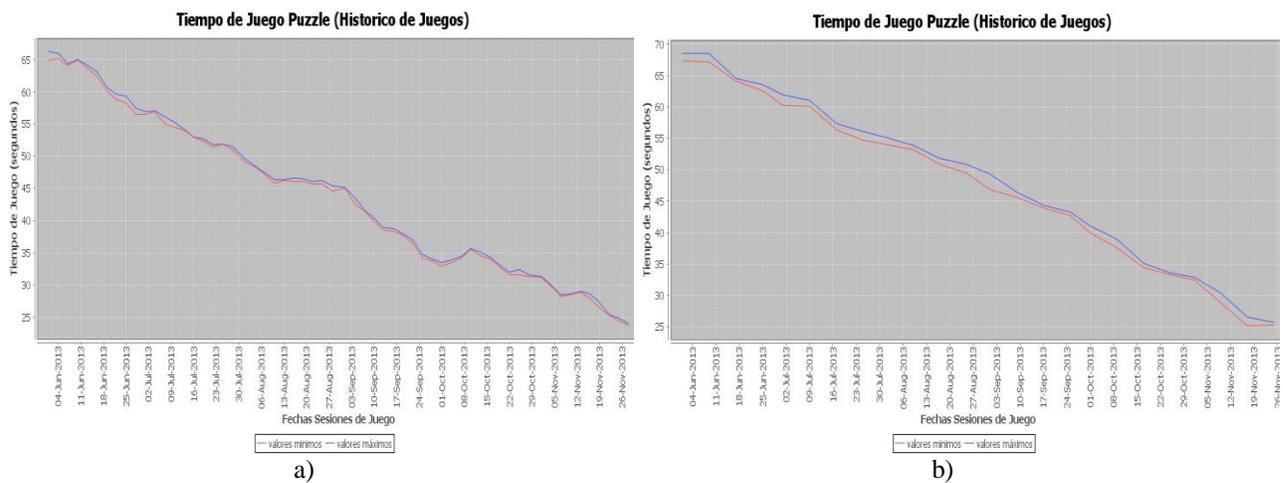


Fig. 37. Comparación de tiempos de juego en Armar Figura: a) niño con más sesiones por semana, b) niño con menos sesiones por semana.

Como se puede apreciar en la gráfica el paciente con mayor número de juegos por sesión es aquel que atiende más veces por semana, gráfica a), y por ende su progreso es más rápido que el paciente con menor cantidad de juegos, gráfica b). Sin embargo, las diferencias de tiempo no son tan grandes como para determinar si alguno de los dos enfoques tiene mayor efectividad en una terapia de rehabilitación completa. Más aún, si se extrapolan estos datos por un periodo de seis meses los resultados deberían ser similares a los siguientes.

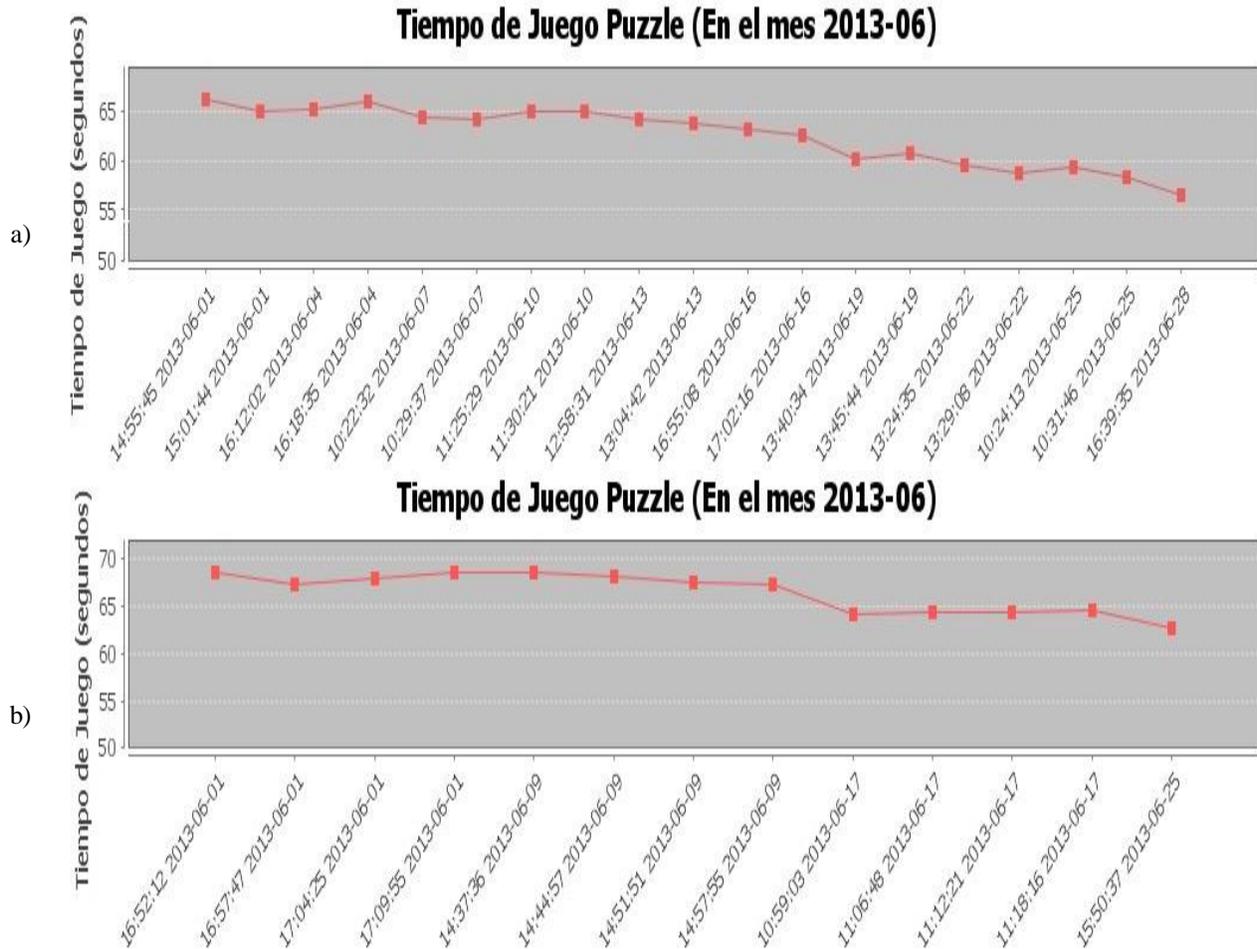


Fig. 38. Comparación entre tiempos del juego Armar Figura en el mes 2013-06: a) niño con más sesiones por semana y b) niño con menos sesiones por semana.

Al comparar la extrapolación por un periodo de seis meses se aprecia que ambos logran bajar sus tiempos de juego a niveles similares lo cual es positivo. Sin embargo, el comportamiento de la gráfica a) muestra que el avance de este niño es más rápido y uniforme, los tiempos mínimos y máximos se encuentran muy cercanos, que los valores de la gráfica b) donde se representa al niño con más juegos por sesión pero menos sesiones por semana.

De igual manera se pueden comparar como son los comportamientos para la separación de dedos al realizar la *pinza digital* en el juego Armar Figura. Esta data muestra un comportamiento de progreso aunque no tan pronunciado como en el caso de los tiempos de juego.

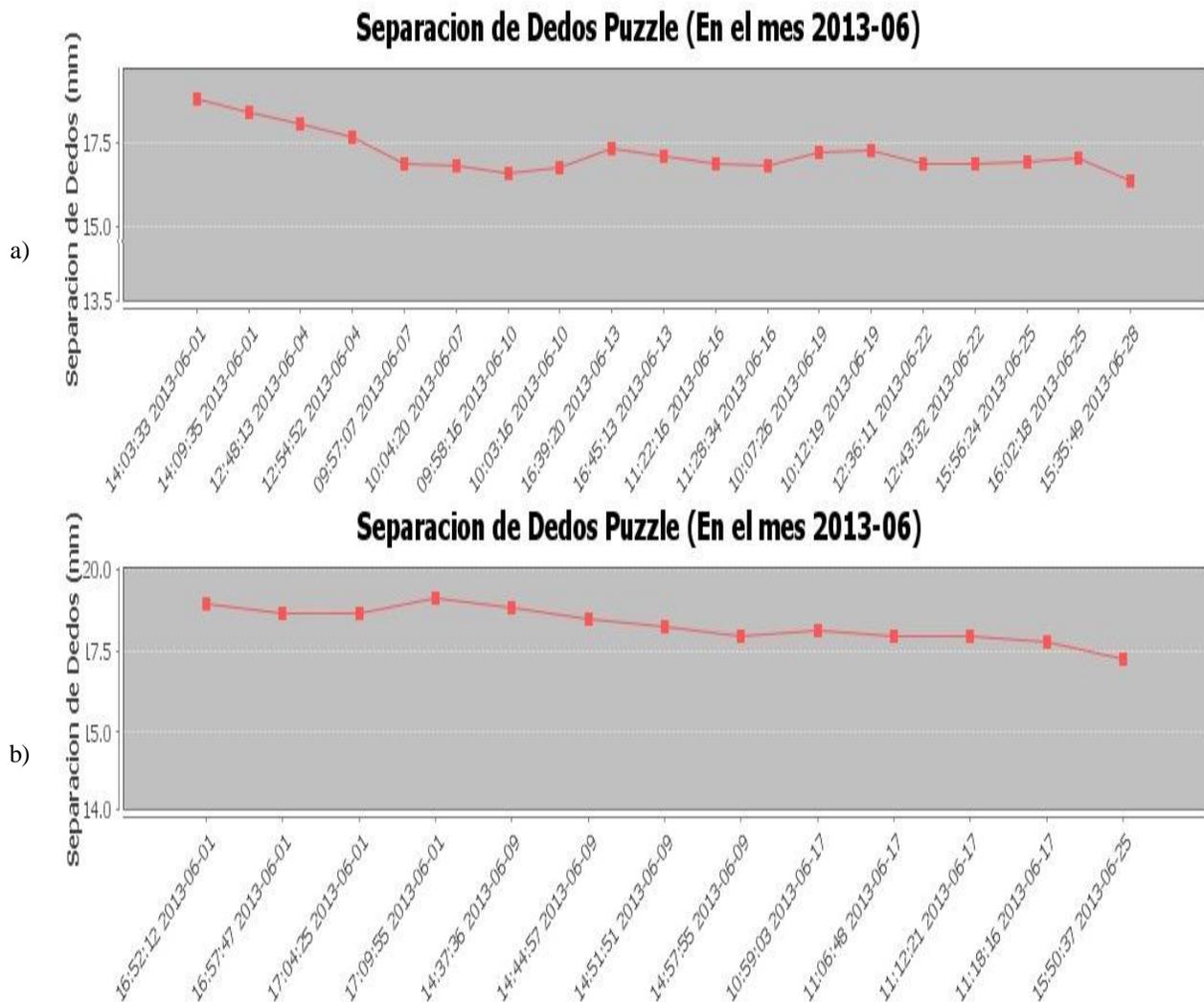


Fig. 39. Comparación de separación de dedos en Armar Figura: a) niño con mayor número de sesiones, b) niño con menor número de sesiones.

En este caso se continúa apreciando un comportamiento muy similar entre los dos niños a pesar de la diferencia en número de juegos. Estos datos suelen tener un comportamiento más errático puesto que es difícil aun para una persona normal controlar y mantener siempre la misma distancia de dedos y la precisión con que se realiza *pinza digital*. Sin embargo, es de esperar que esta métrica sea indicativo de progreso a largo plazo.

De los datos obtenidos inicialmente se pudo constatar que los niños se adaptan rápidamente a los juegos y pueden mejorar sus tiempos para las actividades básicas. En las gráficas anteriormente mostradas se puede apreciar este comportamiento. La solución propuesta en este trabajo recopila más datos y los registra por cada tipo de juego particular. Sin embargo, las pruebas y gráficos ya mostrados ilustran el potencial y capacidad de esta aplicación y de todos los módulos relacionados tanto en el dispositivo móvil como en el computador de escritorio.

5.3. Usabilidad y Funcionalidad

El último conjunto de pruebas de este trabajo se enfocan en comprobar que la aplicación y los módulos que usará el personal médico son usables y cómodos para el usuario. Esto debe ocurrir sin importar su nivel de conocimiento sobre redes inalámbricas o tecnologías asociadas al funcionamiento de la aplicación o programas relacionados a la solución propuesta en el trabajo. Esto viene dado por la importancia que tiene el uso de la aplicación y sus módulos sin la necesidad de apoyo o soporte por parte de los desarrolladores. Permitiendo así mayor libertad y confianza para los usuarios finales.

En este caso se empleará la lista de chequeo de sistemas usando heurísticas de evaluación, esta lista se encuentra mantenida en el sitio web de la Sociedad para Comunicación Técnica (STC). Fue hecha por Deniese Pierotti [55] y

brinda una forma de evaluar la usabilidad de sistemas a través de una serie de heurísticas. Estas van desde la visibilidad del estado del sistema, hasta interacción placentera y respetuosa con el usuario. La evaluación con estas heurísticas se realizará contando cuáles de los puntos de la lista son cumplidos por la aplicación y de esta manera tener una mejor idea de cuáles aspectos se deberían mejorar en futuras iteraciones o implementaciones.

Lista de Chequeo de Heurísticas de Usabilidad													
	Visibilidad del estado del sistema	Correspondencia entre el sistema y el mundo real	Control y libertad del usuario	Consistencia y Estándares	Ayuda al usuario para reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores	Prevención de errores	Reconocimiento antes que memorizar	Flexibilidad y Diseño minimalista	Estética y diseño minimalista	Ayuda y documentación	Habilidades	Interacción placentera y respetuosa con el usuario	Seguridad
Si	11	8	8	16	8	5	16	0	11	5	6	7	3
No	4	2	3	7	6	3	6	1	1	6	2	2	0
No Aplica	14	14	12	28	7	7	18	15	0	12	14	8	0
Total	29	24	23	51	21	15	40	16	12	23	22	17	3

Tabla 7. Evaluación de heurísticas de usabilidad.

De la tabla presentada un aspecto bastante importante es la cantidad de puntos donde no aplica la evaluación. Muchos de estos debido a que esta lista de chequeo fue pensada para aplicaciones y programas que se ejecutan en computadores de escritorio con sistemas operativos que permiten el uso de múltiples ventanas e interfaces de usuario complejas con diversas entradas de datos. Sin embargo, como criterio de evaluación general esta lista puede seguir siendo empleada aunque sería mucho más concluyente si se pudiera utilizar alguna evaluación similar pero enfocada a dispositivos móviles.

A pesar de que la mayoría de los ítems de evaluación no pudieron ser aplicados, todavía se puede extraer un resultado positivo por cuanto la gran mayoría de las heurísticas presentan cumplimiento satisfactorio en buena cantidad de sus ítems que se pudieron evaluar. Sólo en “Prevención de errores”, “Flexibilidad y diseño minimalista” y “Ayuda y documentación” hubo mayor cantidad de ítems que no se pudieron cumplir satisfactoriamente. Este resultado es buen indicativo de que la aplicación pudiera ser presentada y usada por personal con poca experiencia en el uso de dispositivos móviles. Si además se presenta una documentación adecuada que puede ser realizada en una etapa posterior estos resultados de usabilidad pueden seguir mejorando.

Capítulo 6. Conclusiones y Recomendaciones

El sistema presentado en este trabajo es la continuación de un proyecto interdisciplinario desarrollado para el Hospital de Niños J.M de Los Ríos en Caracas. Una primera etapa fue el desarrollo de la aplicación y los juegos, como segunda etapa se busca la implantación del sistema en las instalaciones del hospital en conjunto con el ya existente proyecto *Therapie*. Una etapa posterior debería estar constituida por la evaluación del sistema en un número considerable de pacientes, donde el personal médico especializado, realice seguimiento en el tiempo y aplique los cambios y ajustes necesarios.

Las pruebas iniciales con niños generaron resultados bastante favorables tomando en cuenta las proyecciones y extrapolaciones de datos realizadas. Sin embargo, es importante que se realicen pruebas médicas más extensivas y completas- Para así determinar en qué grado más allá de la motivación se benefician los niños que realizan terapias tradicionales en conjunto con esta aplicación. De las pruebas referentes al rendimiento también se pudo constatar que el funcionamiento es adecuado, estable y demuestran que el sistema puede manejar y graficar una cantidad considerable de datos por paciente haciendo más sencilla la tarea de evaluar los progresos de los mismos

Si bien las pruebas iniciales no son ideales puesto que solo dos niños no constituyen una muestra significativa, estas pruebas iniciales en conjunto con la previa aprobación del personal médico permitieron comprobar que sí fue posible incorporar los ejercicios de motricidad fina requeridos dentro de una serie de juegos. El aspecto de diseño gráfico también fue un reto puesto que no es la especialidad ni el objetivo del trabajo, sin embargo se logró una apariencia lo suficientemente agradable para el niño y que no entorpeció la realización de la actividad.

Una contribución de este sistema es la portabilidad y la posibilidad de que el paciente pueda realizar su terapia en casa. Sin embargo, es competencia del personal médico determinar cuáles pacientes y en cuál punto son candidatos para realizar la terapia de este modo. Se debe considerar que el sistema, al menos en fases iniciales de uso, requiere la supervisión y guía del personal especializado para lograr una terapia efectiva de rehabilitación. Aun así no se descarta que en futuros trabajos se empleen estos dispositivos como medios para realizar terapia a distancia desde las casas de los pacientes puesto que este enfoque ha sido estudiado en trabajos anteriores.

Dentro de las contribuciones más importantes del sistema es su capacidad de adaptación a las condiciones de infraestructura y recursos del espacio o centro de rehabilitación donde se use. No es dependiente de una red inalámbrica *Wi-Fi* puesto que con un adaptador *Bluetooth* se logra la conectividad al servidor central, con lo cual es posible su uso aún si no existiera conectividad (en este caso no se almacenará información del desempeño de los pacientes).

En cuanto a los objetivos planteados se puede concluir que su ejecución fue satisfactoria. Primeramente se presenta un sistema que hace uso de dispositivos móviles y permite a niños con motricidad fina reducida realizar terapia de rehabilitación a través de juegos serios. El sistema no requiere hardware especializado más allá de una tableta con sistema operativo *Android*, esto lo presenta como una opción asequible. El personal médico no requiere entrenamiento especial para usar el sistema, sin embargo conocimientos básicos en el uso de *Bluetooth* y dispositivos móviles con *Android* son de utilidad. El API dentro del sistema permite a un programador añadir más juegos y actividades de manera sencilla. Inclusive a los juegos existentes se les puede cambiar o añadir más contenido, haciéndolo escalable y adaptable para futuros desarrolladores.

En conclusión, este trabajo propone un sistema compuesto por una aplicación móvil para tabletas que incluye juegos para asistir en terapias de rehabilitación de motricidad fina en niños, así como módulos de comunicación, supervisión y administración. Además una aplicación de escritorio que permite ver con mayor detalle los progresos de los pacientes. Complementando los elementos anteriores esta el generador de gráficos y los módulos que permiten comunicación a través de *Wi-Fi* y *Bluetooth*. En conjunto esta solución se hace novedosa y adaptable por brindar múltiples formas de conexión lo que permite adecuarse a diferentes entornos o condiciones de trabajo. Además de abrir nuevas puertas para trabajos futuros en esta área y dejar los cimientos para investigaciones médicas más profundas. Pero sin dejar de lado que deben estar ajustados a la realidad y las condiciones de los pacientes, médicos y centros de salud del país.

Referencias

- [1] L. Sminkey, «Más de 1000 millones de personas con discapacidades deben superar a diario obstáculos importantes,» 9 June 2011. [En línea]. Disponible: http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2011/disabilities_20110609/es/. [Último acceso: 02 02 2014].
- [2] M. Zepeda y A. Vásquez, «Aplicación de la Clasificación Internacional del Funcionamiento, de la Discapacidad y de la Salud en estudios de prevalencia de discapacidad en las Américas,» Organización Mundial de la Salud, Washington D.C., 2012.
- [3] F. Moreno, J. Ojeda, E. Ramírez, C. Mena, O. Rodríguez, J. Rangel y S. Álvarez, «Un Framework para la Rehabilitación Física en Miembros Superiores con Realidad Virtual,» *Proceeding de la Ira Conferencia Nacional de Computación, Informática y Sistemas (CoNCISa)*, n° 2, pp. 77-84, 2013.
- [4] F. L. Caminero, «Marco teórico sobre la coordinación motriz,» febrero 2006. [En línea]. Disponible: <http://www.efdeportes.com/efd93/coord.htm>. [Último acceso: 21 04 2014].
- [5] J. D. Lucea, *La Enseñanza y Aprendizaje de Las Habilidades y Destrezas Motrices Básicas*, Barcelona: Inde, 1999.
- [6] A. Rey Cao y E. Trigo Aza, «Motricidad... ¿Quién eres?,» Coruña, 2000.
- [7] T. Ardanaz García, «La psicomotricidad en Educación Infantil,» *Revista Digital Educación y Experiencias Educativas*, Granada, 2009.
- [8] C. Larramendi López, A. Fernández Martín, R. Varela Díez y H. López Ávila, «Aplicación de actividades y juegos para mejorar la motricidad gruesa en niños con parálisis cerebral infantil,» 26 febrero 2011. [En línea]. Disponible: <http://www.efisioterapia.net/articulos/aplicacion-actividades-y-juegos-mejorar-la-motricidad-gruesa-ninos-paralisis-cerebral-infa>. [Último acceso: 21 abril 2014].
- [9] J. Agurre Zabaleta, «La Psicomotricidad Fina, Paso Previo al Proceso de Escritura,» [En línea]. Disponible: http://www.waece.org/cd_morelia2006/ponencias/aguirre.htm. [Último acceso: 21 abril 2014].
- [10] P. Rosebaum, «Cerebral palsy: what parents and doctors want to know,» US National Library of Medicine National Institutes of Health, 3 mayo 2003. [En línea]. Disponible: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1125882/>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [11] N. K. Kaneshiro, «A.D.A.M. Medical Encyclopedia: Cerebral palsy,» PubMed health U.S. National Library of Medicine, 16 septiembre 2009. [En línea]. Disponible: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmedhealth/PMH0001734/>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [12] F. Stanley, E. Blari y E. Alberman, *Cerebral palsies: Epidemiology and Causal Pathways*, London: Mac Keith Press, 2000.
- [13] M. Ketelaar, A. Vermeer, H. Hart, E. van Petegem-van Beek y P. Helders, «Effects of a Functional Therapy Program on Motor Abilities of Children With Cerebral Palsy,» *Journal of the American Physical Therapy Association*, vol. 81, n° 9, pp. 1534-1545, 2001.
- [14] D. Zieve, «A.D.A.M. Medical Encyclopedia: Stroke,» PubMed Health U.S. National Library of Medicine, 24 junio 2011. [En línea]. Disponible: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmedhealth/PMH0001740/>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [15] Heart & Stroke Foundation, «Hemorrhagic Stroke,» Heart and Stroke Foundation of Canada, agosto 2008. [En línea]. Disponible: www.heartandstroke.com/site/c.ikiQLcMWJtE/b.3484153/k.7675/Stroke__Hemorrhagic_stroke.htm. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [16] H. M. Tackray y C. Tiffit, «Fetal Alcohol Syndrome,» *Pediatrics in Review American Academy of Pediatrics*, vol. 22, n° 2, pp. 47-55, 2001.
- [17] Committee on Substance Abuse and Committee on Children With Disabilities, «Fetal Alcohol Syndrome and Alcohol-Related Neurodevelopmental Disorders,» *American Academy of Pediatrics*, vol. 106, n° 2, pp. 358-361, 2000.
- [18] D. Zieve, D. R. Eltz y L. J. Vorvick, «A.D.A.M. Medical Encyclopedia. Fetal Alcohol Syndrome,» PubMed Health U.S. National Library of Medicine, 8 agosto 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmedhealth/PMH0001909/>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [19] S. N. Mattson y E. P. Riley, «A Review of the Neurobehavioral Deficits in Children with Fetal Alcohol Syndrome or Prenatal Exposure to Alcohol,» *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, vol. 22, n° 2, pp.

279-294, 1998.

- [20] Centers for Disease Control and Prevention, «Fetal Alcohol Spectrum Disorders (FASDs),» Centers for Disease Control and Prevention, 19 agosto 2011. [En línea]. Disponible: <http://www.cdc.gov/ncbddd/fasd/treatments.html>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [21] Family Achievement Center y Minnesota Organization on Fetal Alcohol Syndrome, «Therapies that Help Children with Fetal Alcohol Spectrum Disorder (FAS),» [En línea]. Disponible: <http://www.mnadopt.org/wp-content/uploads/2014/03/Therapies-that-Help-Children-with-FASD.pdf>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [22] L. D. Jacobs, R. W. Beck, J. H. Simon, P. R. Kinkel, C. M. Brownschidle, T. J. Murray, L. A. Simonian, P. J. Slasor y A. W. Sandrock, «INTRAMUSCULAR INTERFERON BETA-1a THERAPY INITIATED DURING A FIRST DEMYELINATING EVENT IN MULTIPLE SCLEROSIS,» *The New England Journal of Medicine*, vol. 343, n° 13, pp. 898-904, 2000.
- [23] A. J. Thompson y et.al., «Primary progressive multiple sclerosis,» *Oxford University Press*, vol. 120, pp. 1085-1096, 1997.
- [24] D. Zieve, «A.D.A.M. Medical Encyclopedia. Multiple Sclerosis,» PubMed health U.S. National Library of Medicine, 9 septiembre 2011. [En línea]. Disponible: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmedhealth/PMH0001747/>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [25] G. M. Franklin y L. Nelson, «Environmental risk factors in multiple sclerosis Causes, triggers, and patient autonomy,» *American Academy of Neurology*, vol. 61, n° 8, pp. 10032-10034, 2003.
- [26] Multiple Sclerosis International Federation, «Types of MS,» Multiple Sclerosis International Federation, [En línea]. Disponible: <http://www.msif.org/about-ms/types-of-ms.aspx>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [27] Multiple Sclerosis Society, «What is MS,» Multiple Sclerosis Society, [En línea]. Disponible: <http://www.mssociety.org.uk/what-is-ms>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [28] L. Chang, «WebMD Multiple Sclerosis Health Center,» WebMD, octubre 2011. [En línea]. Disponible: <http://www.webmd.com/multiple-sclerosis/guide/multiple-sclerosis-physical-therapy>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [29] Centers for Disease Control and Prevention, «Chronic Disease Prevention and Health Promotion Arthritis,» Centers for Disease Control and Prevention, 12 abril 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.cdc.gov/chronicdisease/resources/publications/aag/arthritis.htm>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [30] C. F. Painter, «The Classification of Arthritis,» *The Journal of Bone & Joint Surgery*, vol. 8, n° 2, pp. 354-359, 1926.
- [31] A. D. Tefel, «A.D.A.M. Medical Encyclopedia. Arthritis,» PubMed Health U.S. National Library of Medicine, 2 febrero 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmedhealth/PMH0002223/>. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [32] G. Sevlever, «Trauma del Sistema Nervioso Central,» AANC - Curso Bianual en Neurotrauma, Buenos Aires.
- [33] B. R. Kim, M. H. Chun, E. Y. Han y D. K. Kim, «Fatigue assessment and rehabilitation outcomes in patients with brain tumors,» *Supportive Care in Cancer*, vol. 20, pp. 805-812, 2011.
- [34] C. A. Meyers y et.al., «Neurocognitive Function and Progression in Patients With Brain Metastases Treated With Whole-Brain Radiation and Motexafin Gadolinium: Results of a Randomized Phase III Trial,» *Journal of Clinical Oncology*, vol. 22, n° 1, pp. 157-165, 2004.
- [35] H. Kawai y H. Kawabata, *Brachial Plexus Palsy*, World Scientific Publishings, 2000.
- [36] A. García Bravo, A. Rodríguez Zurita, A. Melián Suárez, C. Blanco Soler, J. M. Limiñana Cañal, J. A. García Hernández y A. Gómez García, «La parálisis del plexo braquial asociada al nacimiento. Revisión de 30 casos,» *Anales Españoles de Pediatría*, vol. 50, n° 5, pp. 485-490, 1999.
- [37] «Brachial Nerve Plexus,» MedicaLook, [En línea]. Disponible: www.medicalook.com/human_anatomy/organs/Brachial_nerve_plexus.html. [Último acceso: 22 abril 2014].
- [38] S. Huang, «Mobile Display Technologies,» Marvell Semiconductors, 2010.
- [39] «Guide to smartphone hardware (2/7): Graphics,» Neowin, 21 febrero 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.neowin.net/news/guide-to-smartphone-hardware-27-graphics-2>. [Último acceso: 23 abril 2014].
- [40] B. A. Forouzan, *Transmisión de datos y redes de comunicaciones*, McGraw Hill, 2006.
- [41] N. Baghaei y R. Hunt, «Review of quality of service performance in wireless LANs and 3G multimedia application services,» [En línea]. Disponible: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014036640400194X>. [Último acceso: 23 abril 2014].
- [42] Tribal's Digital Learning Studio, «Bite-sized Learning Opportunities On Mobiles,» Tribal Group, [En línea].

Disponible: <http://www.m-learning.org/case-studies/bloom>. [Último acceso: 23 abril 2014].

- [43] Tribal's Digital Learning Studio, «Healthy for Life,» Tribal Group, [En línea]. Disponible: <http://www.m-learning.org/case-studies/healthy-for-life>. [Último acceso: 23 abril 2014].
- [44] E. Klopfer, *Augmented Learning: Research and Design of Mobile Educational Games*, Massachusetts: The MIT Press, 2008.
- [45] H. Hildmann y B. Hirsch, «Raising Awareness for Environmental Issues through Mobile Device Based Serious Games,» de *4th Microsoft Academic days*, Berlin, 2008.
- [46] S. Lee, «Project Injini: Developing Cognitive Training Games for Children with Special Needs,» *Games for Health Journal*, vol. 1, n° 1, pp. 69-73, 201.
- [47] Project Injini, NC Soft, 25 julio 2012. [En línea]. Disponible: <http://www.injini.net/?m=201107>. [Último acceso: 23 abril 2014].
- [48] D. Deponi, D. Maggionni y C. E. Palazzi, «DroidGlove: An Android-Based Application for Wrist Rehabilitation,» de *Ultra Modern Telecommunications - ICUMT*, St. Petersburg, 2009.
- [49] J. Brutovsky, «Low-cost motivated rehabilitation system for post-operation exercises,» de *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society - EMBC*, Prague, 2006.
- [50] J. Sunwoo, W. Yuen, C. Lutteroth y B. Wünsche, «Mobile Games for Elderly Healthcare,» Anklund, 2010.
- [51] S. T. Smith, A. Talaei-Khoei, M. Ray y P. Ray, «Electronic Games for Aged Care and Rehabilitation,» 2009.
- [52] I. Raso, R. Hervás y J. Bravo, «m-Physio: Personalized Accelerometer-based Physical Rehabilitation Platform,» de *The Fourth International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*, 2010.
- [53] L. To, B. Thompson, J. R. Blum, G. Maehara, R. F. Hess y J. R. Cooperstock, «A Game Platform for Treatment of Amblyopia,» *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, vol. 19, n° 3, pp. 280-289, 2011.
- [54] E. Hsiao-Kuang Wu y et. al., «Is-STROKE ER: Innovative Social-based Stroke Evaluation and Rehabilitation System for New generation Pervasive Healthcare,» 2011.
- [55] D. Pierotti, «Heuristic Evaluation - A System Checklist,» Xerox, [En línea]. Disponible: <http://www.stcsig.org/usability/topics/articles/he-checklist.html>. [Último acceso: 30 june 2014].