

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS E INGENIERÍA
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



Tesis

TESIS

Modelo Operacional para la Interacción con Dispositivos
Móviles Táctiles para Usuarios con Autismo.

QUÉ PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN CIENCIAS

Presenta:

María de los Ángeles Quezada Cisnero

Dedicatoria

A Mi Madre: Natividad

Por haberme dado la vida, las ganas de ser mejor, de luchar por todo desde abajo y brindarme todo su apoyo siempre aunque este lejos.

A Mi Esposo: Víctor Frías

Quien me apoyó desde un inicio en entrar al doctorado e iniciar esta travesía que no fue fácil, en creer en mí, apoyarme y estar siempre a mi lado y por ser el mejor esposo.

A Mis Hijos: Estefanía y Víctor Manuel

Quienes son mi razón de existir y quienes dan sentido a mi vida y por ser los mejores hijos.

Agradecimientos

A Dios por haberme bendecido y por darme la fortaleza y la salud para salir adelante, así mismo todas las personas que me dieron ánimos a la realización de este proyecto y que día con día han estado motivándome a seguir adelante y concluirlo.

A mi familia, mi esposo Víctor Frías por haberme apoyado en todo momento a culminar esta meta, por aguantar todo mi estrés y mal humor cuando tenía que entregar avances, por apoyarme con los niños durante todo este tiempo, por ser el esposo más paciente y comprensible, gracias por todo tu paciencia y cariño.

A mis hijos Estefanía y Víctor Manuel, por entender que tenía que hacer tarea y que muchas veces tenían que acompañarme a la escuela, por entender e ir al cine muchas veces sin mí, por ser los mejores hijos, gracias.

A la Universidad Autónoma de Baja California por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de estudiar este posgrado, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento brindado durante la realización de este doctorado. ¡Gracias!

Al Dr. Reyes Juárez por aceptarme desde un inicio sin conocerme, por aguantar mis “angeladas”, por entender que como madre tenía otras prioridades y por tener el tiempo de revisar avances y artículos a un día de su envío o presentación.

A Samantha Jiménez por apoyarme y enderezar el rumbo de mi tesis, por ser más que una amiga, por entender el control de mis versiones y revisar no sé cuántas veces cada artículo escrito y publicado, por creer en mí y regañarme cuando era necesario.

A Sergio Inzunza por aceptar ser mi traductor exprés, por entender mi rollo en español y transformarlo a inglés, por ser un amigo incondicional un poco desmemoriado pero buena onda.

A Alan Ramírez por apoyarme en definir el tema de tesis, por revisar los artículos, por enseñarme el uso de software estadísticos, por estudiar diferentes conceptos que no entendía.

A mis compañeros de laboratorio Andrés Mejía por tratar de entender lo que ni yo entendía, Carlos Huertas, Raúl Ignacio, Patricia López, porque de una u otra forma estuvieron presentes en todas las locuras que inventábamos e intentábamos darle solución.

A los sinodales, Dr. Juan José Tapia Armenta por estar apoyándonos siempre, al Dr Juan Ramón Castro, Dr. Guillermo Licea Sandoval, Dra Mérida del Carmen Arias, por sus valiosas contribuciones y comentarios durante todo este tiempo.

Un reconocimiento especial al Dr. Arnulfo Alanís Garza, por su apoyo incondicional y por meterme en este asunto del autismo y por entender y aclarar mis dudas, mil gracias.

A la escuela de educación especial Eduke por haberme abierto las puertas sin conocerme y poder llevar a cabo los experimentos, a Lizzeth Ortega y Letycia por su apoyo incondicional.

A Cadee Centro Pedagógico por darme la oportunidad de visitarlos y apoyarme en la realización de la experimentación, en especial a Karen Suarez Villavicencio por su gran apoyo.

Un agradecimiento especial a Mara Alejandra Domínguez por su amistad, por explicarme los conceptos de psicología que no entendía, gracias por todo.

A las señoras del autismo, Claudia Fonseca, Angélica y Leonora por enseñarme el mundo del autismo y por contagiar todo su entusiasmo.

Resumen

El Trastorno del Espectro Autista (TEA) es una condición del neurodesarrollo caracterizado principalmente por un déficit en la comunicación y la interacción social. Además presenta patrones de comportamiento, intereses o actividades restringidas y repetitivas. Por otra parte, las personas con esta condición presentan dificultades motrices, en algunas ocasiones, tales como mover un mouse, recoger objetos con los dedos o usar un lápiz. En los últimos años ha existido un aumento en la investigación relacionada al uso de la tecnología como soporte a las personas con autismo, en particular al desarrollo de habilidades de comunicación y aprendizaje. Sin embargo, la usabilidad de las aplicaciones para usuarios con una condición neuroevolutiva diversa, no siempre se evalúa objetivamente, ya que por ejemplo, los modelos existentes no consideran los operadores de interacción. Debido a la problemática expuesta anteriormente, esta tesis propone un modelo de nivel táctil para usuarios con autismo (ATLM). Dicho modelo identifica las operaciones para realizar tareas en aplicaciones móviles que un niño con autismo puede ejecutar con menor complejidad en función de las métricas Keystroke level model (KLM), Touch Level Model (TLM) y Fingerstroke Level Model (FLM). Para la evaluación del modelo propuesto, se realizaron tres casos de estudio donde participaron en total 28 usuarios con desarrollo típico y 21 usuarios diagnosticados con autismo. Los casos de estudio se llevaron a cabo utilizando cuatro aplicaciones diseñadas para usuarios con autismo. Los participantes fueron sujetos divididos en dos grupos: usuarios autistas de nivel 1 y nivel 2, y un grupo de usuarios de desarrollo típico. Durante la experimentación, los usuarios realizaron un caso de uso para cada aplicación; el tiempo necesario para realizar cada tarea fue medido. Los resultados presentados en este documento muestran cómo los usuarios con autismo de diferentes niveles de autismo realizan diferentes tipos de tareas; los resultados se comparan con el modelo propuesto por GOMS. La experimentación muestra el operador presionar (K) es más fácil de realizar por los usuarios con autismo nivel 1 y nivel 2. De la misma manera, los usuarios con autismo de ambos niveles pudieron realizar sin problemas los operadores I (initial Act) y T (tapping), que son derivados del operador K. Así mismo el operador Drag (D) fue evaluado para dos aplicaciones y los usuarios con autismo requirieron menos tiempo en el tamaño de la imagen de 63 píxeles y con un arrastre de 324 píxeles. Nuestros resultados muestran que un usuario con autismo necesita más tiempo para interactuar con la tecnología; esta dirección para ajustar la clasificación de las operaciones para interactuar con sistemas basados en computadora y desarrollar aplicaciones que se adapten al usuario con autismo. Estos resultados se pueden utilizar como pautas para los diseñadores de interacción de aplicaciones móviles para el autismo. Sin embargo, la creación de una aplicación que se adapta a las capacidades del usuario no es un proceso sencillo, porque los usuarios con estas condiciones tienen importantes problemas sensorios motores.

Abstract

The Autism Spectrum Disorder (ASD) is a neurodevelopmental condition characterized by a communication and social interaction deficits. Also people affected by ASD present restricted and repetitive behavior, interests and activities. On the other hand, people with this condition have motor difficulties, such as moving a mouse, picking up objects with their fingers or using a pencil.

In recent years there has been an increase in research related to the use of technology to support people with autism, particularly the development of communication and learning skills. However, the usability of applications for users with a ASD condition is not always objectively evaluated, mainly because existing models do not consider interaction operators.

Due to the problems described above, this thesis proposes a tactile level model for users with autism (ATLM). This model identifies the operations to perform tasks in mobile applications that a child with autism can perform with less complexity based on the metrics Keystroke Level Model (KLM), Touch Level Model (TLM) and Finger stroke Level Model (FLM).

For the evaluation of the proposed model, three case studies were performed, involving a total of 28 users with typical development and 21 users diagnosed with autism. The case studies were carried out using four applications designed for users with autism. The participants were divided into two groups: autistic users of level 1 and level 2, and a group of typical development users. During the experimentation, the users performed a use case for each application; the time needed to perform each task was measured.

The results presented in this document show how users with different levels of autism perform different types of tasks; the results are compared with the model proposed by GOMS. The experimentation shows the key press operator(K) is easier to perform by users with autism level 1 and level 2. In the same way, users with autism of both levels were able to perform I (initial Act) and T (tapping) operators without problems, which are derivatives of the K operator.

In a same way, the Drag (D) operator was evaluated for two applications and users with autism required less time in the size of the image of 63 pixels and with a drag of 324 pixels. Our results show that a user with autism needs more time to interact with technology; This address to adjust the classification of operations to interact with computer-based systems and develop applications that suit the user with autism.

These results presented in this document can be used as guidelines for mobile application interaction designers for autism. However, the creation of an application that adapts to the user's capabilities is not a simple process, because users with these conditions have important motor sensory problems.

Contents

Dedicatoria	2
Agradecimientos	3
Resumen.....	5
Abstract	6
Índice de Tablas.....	11
Tabla de acrónimos	12
1 Introducción	13
1.1 Planteamiento del problema	16
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo General.....	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
1.3 Preguntas de investigación	18
1.4 Metodología.....	18
1.4.1 Revisión de literatura	18
1.4.2 Analizar y establecer conjunto de operadores.....	19
1.4.3 Diseñar un modelo relación habilidades y operadores para interacción	19
1.4.4 Diseñar y ejecutar caso de estudio.....	19
1.4.5 Analizar los resultados obtenidos	19
2 Marco Teórico.....	20
2.1 Autismo	20
2.1.1 Criterios del espectro autista según DSM-V.....	21
2.1.2 Habilidades Motoras en niños con TEA.....	22
2.1.3 Habilidades Cognitivas en niños con TEA.....	24
2.2 Habilidades Humanas.....	27
2.2.1 Habilidad Motora.....	28
2.2.2 Habilidad Perceptual	30
2.2.3 Habilidad Cognitiva.....	32
2.3 Usabilidad.....	35
2.3.2 Evaluación de la usabilidad.....	38
2.3.3 Métodos de evaluación de usabilidad.....	40

2.3.4	Usabilidad en aplicaciones móviles	41
2.4	Métodos de modelado cognitivo	45
2.4.1	Modelo Procesador Humano	45
2.4.2	Modelo GOMS	46
2.4.3	Keystroke Level Model (KLM).....	49
2.4.4	Keystroke-level model para dispositivos móviles (KLM).....	52
2.4.5	Touch-level model (TLM)	56
2.4.6	Fingerstroke Level Model (FLM).....	59
2.5	Trabajos relacionados	62
2.5.1	Modelado Cognitivo	62
2.5.2	Interfaces de usuario para usuarios con necesidades especiales.....	63
3	Modelo de interacción entre dispositivos móviles para usuarios con autismo.....	66
3.1	Modelo de habilidades Cognitivas, Perceptuales y Motoras en usuarios típicos... 67	
3.2	Modelo de habilidades Cognitivas, Perceptuales y Motoras en niños con TEA.	68
3.3	Diseño relación operador y habilidad humana	71
3.4	Modelo de Nivel Táctil para usuarios con TEA (ATLM, por sus siglas en inglés)	74
4	Experimentación.....	79
4.1	Planteamiento y Diseño de la Experimentación	79
4.2	Experimento 1	79
4.2.1	Objetivo del experimento.....	79
4.2.2	Participantes.....	80
4.2.3	Instrumentos	81
4.2.4	Casos de uso	83
4.2.5	Metodología utilizada.....	86
4.2.6	Resultados	86
4.2.7	Discusión de los resultados	88
4.3	Experimento 2	90
4.3.1	Objetivo del experimento.....	90
4.3.2	Participantes.....	91
4.3.3	Instrumentos	92
4.3.4	Casos de uso	97
4.3.5	Metodología	99
4.3.6	Resultados	100

4.3.7	Discusión.....	105
4.4	Experimento 3	110
4.4.1	Objetivo del experimento.....	111
4.4.2	Participantes.....	111
4.4.3	Instrumentos	111
4.4.4	Metodología utilizada.....	113
4.4.5	Resultados.	115
4.4.6	Discusión.....	117
5	Discusión.....	120
5.1	Discusión	120
5.1.1	Participantes y tamaño de la muestra.....	120
5.1.2	Aparatos utilizados.	121
5.1.3	Estrategias de investigación y resultados.....	121
6	Conclusiones.....	124
6.1	Conclusiones	124
7	Aportaciones y trabajo futuro	127
7.1	Aportaciones	127
7.1.1	Conjunto de operadores dispositivos móviles	127
7.1.2	Modelo de habilidades físicas y cognitivas y su relación con operadores de usabilidad. 127	
7.1.3	Modelo ATLM	128
7.2	Trabajo futuro.	128
8	Referencias	131
9	Apéndice.....	Error! Bookmark not defined.

Índice de Figuras

Figura 2.1 Triada de Wing	21
Figura 2.2 Taxonomía del desempeño humano de Fleishman.	28
Figura 2.3 Tipos de capacidades humanas.....	28
Figura 2.4: Habilidades Motrices.....	29
Figura 2.4: Habilidades Perceptuales.....	31
Figura 2.4: Habilidades Cognitivas	34
Figura 2.4 Marco de definición de Usabilidad de acuerdo a (ISO 9241-11).	36
Figura 2.5: La usabilidad de acuerdo a ISO/IEC 9126.....	38
Figura 2.6 Modelo Procesador Humano	46
Figura 2.7: Componentes modelo GOMS	49
Figura 2.8: Categorías de operadores KLM	52
Figura 3.1: Habilidades perceptuales, cognitivas y motoras	68
Figura 3.2: Clasificación de operadores	72
Figura 3.5: Modelo de Operadores de usabilidad y habilidades humanas.....	73
Figura 4.1: YoDigo pantalla principal	82
Figura 4.2: Enmo pantalla principal	83
Figura 4.3: Ejecución de caso de uso YoDigo	84
Figura 4.4: Ejecución de caso de uso Enmo.	85
Figura 4.5: Resultados de tiempo para usuarios de nivel 1 (N 1) y nivel 2 (N2).	90
Figura 4.6: Pantalla principal app YoDigo.	93
Figura 4.7: Pantalla principal app Enmo	94
Figura 4.8: Pantalla principal app Ariadna.	95
Figura 4.9: Pantalla principal Project@ Emociones.	95
Figura 4.10: Características de cada aplicación.	96
Figura 4.11: Ejecución de caso de uso.	97
Figura 4.12: Resultados usuarios de desarrollo típico, autistas nivel 1 y nivel 2 para YoDigo. ...	100
Figura 4.13: Resultados usuarios de desarrollo típico, autistas nivel 1 y nivel 2 para Enmo.	102
Figura 4.14: Resultados usuarios de desarrollo típico, autistas nivel 1 y nivel 2 para Ariadna. .	104
Figura 4.15: Resultados para usuarios de desarrollo típico, autistas nivel 1 y nivel 2 para Project@ Emociones.	104
Figura 4.16: Interacción para la App YoDigo.....	106
Figura 4.17: Interacción para la App Enmo.....	106
Figura 4.18: Interacción para la App Ariadna.....	108
Figura 4.19: Interacción para la App Project@ Emociones.....	109
Figura 4.20: Características de la interfaz de la aplicación.	112
Figura 4.21: Interacción de la interfaz de la aplicación.	115
Figura 4.22: Tiempo de interacción para el usuario con TEA nivel 1 y nivel 2.....	117
Figura 4.23: Interacción para el tamaño de la imagen 63 píxeles y arrastre (95, 324, 553 píxeles).	119

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Habilidades motoras en el TEA.....	23
Tabla 2.2: Habilidades motoras perceptivas.....	30
Tabla 2.3: Habilidades de aptitud física	30
Tabla 2.4: Habilidades de aptitud física	33
Tabla 2.5: Métodos para evaluación de la usabilidad.....	40
Tabla 2.6: Tiempos del modelo KLM.....	52
Tabla 2.7: Operadores KLM para dispositivos móviles.	56
Tabla 2.8: Operadores TLM	57
Tabla 2.9: Descripción de operadores TLM.....	58
Tabla 2.10 : Operadores de pulsación de dedos en relación con el KLM original.	60
Tabla 2.11 : Tiempo de unidad de comparación entre KLM y FLM.	61
Tabla 3.1 : Capacidades motoras en niños con TEA de alto funcionamiento.....	69
Tabla 3.2 : Capacidades cognitivas en niños con TEA.	70
Tabla 3.3 : Capacidades perceptuales en niños con TEA.	70
Tabla 3.4: Operadores Mentales y habilidades necesarias para ejecutarse.....	75
Tabla 3.5: Operadores Físicos de preparación y habilidades necesarias para ejecutarse.....	75
Tabla 3.6: Operadores Físicos de ejecución y habilidades necesarias para ejecutarse.....	76
Tabla 3.7: Operadores que podrán ejecutar.	78
Tabla 4.1: Caso de estudio YoDigo	80
Tabla 4.2: Caso de estudio YoDigo	84
Tabla 4.3: Caso de estudio apps Enmo	85
Tabla 4.4: Resultado tarea GOMS para el nivel 1.	87
Tabla 4.5: Resultado app YoDigo y Enmo usuarios nivel 2.	88
Tabla 4.6: Nivel de discapacidad del usuario autista.	91
Tabla 4.7: Nivel de discapacidad del usuario autista.	98
Tabla 4.8: Nivel de discapacidad del usuario autista.	98
Tabla 4.9. Tiempo de arrastre para TEA nivel 1.	109
Tabla 4.10. Tiempo de arrastre para TEA nivel 1.	115
Tabla 4.11. Tiempo de arrastre para TEA nivel 2.	116
Tabla 5.1. Operadores que podrán ejecutar, cuales no y cuales medio.....	122

Tabla de acrónimos

Acrónimo	Significado
GOMS	Goals, Operators, Methods and Selection Rules
KLM	Keystroke-Level Model
TLM	Touch Level Model
FLM	Fingerstroke-Level Model
TEA	Trastorno del Espectro Autista
KLM-GOMS	Métodos de Selección de Keystroke-Level-Goals Operators

Capítulo 1

Introducción

1 Introducción

De acuerdo al Manual de Diagnóstico y Estadístico de los Trastornos Mentales (DSM-V) [1], el Trastorno del Espectro Autista (TEA) se define como una discapacidad que afecta el cerebro en dos áreas principales: (1) déficits en la comunicación social y la interacción social; y (2) patrones de comportamiento, intereses o actividades restringidas y repetitivas. DSM-V clasifica a los niños con TEA de acuerdo con el apoyo requerido en tres niveles: (1) requieren poco apoyo, (2) requieren apoyo menor o sustancial y (3) requieren apoyo muy sustancial o mayor.

Algunas personas con TEA muestran dificultades cognitivas y motrices que reducen la capacidad para realizar actividades y operar la tecnología. Además, las personas afectadas pueden presentar habilidades motrices y limitaciones cognitivas. Debido a eso, los usuarios autistas no pueden realizar tareas motoras finas, por ejemplo, movimientos del mouse. Estudios recientes indican que las personas con TEA pueden presentar deficiencias en las habilidades motoras y limitaciones cognitivas [2].

Las intervenciones tecnológicas para niños con TEA han sido populares en los últimos años [3]. Algunos de estos estudios muestran que el uso de computadoras con personas autistas en un ambiente educativo elevó la atención enfocada, las habilidades de atención, las habilidades motrices finas y las habilidades de generalización [4][5]. El aumento progresivo de aplicaciones y juegos móviles en el mercado actual está fuertemente orientado a la operación en teléfonos móviles y tabletas, que están acelerando el rápido crecimiento y uso de los operadores móviles. El uso de aplicaciones basadas en el tacto es atractivo y fácil para la mayoría de los usuarios autistas [6][7]. En los últimos años ha habido un aumento en el desarrollo de aplicaciones táctiles diseñadas para usuarios autistas [6][7].

Si bien el número de aplicaciones dirigidas a personas con TEA ha aumentado en los últimos años, esto no ha ocurrido con estudios que intentan generar conocimiento sobre cómo hacer aplicaciones para las dificultades potenciales (motoras) que las personas con esta afección pueden tener. A pesar de estos grandes esfuerzos, hay trabajo por hacer en el diseño de software para este tipo de usuarios.

El software para usuarios con TEA debe diseñarse cuidadosamente debido a las capacidades especiales de estos usuarios. Existe una diferencia cognitiva entre los niños típicos y los autistas, la cual hace que la usabilidad disminuya considerablemente en los niños con autismo.

Es necesario crear aplicaciones de software para ayudar a estos usuarios a realizar tareas de la vida diaria, como la comunicación y el aprendizaje. Por ejemplo, en el estudio presentado en [8], una aplicación de teléfono inteligente fue diseñada para apoyar las capacidades de comunicación de los usuarios autistas. Sus resultados muestran que los usuarios autistas pueden interactuar fácilmente con aplicaciones táctiles. Por esta razón, es necesario desarrollar tecnología que se adapte a las habilidades motoras y cognitivas de estos usuarios. El uso de la tecnología ha demostrado ser una ayuda eficaz en el desarrollo de diferentes habilidades en personas con este trastorno [3][9][10]. Las investigaciones previas han abordado este problema. La Referencia [11] propone un Modelo de Usuario Autista y algunos casos de estudio con aplicaciones que describen su funcionamiento. En [12] los autores presentan la experimentación inicial de un estudio para tratar de determinar un modelo de usuario y un modelo de interacción para las interfaces adaptativas para las personas con TEA. En [12] la usabilidad de dos aplicaciones se evaluó midiendo la tasa de error y el éxito de una tarea para cada aplicación. En [9] se propone un conjunto de directivas para el diseño de sistemas de aprendizaje para usuarios autistas. Así mismo, [13] presenta un estudio de usabilidad sobre algunos juegos que apunta a desarrollar habilidades sociales en usuarios autistas.

De igual forma, el desarrollo de la aplicación y la evaluación de usabilidad se basan en modelos que solo consideran las características de los usuarios del desarrollo típico, sin

considerar qué operaciones pueden y no pueden ser realizadas por usuarios deshabilitados, particularmente usuarios autistas.

Los modelos actuales se centran en medir la usabilidad de los sistemas de software mediante la aplicación de pruebas a usuarios expertos y sin ninguna discapacidad intelectual y motora [14], [15]. Investigaciones previas han evaluado la usabilidad de las tareas de navegación para usuarios con discapacidades intelectuales solo considerando capacidad de aprendizaje y errores [16][17].

Sin embargo, la evaluación de la usabilidad (facilidad de uso) de este tipo de aplicaciones no se puede hacer de manera objetiva, debido a que los modelos existentes en Interacción Humano-Computadora (HCI) no consideran operadores de interacción para estos usuarios. Ejemplos de modelos de HCI existentes son: KLM-GOMS (Métodos de Selección de Keystroke-Level-Goals Operators) [18], TLM (Touch Level Model) [19] y FLM (Fingerstroke Level Model) [14]. Estos modelos consideran algunos operadores como: Mental Act (M), Keystroke (K), Gesture (G), Tapping (T), Swipe (S) y Drag (D). Dichos modelos solo consideran medir la usabilidad de adultos típicos con experiencia previa en el uso de la tecnología.

Por lo tanto, es necesario identificar las operaciones que los usuarios con TEA pueden realizar fácilmente, en términos de recursos cognitivos y motores necesarios para interactuar con la tecnología táctil.

Los resultados de este trabajo pueden ayudar a los diseñadores de software a crear proyectos con mayores niveles de usabilidad, especialmente para aplicaciones específicas de TEA.

1.1 Planteamiento del problema

El rápido crecimiento de los dispositivos móviles como tabletas y teléfonos inteligentes, así como el amplio crecimiento de las tiendas en línea han estimulado la adquisición de aplicaciones móviles por parte de los usuarios. Muchas de estas aplicaciones se han desarrollado de forma masiva y sin considerar métricas de usabilidad adecuadas para garantizar la usabilidad de los dispositivos. Sin embargo, a pesar del crecimiento que se ha dado la mayoría de las métricas de usabilidad han sido desarrolladas para computadoras de escritorio. Una de las limitantes que se tiene en los dispositivos móviles es el tamaño de la pantalla, pero por su tecnología de pantalla táctil hacen más fácil su uso para la mayoría de los usuarios con desarrollo típico.

A pesar de que existen investigaciones que recientemente se han centrado en desarrollar tecnología para apoyar a los usuarios con capacidades diferentes como lo son los usuarios con TEA, la mayoría no se ha centrado en mejorar la usabilidad para este tipo de usuarios.

Aunque existen diferentes variantes del modelo GOMS, sin embargo, una de las principales desventajas de estos modelos es que no son considerados para gente con discapacidad. Hoy en día la tecnología móvil ha demostrado ayudar a todo tipo de personas entre ellas, personas con discapacidad física o intelectual, por ejemplo, a las personas con trastorno del espectro autista (TEA). El TEA fue definido por primera vez como la pérdida de contacto con la realidad y, como consecuencia, una gran dificultad para comunicarse con los otros, evasión de la realidad y retracción en el mundo interior. Existen diferentes variantes del modelo GOMS, tales como [18], [19] [20], sin embargo, existe varias desventajas de estos modelos:

- No son considerados para gente con discapacidad, GOMS no tiene en cuenta los errores [21],
- Sólo considera usuarios expertos, solo miden el tiempo de ejecución, GOMS no tiene en cuenta los errores [22].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

De acuerdo al problema planteado en la sección anterior, nuestra propuesta se guía por los siguientes objetivos. Como objetivo general se tiene: *Validar un conjunto de operadores GOMS para el desarrollo de aplicaciones móviles para usuarios con trastornos del espectro autista, considerando sus habilidades cognitivas, motrices y perceptuales.*

1.2.2 Objetivos específicos

De la misma manera se enuncian los objetivos específicos de la investigación:

OE1: Analizar el modelo GOMS y sus variantes que reporta la literatura existente para determinar los tipos de operadores que se necesitan para interactuar con las aplicaciones.

OE2: Establecer un conjunto de operadores para la interacción humano-computadora basado en propuestas de la literatura que se adapten a aplicaciones móviles.

OE3: Diseñar un modelo donde se relacionen las capacidades físicas y cognitivas de usuarios y operadores para la interacción humano-computadora.

OE4: Diseñar y ejecutar un caso de estudio replicable para evaluar el conjunto de operadores en personas con TEA.

OE5: Validar el conjunto de operadores propuestos para la interacción humano-computadora de los usuarios con autismo.

OE6: Analizar los resultados obtenidos contrastándolo con los establecidos en propuestas de la literatura para el desarrollo de aplicaciones móviles.

OE7: Diseñar un modelo donde se relacionen las capacidades físicas y cognitivas de usuarios con TEA y operadores para la interacción humano-computadora.

OE8: Evaluar los tamaños de espaciado adecuados entre los tamaños de objetivo táctil para usuarios con TEA de acuerdo con cada tipo de gesto.

OE9: Comparar los resultados con las recomendaciones que se encuentran en las pautas oficiales de los sistemas operativos para dispositivos móviles.

1.3 Preguntas de investigación

La definición de los objetivos ha llevado al planteamiento de varias preguntas de investigación que han apoyado el desarrollo de esta tesis.

- ¿Cuáles son los modelos existentes variantes del modelo GOMS y cuáles operadores de interacción se usan para dispositivos móviles?
- ¿Cómo se han aplicado los operadores de los modelos existentes en dispositivos móviles?
- ¿Cuáles operadores de interacción los usuarios con TEA pueden desarrollar con mayor dificultad en dispositivos móviles?
- ¿Cuáles operadores de interacción los usuarios con TEA pueden desarrollar con menor dificultad en dispositivos móviles?
- ¿Son adecuadas las recomendaciones actuales con respecto a los tamaños de espaciado entre objetivos táctiles para las personas con TEA?

1.4 Metodología

Para alcanzar los objetivos específicos planteados se plantea la siguiente metodología que ayude a identificar los operadores necesarios para interactuar con dispositivos móviles. La metodología se compone de las siguientes actividades: revisión de literatura, establecer el conjunto de operadores para interactuar con dispositivos móviles, diseñar un modelo donde se relacionen las capacidades físicas diseñar y ejecutar caso de estudio para evaluar el conjunto de operadores para usuarios con TEA, analizar los resultados obtenidos, y cognitivas de usuarios y operadores para la interacción humano-computadora.

1.4.1 Revisión de literatura

Como primera etapa se realizara una revisión de literatura que nos va a permitir conocer el modelo GOMS y sus variantes, para poder establecer un conjunto de

operadores para la interacción humano-computadora basado en propuestas de la literatura que se adapten a aplicaciones móviles.

1.4.2 Analizar y establecer conjunto de operadores

El siguiente paso será establecer un conjunto de operadores que se adapten a dispositivos móviles con el fin de adaptarlos a los usuarios con TEA. De acuerdo a la revisión de literatura anterior se determinara que operadores son aplicables a dispositivos móviles, esto se hará tomando en cuenta lo propuesto en la literatura.

1.4.3 Diseñar un modelo relación habilidades y operadores para interacción

El modelo se desarrollara con base a la revisión de literatura teniendo en cuenta el conjunto de operadores establecido para dispositivos móviles, esto es con el fin de evaluar cuáles operadores pueden realizar con menor y mayor dificultad y determinar que habilidades son necesarias para poder ejecutarlos.

1.4.4 Diseñar y ejecutar caso de estudio

Con el propósito de evaluar el modelo y conjunto de operadores establecidos en la sección anterior, en esta etapa se ejecutara un caso de estudio para evaluar el conjunto de operadores usando varias aplicaciones en las cuales el usuario pueda ejecutar cada uno de los operadores y se podrá registrar el tiempo para generar el tiempo empleado por cada grupo de usuarios.

1.4.5 Analizar los resultados obtenidos

El siguiente paso después de ejecutar el caso de estudio, se analizarán los resultados por usuario, en este caso serán tres grupos de usuarios, los cuales se van a dividir en usuarios con desarrollo típico y con TEA niveles 1 y 2. Los resultados serán analizados usando software estadístico el cual nos genere máximos, mínimos, promedios y la varianza entre ambos grupos, para poder generar los tiempos que se necesitan los usuarios con TEA en la interacción con dispositivos móviles.

Capítulo 2

Marco teórico

2 Marco Teórico

En este capítulo se presenta el marco teórico de esta investigación, la cual se inicia explicando el significado del TEA, así como los niveles en los cuales se ha clasificado, además de identificar las habilidades cognitivas, motoras y perceptuales con las que cuenta un usuario con TEA. Más adelante se explica el concepto de los tipos de habilidades con las que cuenta un ser humano, desde las cognitivas, motoras y perceptuales, las cuales son necesarias para poder realizar diferentes actividades como el uso de la tecnología para entrenamiento o para apoyo en el aprendizaje. Para interactuar mejor con la tecnología es importante definir el concepto de usabilidad y sus diferentes definiciones, así como los métodos más comunes de evaluación de la usabilidad. Actualmente con el crecimiento de los dispositivos móviles es necesario definir la usabilidad en aplicaciones móviles. También más adelante se definen los métodos de modelado cognitivo para evaluar la interacción del ser humano con los dispositivos móviles, como lo son el modelo procesador humano, el modelo GOMS, KLM, TLM y FLM, los cuales definen un conjunto de operadores que son necesarios para interactuar con la tecnología. Por último se definen los trabajos relacionados con esta investigación como lo son el modelado cognitivo y la necesidad existente de poder crear tecnología que se adapta a las diferentes habilidades de los usuarios.

2.1 Autismo

La palabra autismo fue utilizada por primera vez en 1911 por Eugene Bleuler [23], que introdujo el término autismo (del griego, “propio”, “sí mismo”) para designar uno de los rasgos propios de la esquizofrenia en adultos: la pérdida de contacto con la realidad y,

como consecuencia, una gran dificultad para comunicarse con los otros, evasión de la realidad y retracción en el mundo interior.

El trabajo del Dr. Asperger, fue reconocido hasta 1981 [24] (por medio de Lorna Wing), en la cual los TEA se definen como una disfunción neurológica crónica con fuerte base genética que desde edades tempranas se manifiesta en una serie de síntomas basados en una tríada de trastornos (tríada de Wing), como se muestra en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Tríada de Wing

2.1.1 Criterios del espectro autista según DSM-V

En seguida se presenta la clasificación del espectro autista según [25].

A) área socio-comunicativa [25]:

- Déficit en las conductas de interacción mutua en el campo social y emocional, desde problemas muy leves (inicio de interacción más o menos ‘anormal’, no alternancia en la conversación), hasta la inexistencia de interacción social.
- Déficit en las conductas de comunicación empleadas en la comunicación social: desde una comunicación verbal y no verbal poco integrada, hasta la inexistencia de expresiones o gestos faciales.

- Déficit en el desarrollo y mantenimiento de relaciones: desde dificultades para mantener un comportamiento apropiado en el juego con otros niños, por ejemplo, hasta la inexistencia de 'interés' por los otros.

B) área de intereses fijos y conductas repetitivas:

- Lenguaje oral, movimientos corporales, etc., estereotipados y/o repetitivos: estereotipias motoras, ecolalia.
- Rutinas, rituales verbales, no verbales, motores, ..., (de todo tipo),
- Muy pocos intereses en los que se centran de forma que no prestan atención a nada que esté fuera de ellos.
- Mucha o poca reacción a estímulos sensoriales: pasividad al dolor, al calor, al frío, al olor, a la iluminación, a objetos móviles, o todo lo contrario [29].

C) Los síntomas han de estar presentes en las primeras fases del período de desarrollo (pero pueden no manifestarse totalmente hasta que la demanda social supera las capacidades limitadas, o pueden estar enmascarados por estrategias aprendidas en fases posteriores de la vida).

D) Los síntomas causan un deterioro clínicamente significativo en lo social, laboral u otras áreas importantes del funcionamiento habitual.

E) Estas alteraciones no se explican mejor por la discapacidad intelectual (trastorno del desarrollo intelectual) o por el retraso global del desarrollo. La discapacidad intelectual y el trastorno del espectro del TEA con frecuencia coinciden. Para hacer diagnósticos de comorbilidades de un trastorno del espectro del TEA y discapacidad intelectual, la comunicación social ha de estar por debajo de lo previsto para el nivel general de desarrollo.

2.1.2 Habilidades Motoras en niños con TEA

Aunque las alteraciones sensoriales y motoras en los niños con TEA no se consideran las características principales del TEA, hay un creciente reconocimiento de que son muy prevalentes y pueden tener un impacto muy significativo en la calidad de vida y el desarrollo social. Los problemas motores en los niños con TEA se pueden observar desde la

infancia [26], [27] y hasta la edad adulta [28][29], [30]. Se ha demostrado que la capacidad motriz se correlaciona con las habilidades de la vida diaria en niños autistas [31]. En la tabla 2.1 se muestra las habilidades motoras que han sido observadas en el TEA como lo señala [32]

Tabla 2.1: Habilidades motoras en el TEA

Señales motoras observadas en el TEA	
Habilidad motora fina.	Movimiento de mano y pies más lento y repetitivo Destreza manual más lenta y menos precisa Poca habilidad con la pelota (apuntar y atrapar)
Habilidad motora gruesa.	Balance inestable Marcha deteriorada (caminar con el talón) Coordinación reducida de las habilidades locomotoras (correr y saltar)

Las habilidades motoras finas abarcan una cantidad de procesos diferentes relacionados con aspectos sensoriales, de planificación y ejecución del control motor, mientras que el equilibrio y la postura pueden compartir algunos aspectos, como la integración de diferentes sentidos y la predicción de las consecuencias sensoriales del movimiento. Por lo tanto, a menudo es difícil saber qué procesos motores específicos son anormales en el TEA. Comprender las dificultades motoras en el TEA en términos de mecanismos computacionales específicos puede permitir distinciones más claras entre los diferentes trastornos del desarrollo y tiene el potencial de revelar si y cómo las habilidades motoras deficientes podría estar causalmente relacionado con habilidades sociales deficientes. Una mejor comprensión de los orígenes y la naturaleza de las dificultades motoras en el TEA también contribuirán a una mejor capacitación y métodos de intervención y es muy adecuado para abordar los problemas de la heterogeneidad dentro del espectro autista.

- **Sistema sensorial**

El rendimiento del motor preciso requiere entradas sensoriales precisas sobre el cuerpo y el mundo. Nos enfocamos aquí en la visión, el tacto y la propiocepción porque estos son los más importantes para el movimiento. Las dificultades en los sistemas sensoriales pueden surgir en diferentes etapas. Los datos sobre el procesamiento sensorial básico en el TEA presentan un dato mixto. Algunas investigaciones describen experiencias sensoriales alteradas, como híper e hipo sensibilidad en todas las modalidades del TEA [33], [34]. Dichos estudios muestran que los niños con TEA muestran dificultades motoras al aplicarle pruebas para valorar el rendimiento motor. La hipersensibilidad y la capacidad mejorada para detectar detalles en un estímulo se combinan con dificultades para integrar la información sensorial en un todo coherente. Estas diferencias en los sistemas sensoriales podrían contribuir a los déficits motores. Este vínculo entre la entrada sensorial y el control motor se enfatiza por los hallazgos de que las medidas de coherencia del movimiento están correlacionadas con habilidades motoras en individuos autistas y de desarrollo típico [35].

- **Planificación motora**

La planificación motora es el proceso de convertir un estado actual y un estado deseado en una secuencia de comandos motores [32]. La planificación motora a menudo se considera jerárquica, es necesaria para planificar la secuencia de acciones y luego el detalle de cada movimiento individual para alcanzar el objetivo. Los participantes autistas generalmente muestran tiempos de reacción más largos para alcanzar los movimientos que los niños con desarrollo típico [36]–[38]. Un desafío para la planificación motora es el almacenamiento apropiado y despliegue del conocimiento motor, es decir, el conocimiento de cómo sostener y mover una herramienta o hacer un gesto particular con la mano. Los niños con TEA se desempeñan peor cuando se les pide ejecutar un gesto y cuando se le pide que realice un gesto con una herramienta [39]. Estos hallazgos sugieren que existe un déficit en la organización del conocimiento motor en los niños con TEA.

2.1.3 Habilidades Cognitivas en niños con TEA

Entre los niños autistas, las funciones cognitivas tradicionalmente consideradas como mediadas por el hemisferio izquierdo (es decir, procesamiento verbal, procesamiento secuencial y habilidades analíticas) son casi siempre extremadamente pobres o ausentes, mientras que las funciones mediadas por el hemisferio derecho (es decir, habilidades visuo-espaciales, reconocimiento sin análisis) están mucho menos discapacitados y en casi todos los casos están muy por delante de las funciones mediadas por el hemisferio izquierdo [40].

Sin embargo, el trabajo relacionado de [41] con patrón y percepción de secuencia ha sugerido que la percepción (o atención) selectiva puede verse afectada y puede dar lugar a resultados defectuosos en tareas que requieren selección y procesamiento de características específicas del material presentado para percepción y análisis. Es decir, la actividad perceptual puede ser relativamente normal mientras se altera el análisis perceptual.

- **Percepción.**

La experiencia perceptual distorsionada o inmadura en niños autistas puede proporcionar la explicación para el trastorno. La sensibilidad excesiva o excesiva a los estímulos visuales y auditivos se informa comúnmente, lo que sugiere problemas de recepción sensorial. Se ha sugerido que la integración y la utilización de la información sensorial, como la intercepción auditiva son básicas para el TEA [40].

- **Atención.**

En los procesos atencionales, el déficit se encuentra en la atención conjunta y alternante, mientras que en la atención focalizada se observa un buen desempeño [42]. La atención está relacionada con la intencionalidad, la toma de decisiones y la planificación de acciones. De forma general, en los niños con TEA se ha encontrado una importante alteración en el desarrollo de las capacidades de atención conjunta [43]; es decir, que las personas con TEA desarrollan una capacidad de atención dirigida hacia objetos pero son incapaces de atender de forma holística al contexto en el que están contenidos dichos

objetos, por lo cual no pueden comprender las operaciones y relaciones que se establecen entre éstos.

- **Memoria**

Los niños autistas tienen muy buenos recuerdos a corto plazo (memoria), aunque existen diferencias específicas. El mejor rendimiento es en tareas de memoria repetitiva, como lapso de dígitos o repetición o rimas, frases. Los niños autistas tenían dificultades con las tareas de memoria visual y auditiva [40].

- **Lenguaje**

La minoría de niños con TEA en el proceso de aprendizaje es más lento y también desviado en comparación con otros grupos. Las palabras parecen ser aprendidas pasivamente de una manera operante y no son procesadas, almacenadas y relacionadas con una reunión de experiencia a través de la cual se modifica el lenguaje. Por lo tanto, no existe la flexibilidad y la creatividad del niño normal que aprende idiomas. La falta de "lenguaje interno" está directamente implicada en este fracaso para aprender la complejidad, la abstracción, y sutileza del lenguaje social.

- **Visual.**

Los experimentos de Frith [41] se diseñaron para examinar las formas en que los niños autistas secuencian la información en modalidades visuales y auditivas. Los niños autistas mostraban exageración y rigidez en las reglas con el material auditivo, aunque con el material visual su comportamiento se caracterizaba por la imposición de sus propias reglas idiosincrásicas en el intento de reproducir secuencias ordenadas.

- **Visual espacial.**

Algunos experimentos han demostrado la relativa normalidad de los niños con un funcionamiento más alto en la capacidad de utilizar un marco visual-espacial (es decir, un enfoque de hemisferio derecho) en una tarea de localización que implica.

2.2 Habilidades Humanas

Rasgos heredados, innatos y estables que determinan el potencial de una persona para adquirir habilidades [44].

Habilidades son características que afectan al rendimiento de movimiento tales como la agilidad, la coordinación, la fuerza y la flexibilidad predeterminados genéticamente. Capacidades son duraderas y, como tal, difícil de cambiar en los adultos. Capacidades difieren de las habilidades en el sentido de que las habilidades se aprenden, mientras que las capacidades son un producto del aprendizaje y los factores genéticos [45]. Fleishman ha identificado, descrito y aislado un conjunto integral de habilidades cognitivas que podrían considerarse como los recursos cognitivos disponibles para un individuo en la realización de cualquier tarea. Fleishman [45] desarrolló 52 habilidades humanas que van desde la comprensión verbal hasta la atención selectiva, en la Figura 2.2, se muestra la taxonomía propuesta por Fleishman.

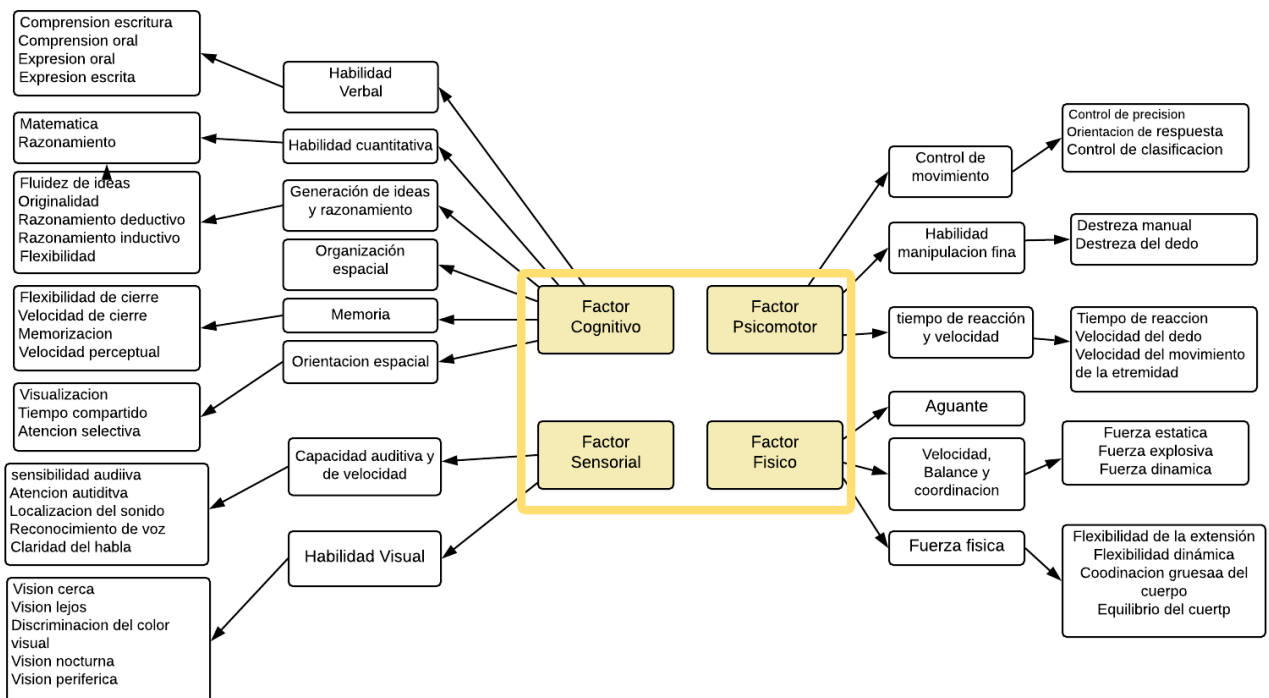


Figura 2.2 Taxonomía del desempeño humano de Fleishman.

Las capacidades sustentan y contribuyen a habilidades. Las capacidades pueden ser esencialmente perceptual, motor o una combinación de ambos. La mayoría de las habilidades que se hacen con la acción son una combinación y se conocen como psicomotrices / habilidades motoras perceptivas, como se muestra en la Figura 2.3 [44].

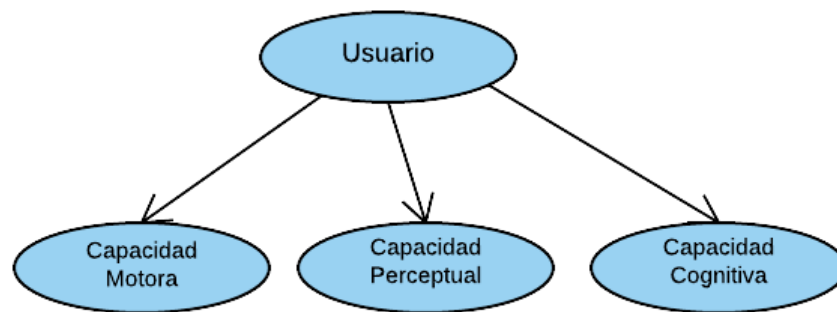


Figura 2.3 Tipos de capacidades humanas

2.2.1 Habilidad Motora

Habilidades motoras son rasgos heredados innatos que determinan el equilibrio, la coordinación, la capacidad y el tiempo de reacción de un individuo [44].

Fleishman [45], elaboró una lista de 14 habilidades motoras y fueron los factores determinantes de un potencial para el desarrollo de habilidades particulares.

En la Figura 2.4 se muestra el conjunto de habilidades motoras que necesita un ser humano para realizar diferentes actividades físicas como: fuerza, velocidad, el balance y la coordinación. Dichas habilidades se clasifican en psicomotoras (motricidad fina, control de movimiento y tiempo de reacción) y las físicas (habilidad motora gruesa, fuerza física, velocidad, balance y coordinación) [45].

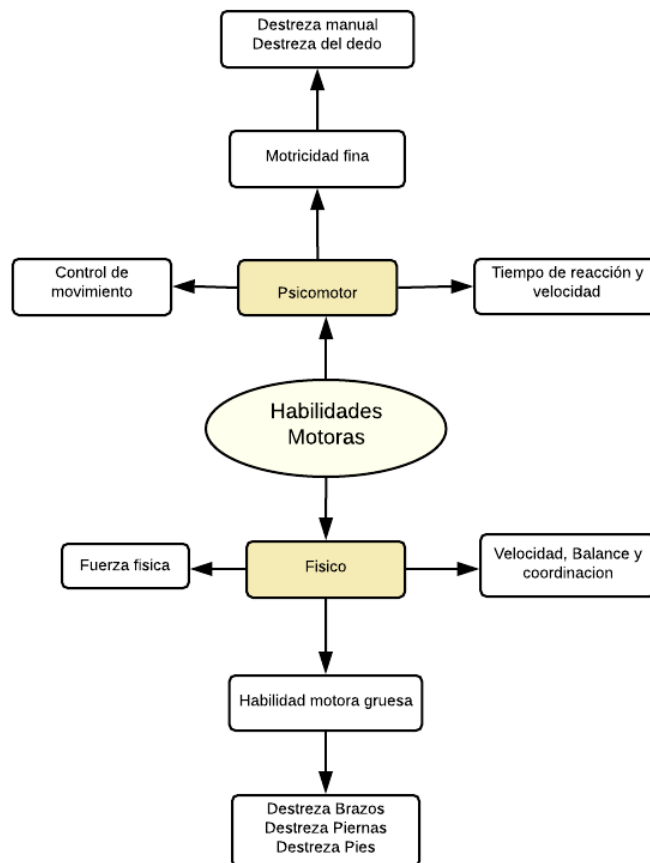


Figura 2.4: Habilidades Motrices

- **El sistema motor**

El sistema motor consiste en recibir los comandos motores de la Memoria de trabajo colocados por el procesador cognitivo y los ejecuta.

Cuando el procesador motor ejecuta un comando del motor, solo le dice al motor que haga la acción deseada. El movimiento en sí puede tomar más tiempo para ejecutarse, dependiendo del tipo de movimiento. En los comandos de motor como "botón pulsador", si

el dedo ya está en el botón, generalmente se descuida el tiempo que demora el dedo en presionar el botón. En comandos de motor que consumen más tiempo, como "mover el dedo al botón". En la tabla 2.2 se muestran las habilidades motoras perceptivas con las que puede contar un ser humano, así como también en la Tabla 2.3 indican las habilidades motoras físicas.

Tabla 2.2: Habilidades motoras perceptivas

Habilidades motoras perceptivas	
Control de Precisión	Movimiento de control con los grupos musculares más grandes.
Control de la frecuencia	Ajustes continuos de anticipación
Puntería	Movimientos de la mano precisos
Orientación Respuesta	Decisiones rápidas con respuesta múltiple
Tiempo de reacción	Reaccionar a los estímulos
Destreza manual	Grandes objetos con la mano
Destreza Dedos	Los objetos pequeños con los dedos
Brazo - Estable Mano	Mover mano y los dedos
Muñeca y dedo velocidad	Rápidamente mover los dedos y la muñeca

Tabla 2.3: Habilidades de aptitud física

Habilidades de aptitud física	
Fuerza	Explosivo / estático / Troncal.
Flexibilidad / velocidad	Dinámico / Extensión / velocidad de movimiento de las extremidades.
Equilibrio	/ Objetos dinámicos / equilibrio estático.
Coordinación	Multilimb / cuerpo bruto.
Resistencia	Resistencia / Fuerza Dinámica.

2.2.2 Habilidad Perceptual

- **El sistema perceptivo**

El sistema perceptivo es el sistema que maneja toda la percepción. No hace ningún procesamiento cognitivo perceptual (es decir, piensa y reflexiona sobre las percepciones). Obtiene la entrada de los sensores, codifica (procesa) las entradas en un formato almacenable y lo pone a disposición en un corto período de tiempo en la memoria de trabajo (WM).

Las *habilidades perceptuales* son necesarias para reconocer y discriminar los estímulos visuales e interpretarlos correctamente en función de experiencias previas. En la Figura 2.5 se muestra el conjunto de habilidades perceptuales [45].

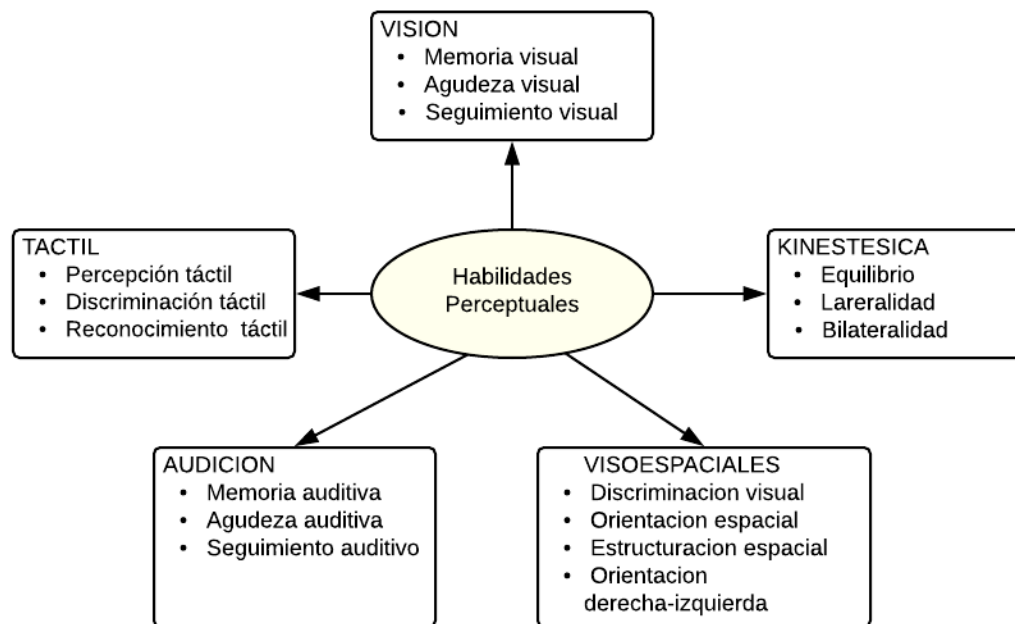


Figura 2.5: Habilidades Perceptuales

Los componentes más importantes del sistema perceptivo son:

- ❖ Procesador Perceptual
- ❖ Almacén de imágenes visuales
- ❖ Almacén de imágenes auditivas

- **Procesador Perceptual**

El procesador perceptual recibe la entrada de los sensores (por ejemplo, ojos y oídos) y pasa la entrada recibida a uno de los almacenes de percepción (por ejemplo, el almacén de imágenes visuales).

- **Almacén de imágenes Visuales (Visual Image Store)**

El almacén de imágenes visuales (VIS) es un buffer donde el procesador perceptual puede almacenar un código físico (de ahí el tipo de código de VIS es físico) de una percepción visual. Todos los elementos en el búfer se transfieren a la memoria de trabajo (WM) después de un retraso insignificante.

- **Almacén de imágenes auditivas**

El almacén de imágenes auditivas (AIS, del inglés Auditory, Image Store) es un buffer donde el procesador perceptual puede almacenar un código físico (de ahí el tipo de código de AIS es físico) de una percepción auditiva.

2.2.3 Habilidad Cognitiva

Habilidades cognitivas son las habilidades basadas en el cerebro que necesitamos para llevar a cabo cualquier tarea desde los más simples hasta los más complejos. En la figura 2.6 se muestra el conjunto de dichas habilidades, como lo son atención, memoria, funciones ejecutivas, lenguaje y razonamiento. Cada una de las cuales sirven como mecanismos para aprender, recordar, resolver problemas, y prestar atención más que con ningún conocimiento real. Por ejemplo, contestar el teléfono implica al menos: la percepción (escuchar el tono de llamada), la toma de decisiones (contestar o no), las habilidades motoras (levantando el receptor), conocimientos de idiomas (habla y la comprensión del

lenguaje), habilidades sociales (interpretando el tono de voz e interactuar correctamente con otro ser humano), como se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Habilidades de aptitud física

Habilidad Cognitiva	Habilidades involucrados
Percepción	Reconocimiento e interpretación de los estímulos sensoriales (olfato, el tacto, el oído, etc.)
Atención	Capacidad para mantener la concentración en un determinado objeto, acción o pensamiento Capacidad para gestionar las demandas que compiten en nuestro medio ambiente.
Memoria	Corto plazo / memoria de trabajo (de almacenamiento limitada).
Habilidades motoras	Capacidad para movilizar a nuestros músculos y órganos. Habilidad para manipular objetos.
Lenguaje	Habilidades que nos permite traducir los sonidos en palabras y generar producción verbal.
Visual y visual espacial	Capacidad de procesar los estímulos visuales entrantes. Capacidad para menores de soportar relación espacial entre objetos. Capacidad de visualizar imágenes y escenarios.
Funciones ejecutivas	<p>Flexibilidad: la capacidad de cambiar rápidamente al modo psicológica adecuada.</p> <p>Anticipación: predicción basada en el reconocimiento de patrones</p> <p>Memoria de trabajo: la capacidad de sostener y manipular la información "on-line" en tiempo real.</p> <p>Autorregulación: la capacidad de identificar y gestionar las propias emociones para un buen rendimiento.</p> <p>Secuenciación: la capacidad de romper las acciones complejas en unidades manejables y dar prioridad a ellos en el orden correcto.</p> <p>Inhibición: la capacidad de resistir la distracción, y los impulsos internos.</p> <p>Organización, planificación y categorización: habilidad para ordenar, clasificar y planear una secuencia de eventos.</p>

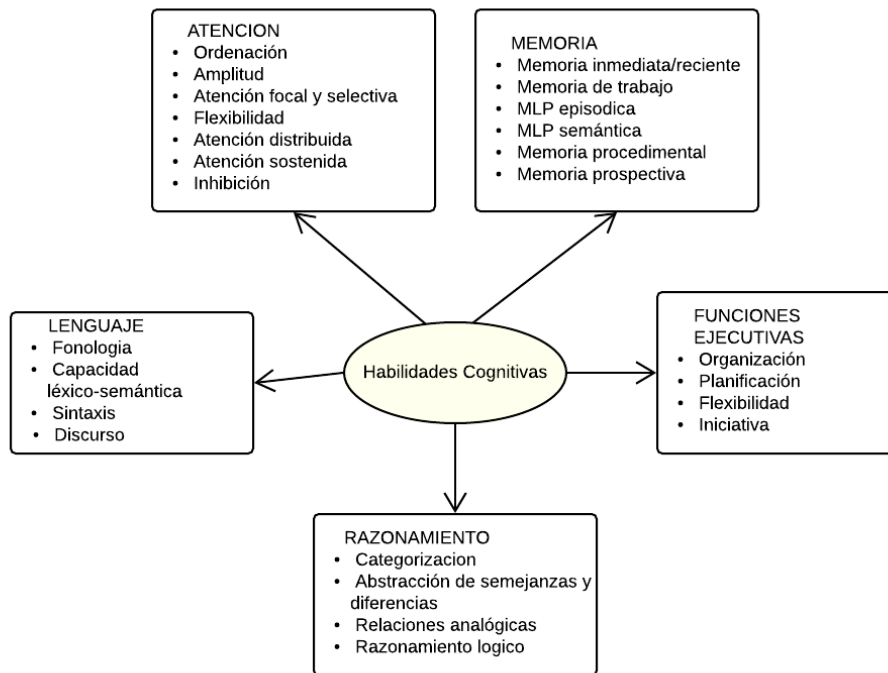


Figura 2.6: Habilidades Cognitivas

- **El sistema cognitivo**

El sistema cognitivo recibe datos codificados del búfer del sistema perceptivo en la memoria de trabajo (WM). Puede hacer procesamiento cognitivo (clasificación, comparación, etc.) de los datos almacenados en la WM, y obtener datos de la memoria a largo plazo (LTM) en WM, utilizando el procesador cognitivo.

Los principales componentes del sistema cognitivo son:

- Procesador cognitivo
- Memoria de trabajo

- **Procesador cognitivo**

El procesador cognitivo es la unidad de procesamiento de la parte cognitiva del MHP. Puede hacer varias operaciones cognitivas con datos en la memoria de trabajo. Este tiempo

variará dependiendo de la operación cognitiva y la representación de los datos involucrados. Las siguientes tres operaciones básicas toman un ciclo para procesador cognitivo [46].

- **Memoria de trabajo**

La memoria de trabajo (WM) contiene las percepciones del sistema perceptivo, los datos obtenidos de la LTM y los resultados de las operaciones cognitivas. Todas las operaciones mentales ocurren en WM [46].

2.3 Usabilidad

- ***Definición ISO 9241-11***

El estándar ISO 9241 (Ergonomic requirements for office work with visual display terminals –VDTs) [47], describe los requisitos ergonómicos para trabajo de oficina con terminales de despliegue visual y explica algunos de los principios básicos subyacentes.

El borrador internacional del estándar ISO/DIS 9241-11 (Guidance on Usability)[48] define como especificar y medir la usabilidad de productos y aquellos factores que tienen un efecto en la usabilidad. La usabilidad de acuerdo al estándar ISO/DIS 9241-11 es:

“La extensión para la que un producto puede ser usado por usuarios específicos, para lograr metas específicas con efectividad, eficacia y satisfacción en un contexto de uso específico”

Para especificar o medir la usabilidad es necesario identificar las metas y descomponer la efectividad, eficiencia y satisfacción, así como los componentes del contexto de uso en subcomponentes con atributos medibles y verificables:

- **Eficacia:** definido en términos de la exactitud y completitud con que usuarios específicos pueden lograr metas específicas en ambientes particulares.
- **Eficiencia:** referido a los recursos gastados en relación con la precisión y completitud de la meta lograda, es decir recursos de tiempo, financieros y humanos.

- **Satisfacción:** que evalúa el confort o comodidad y la aceptabilidad del trabajo del sistema para sus usuarios y otras personas afectadas por su uso.

Los componentes y la relación entre ellos son ilustrados en la Figura 2.7.

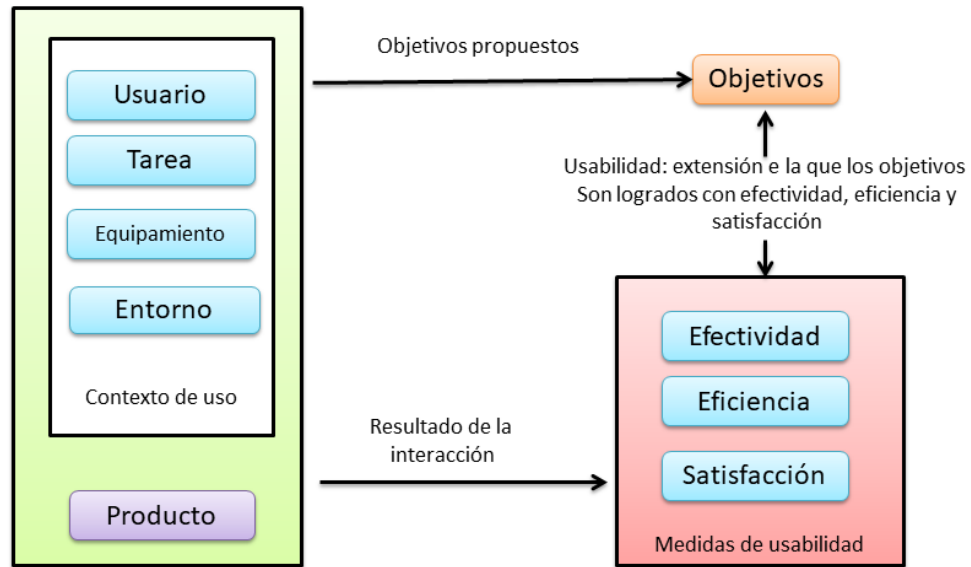


Figura 2.7 Marco de definición de Usabilidad de acuerdo a (ISO 9241-11).

- **Definición ISO/IEC 9126**

De acuerdo al estándar ISO/IEC 9126 (Software Product Evaluation - Quality Characteristics and Guidelines for the User) [49], usabilidad es un atributo de la calidad del software. El término es utilizado para referirse a la capacidad de un producto para ser usado fácilmente. Esto corresponde a la definición de usabilidad como parte de la calidad del software, siendo la calidad del software definida por el estándar como: "Un conjunto de atributos de software que se sostienen en el esfuerzo necesitado para el uso y en la valoración individual de tal uso por un conjunto de usuarios declarados o implicados". Esto está relacionado con la capacidad del producto software para ser entendido, aprendido, usado y atractivo para el usuario, cuando es utilizado bajo condiciones específicas.

En la parte ISO 9126-1 [50] de este estándar, la usabilidad es analizada en términos de su comprensibilidad, aprendizaje, operabilidad, atractividad y complacencia, tal como se describe a continuación [51]:

- **Comprensibilidad**, define la capacidad del producto software para permitir al usuario entender si el software es adecuado, y como puede ser usado para tareas y condiciones de uso particulares.

- **Aprendizaje**, referido a la capacidad del producto software para permitir a los usuarios aprender a usar sus aplicaciones.

- **Operabilidad**, es la capacidad del producto software para permitir al usuario operarlo y controlarlo. Aspectos de conformidad, mutabilidad, adaptabilidad e instalación pueden afectar a la operabilidad. También este atributo corresponde a la tolerancia de error, y conformidad con las expectativas del usuario. En un sistema, sobre el que opera un usuario, la combinación de funcionalidad, confiabilidad, usabilidad y eficiencia pueden ser medidas externamente por la calidad de uso.

- **Atractivo**, es la capacidad del producto software para ser atractivo al usuario. Está referido a los atributos del software pensados para hacer el software más atractivo al usuario, tal como el uso de color y la naturaleza del diseño gráfico.

- **Conformidad a estándares y pautas**, referido a la capacidad del producto software para adherirse a estándares, convenciones, guías de estilo o regulaciones relacionadas con la usabilidad.

En la Figura 2.8, se muestran los factores claves de calidad de acuerdo a ISO 9126 [49], y la inclusión de la usabilidad como factor de calidad.



Figura 2.8: La usabilidad de acuerdo a ISO/IEC 9126

- ***Definición de Nielsen***

Desde la visión de Nielsen [52], la usabilidad se define en términos de cinco atributos de usabilidad: aprendizaje, eficiencia, memorización, prevención de error y satisfacción subjetiva.

- *Aprendizaje*, significa que nuevos usuarios deberían aprender fácilmente a usar el sistema.
- *Eficiencia*, el sistema debería ser eficiente para uso cuando el usuario ha aprendido a usarlo.
- *Memorización*, el sistema deberá ser fácil de recordar incluso después de algún periodo sin uso.
- *Prevención de error*, el sistema deberá tener un bajo porcentaje de error y el usuario deberá fácilmente recuperarse de posibles errores.
- *Satisfacción*, significa que el sistema debe ser agradable de usar.

En el modelo de Nielsen, la usabilidad es “Parte de la utilidad del sistema, la cual es parte de la aceptabilidad práctica y, finalmente parte de la aceptabilidad del sistema”.

2.3.2 Evaluación de la usabilidad

La evaluación de la usabilidad es un proceso que se sigue para producir una medida de la facilidad de uso. En la evaluación, hay un objeto que está siendo evaluado y un proceso a través del cual uno o más atributos son juzgados o se les da un valor [53]. La evaluación de usabilidad para algunos autores como [54], es un estudio empírico con usuarios reales del sistema propuesto, con el propósito de proporcionar retroalimentación en el desarrollo de software durante el ciclo de vida de desarrollo iterativo. El campo de desarrollo de software ha reflejado un creciente interés en pruebas de usabilidad, que son generalmente ejecutadas en los estados de desarrollo de nuevos hardware y software. El concepto de evaluación de usabilidad es para permitir la validación de todos los requisitos, para hacerlo tan útil como sea posible y así aumentar la calidad del producto y la satisfacción del cliente del producto potencial.

La evaluación de la usabilidad, es una de las tareas más importantes que debe realizarse cuando se desarrolla una interfaz de usuario. Algunos métodos de evaluación pueden requerir un completo laboratorio de usabilidad y otros pueden lograrse con poco más que una interacción semi-formal entre el grupo de desarrollo y los usuarios. Incluso con una inversión relativamente pequeña en métodos de usabilidad puede obtenerse una mejora significativa de la usabilidad de un sistema de software [55]. Analizando lo anterior podemos establecer que el propósito de la evaluación de usabilidad es entre otros:

1. Proporcionar retroalimentación para mejorar el diseño.
2. Valorar qué objetivos de usuarios y organizaciones están siendo logrados.
3. Monitorizar el uso de productos o sistemas a largo plazo.

Ya que una evaluación basada en el usuario puede estudiar sólo un subconjunto de todas las posibles tareas que un sistema puede soportar, la evaluación debe estar basada en el estudio de las tareas más representativas, escogidas por su frecuencia o criticidad. Las características del usuario son también importantes en la determinación de la usabilidad, de forma que es fundamental que ésta pueda ser evaluada por un grupo de usuarios

representativos de usuarios y no por los propios desarrolladores que poco pueden aportar del uso real.

2.3.3 Métodos de evaluación de usabilidad

Un método es un proceso disciplinado para generar un conjunto de modelos que describen varios aspectos de un sistema (software) en desarrollo, utilizando alguna notación bien definida [56].

Un método de evaluación de usabilidad es un procedimiento sistemático para grabar datos relacionados con la interacción del usuario final con un producto software o sistema [57]. Los datos recolectados son analizados y evaluados para determinar la usabilidad del producto.

Respecto a los nombres de los métodos se observa que la mayoría de autores [58], [59] y [60] usan algunos nombres de modo consistente (por ejemplo, observación, cuestionario, recorridos cognitivos, heurísticas), mientras que otros nombres de métodos (por ejemplo, evaluación productiva, interpretativa, cooperativa) son usados de acuerdo a la preferencia o prejuicio del autor [61][60], como se muestra en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5: Métodos para evaluación de la usabilidad

Autor	Métodos para la evaluación de la usabilidad
Nielsen y Molich	<i>Evaluación formal</i>
	<i>Evaluación automática</i>
	<i>Evaluación empírica</i>
	<i>Evaluación heurística</i>
Preece	<i>Evaluación de expertos</i>
	<i>Evaluación observacional</i>
	<i>Evaluación por investigación</i>
	<i>Evaluación experimental.</i>
Hix y Harton	<i>Evaluación analítica, Evaluación empírica.</i>
Baecker	<i>Métodos experimentales</i>
	<i>Métodos observacionales</i>
	<i>Métodos basadas en pregunta</i>

	<i>Métodos de evaluación cooperativa</i>
	<i>GOMS (Goals Operators Methods and Sequences)</i>
	<i>Inspecciones cognoscitiva</i>
	<i>Evaluación heurística</i>

2.3.4 Usabilidad en aplicaciones móviles

Las tecnologías móviles y su continuo avance están facilitando una nueva generación de aplicaciones, las cuales se denominan “aplicaciones móviles”. Se considera aplicación móvil, a aquel software desarrollado para dispositivos móviles. Móvil se refiere a poder acceder desde cualquier lugar y momento a los datos, las aplicaciones y los dispositivos. Los dispositivos móviles son suficientemente livianos como para ser transportados por personas y disponen de la capacidad de batería adecuada para funcionar de forma autónoma. Estos dispositivos están dominados por diferentes plataformas tecnológicas, incluyendo diferentes sistemas operativos.

Para medir la usabilidad en aplicaciones móviles y obtener resultados reales, es necesario considerar el contexto como parte integral de la aplicación. Si no se tiene en cuenta el entorno se está realizando un análisis sesgado de usabilidad en comparación con lo que sucede cuando un usuario usa la aplicación en el mundo real. En ese entorno real la conectividad (ancho de banda) puede ir cambiando según el lugar donde se encuentre el usuario, afectando el uso de la aplicación. Para el dominio de las aplicaciones móviles cuyo contexto de uso cambia continuamente, como se plantea en [62], existen algunos desafíos al momento de examinar la usabilidad:

Entorno móvil: Se puede definir como cualquier información que caracteriza una situación relacionada con la interacción entre usuarios, aplicaciones y sus alrededores. Esto incluye la ubicación, las identidades de las personas cercanas, objetos, elementos del entorno que pueden distraer la atención del usuario, etc. Este puede estar cambiando continuamente.

Conectividad: El ancho de banda limitado y la baja confiabilidad de las conexiones, son características comunes en la conectividad de estos tipos de dispositivos. Este problema afecta principalmente a los tiempos de descarga de datos y la calidad de la transmisión de audio y video. La intensidad de la señal y la velocidad de transferencia de la red pueden variar en diferentes momentos y lugares, agravadas también por la movilidad del usuario.

Capacidad de procesamiento: El poder computacional y la capacidad de memoria de los dispositivos móviles son reducidos con respecto a dispositivos considerados de escritorio.

Pantallas pequeñas: Las limitaciones físicas propias de los dispositivos móviles, como el tamaño pequeño de las pantallas afectan la usabilidad de una aplicación.

Pantallas con diferentes resoluciones: La baja resolución de la pantalla puede degradar la calidad de la información multimedia mostrada. Como resultado, diferentes resoluciones de pantalla puede causar diferentes grados de usabilidad.

Método de entrada de datos: El ingreso de datos en estos dispositivos no es una tarea sencilla.

Diminutos botones y etiquetas limitan la eficacia y eficiencia de los usuarios en la introducción de datos, esto reduce la velocidad de entrada y aumenta los errores. En general no es eficiente y nada amigable.

El trabajo realizado en [63] propone un modelo, llamado mGQM (mobile Goal Question Metric), el cual define un conjunto de métricas para evaluar la usabilidad de las aplicaciones móviles. El modelo propone un conjunto de métricas objetivas y subjetivas, las que a continuación se detallan:

Métricas Objetivas

- **Tiempo requerido para introducir los datos:** Esta métrica mide el tiempo tomado por el usuario para ingresar datos de entrada.
- **Número de errores al teclear los datos:** Esta métrica mide el número de errores cometidos, mientras el usuario introduce datos al utilizar la aplicación.

- **El número de interacciones durante la instalación de la aplicación:** Esta métrica mide la cantidad de interacciones entre el usuario y el dispositivo móvil cuando se está instalando una aplicación.
- **Tiempo necesario para aprender:** Este indicador mide el tiempo empleado por los usuarios para aprender a utilizar la aplicación.
- **Número de errores mientras aprende:** Este indicador mide el número de errores cometidos por los usuarios cuando están aprendiendo a utilizar la aplicación.
- **Número de errores:** Este indicador mide si la aplicación es precisa o imprecisa.
- **Tiempo necesario para completar la tarea:** Este indicador medirá el tiempo empleado por el usuario para completar las tareas dadas.
- **Número de tareas exitosas en el primer intento:** Esta métrica indica el número de tareas terminadas con éxito en el primer intento.
- **Número de tareas exitosas en el tiempo dado:** Este indicador proporciona información sobre si los usuarios están familiarizados con la aplicación mediante el recuento del número de tareas completadas con éxito en un tiempo dado.
- **Tiempo necesario para iniciar la aplicación:** Este indicador mide el tiempo empleado por los dispositivos móviles para iniciar una aplicación.
- **Tiempo necesario para responder:** Esta métrica mide el tiempo empleado por una aplicación para responder a la entrada del usuario.
- **Número de recursos del sistema mostrados:** Esta métrica cuenta el número de recursos del sistema (nivel de la señal o de la batería) que se muestra durante el estudio de usabilidad.

Métricas Subjetivas

- **Satisfacción con el teclado virtual:** Este indicador mide el grado de satisfacción del usuario con el teclado proporcionado por la aplicación móvil o por el dispositivo móvil.
- **Satisfacción con la salida:** Este indicador mide el nivel de satisfacción con la salida proporcionada por las aplicaciones.

- **Satisfacción con el proceso de instalación:** Este indicador mide el nivel de satisfacción de los usuarios cuando instalan aplicaciones en los dispositivos móviles.
- **Satisfacción con la optimización del tamaño de pantalla:** Este indicador mide el nivel de satisfacción de los usuarios con la optimización del tamaño de la pantalla.
- **Satisfacción con la ayuda:** Este indicador mide el grado de satisfacción de los usuarios con la ayuda proporcionada por las aplicaciones.
- **Satisfacción con los contenidos:** Satisfacción con el contenido es una medida esencial para asegurar que los contenidos suministrados cumplirán las necesidades de los usuarios.
- **Placer:** Esta métrica mide el disfrute de los usuarios cuando utilizan las aplicaciones móviles.
- **Satisfacción con la interfaz:** Satisfacción con la interfaz es también una medida importante porque una buena interfaz atraerá a más usuarios a utilizar la aplicación.
- **Seguridad durante la conducción:** Este indicador mide el nivel de seguridad para las personas que utilizan las aplicaciones móviles mientras conducen.
- **Facilidad para encontrar ayuda:** Esta métrica mide cuán fácil es para los usuarios encontrar ayuda en las aplicaciones.
- **Estrés:** Esta métrica mide el nivel de estrés que sienten los usuarios cuando usan las aplicaciones móviles.
- **Satisfacción con el indicador de señal:** Esta medida indica la satisfacción del usuario con el indicador de señal proporcionada por las aplicaciones móviles.
- **Satisfacción mientras aprenden:** Este indicador mide el nivel de satisfacción de los usuarios cuando aprenden a utilizar las aplicaciones.
- **Satisfacción con el texto:** Este indicador mide el nivel de satisfacción de los usuarios con el texto que muestran las aplicaciones.
- **Satisfacción con el sistema de navegación:** Este indicador mide el grado de satisfacción con el sistema de navegación (como los usuarios pasan de un menú a otro menú o submenú).

- **Satisfacción con la pantalla táctil:** Esta métrica mide el nivel de satisfacción de los usuarios con la pantalla táctil.
- **Satisfacción con el botón de menú:** Esta medida indica el nivel de satisfacción de los usuarios con el botón de menú.

2.4 Métodos de modelado cognitivo

2.4.1 Modelo Procesador Humano

El modelo de procesador humano o MHP (Model Human Processor) [18] es un método de modelado cognitivo desarrollado por Stuart K. Card, Thomas P. Moran y Allen Newell [64] que se utiliza para calcular el tiempo que lleva realizar una determinada tarea. Otros métodos de modelado cognitivo incluyen diseño paralelo, GOMS y KLM (interacción humano-computadora).

El modelado cognitivo es una forma de evaluar la usabilidad de un producto. Este método utiliza tiempos experimentales para calcular el tiempo de procesamiento cognitivo y motor. El valor del modelo de procesador humano es que permite a un diseñador de sistemas predecir el rendimiento con respecto al tiempo que le toma a una persona completar una tarea sin realizar experimentos. Otros métodos de modelado incluyen métodos de inspección, métodos de investigación, métodos de prototipos y métodos de prueba.

La definición estándar para MHP es: El MHP establece una analogía entre las áreas de procesamiento y almacenamiento de una computadora, con las áreas perceptual, motora, cognitiva y de memoria del usuario de la computadora [64].

El modelo procesador humano se puede dividir en tres subsistemas que interactúan: 1) el sistema perceptivo, 2) el sistema motor y 3) el sistema cognitivo, cada uno con sus propias memorias y procesadores.

El modelo de procesador humano usa los procesadores cognitivos, perceptuales y motores junto con la imagen visual, la memoria de trabajo y los almacenamientos de memoria a largo plazo. Un diagrama se muestra en la Figura 2.9.

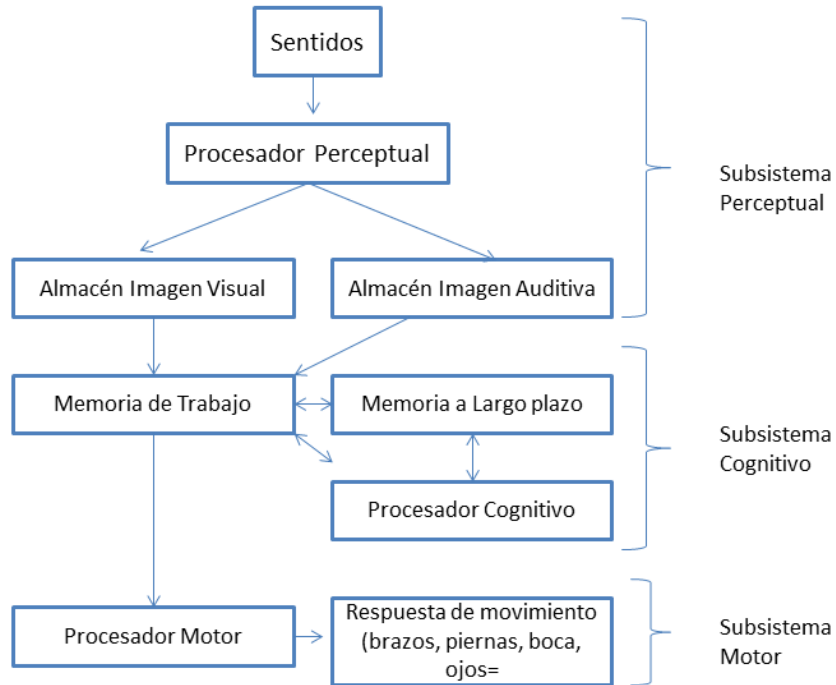


Figura 2.9 Modelo Procesador Humano

2.4.2 Modelo GOMS

La principal forma existente de modelo de ingeniería para el diseño de interfaz es el modelo GOMS, propuesto por primera vez por Card, Moran, and Newell [18]. Un modelo GOMS es una descripción del conocimiento que un usuario debe tener para realizar tareas en un dispositivo o sistema. El acrónimo GOMS significa Objetivos, Operadores, Métodos y Reglas de Selección. Brevemente, un modelo de GOMS consiste en descripciones de los Métodos necesarios para lograr metas especificadas. Los Métodos son una serie de pasos consistentes en Operadores que el usuario realiza. La forma más simple del modelo GOMS es el modelo Keystroke-Level Model, descrito por primera vez por Card, Moran, and Newell

[22], en el cual el tiempo de ejecución de la tarea se predice por el total de veces para las acciones elementales de nivel de teclas requeridas para realizar la tarea.

- **Componentes del modelo GOMS**

Un modelo GOMS se compone de métodos que se utilizan para lograr objetivos específicos, como se muestra en la Figura 2.10. Estos métodos están compuestos por operadores en el nivel más bajo. Los operadores son pasos específicos que un usuario realiza y se le asigna un tiempo de ejecución específico. Si un objetivo se puede lograr mediante más de un método, entonces las reglas de selección se utilizan para determinar el método adecuado.

a) **Metas.** Las metas son lo que el usuario debe lograr. El sentido común del término se aplica aquí; una meta es el “fin hacia el cual se dirige el esfuerzo”. Las metas a menudo se dividen en metas secundarias; todos los objetivos secundarios deben lograrse para alcanzar el objetivo general.

b) **Operadores.** Un operador es una acción realizada al servicio de un objetivo. Los operadores pueden ser actos perceptuales, cognitivos o motores, o una combinación de estos. Los operadores pueden cambiar el estado mental interno del usuario o cambiar físicamente el estado del entorno externo. Se supone que los parámetros importantes de los operadores, en particular el tiempo de ejecución, son independientes de cómo el usuario o el sistema entraron en el estado actual (es decir, independiente de la historia de los operadores). El tiempo de ejecución puede aproximarse mediante una constante, una distribución de probabilidad o una función de algún parámetro.

c) **Métodos.** Los métodos son secuencias de los operadores y las invocaciones sub-objetivo que logran un objetivo. Si los objetivos tienen una forma jerárquica, entonces

hay una jerarquía de métodos correspondiente. El contenido de los métodos depende del conjunto de posibles operadores y de la naturaleza de las tareas representadas.

d) **Reglas de selección.** Si hay más de un método aplicable a un objetivo, entonces las reglas de selección son necesarias para representar el conocimiento del usuario sobre qué método se debe aplicar. Normalmente, dichas reglas se basan en propiedades específicas de la instancia de la tarea. Las reglas de selección pueden surgir a través de la experiencia personal de un usuario con la interfaz o de una capacitación explícita.

Ventajas: El enfoque de GOMS para el modelado de usuarios es un método que sirve para medir la interacción de la interfaz hombre-computadora, ya que permite la visibilidad de todo el conocimiento procedimental. Con GOMS un analista puede estimar una interacción particular y calcularla rápida y fácilmente.

Desventajas

GOMS solo se aplica a usuarios expertos. No funciona para principiantes o intermedios porque pueden ocurrir errores que pueden alterar los datos. Además, el modelo no se aplica al aprendizaje del sistema o un usuario que usa el sistema después de un tiempo prolongado de no usarlo. Otra gran desventaja es la falta de explicación de errores, incluso los usuarios expertos cometen errores, pero GOMS no da cuenta de los errores. La carga de trabajo mental no se aborda en el modelo, por lo que esta es una variable impredecible. Lo mismo se aplica a la fatiga. GOMS solo aborda la usabilidad de una tarea en un sistema, no aborda su funcionalidad [18]. Las personalidades del usuario, los hábitos o las restricciones físicas (por ejemplo, discapacidades) no se tienen en cuenta en ninguno de los modelos de GOMS. Se supone que todos los usuarios son exactamente iguales.

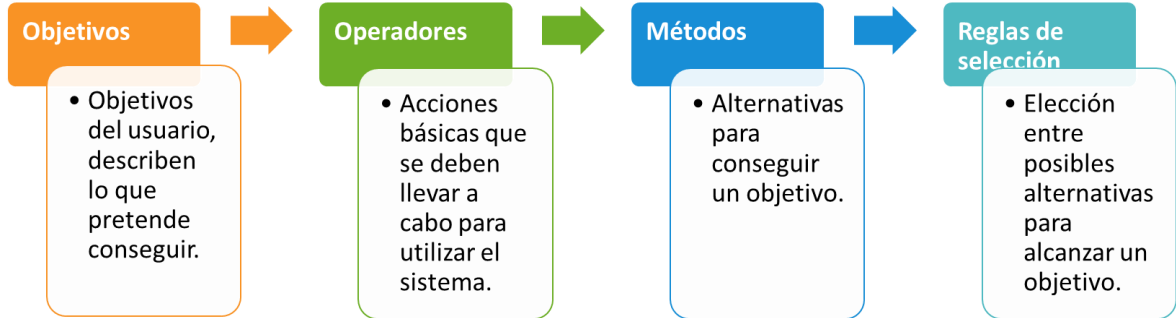


Figura 2.10: Componentes modelo GOMS

La idea central del modelo GOMS es que el tiempo necesario para realizar una determinada tarea es la suma de los tiempos de las acciones elementales (presionar un botón, mover el cursor del mouse a un lugar determinado en la pantalla, hacer clic con el mouse, etc.) requerido para terminar la tarea. Diferentes usuarios necesitarán tiempos diferentes para estas acciones elementales. Para un análisis comparativo de diseños de pantalla, es suficiente usar un conjunto de tiempos típicos o promedio para las acciones elementales. Estos tiempos promedio típicamente se determinan en experimentos de laboratorio.

2.4.3 Keystroke Level Model (KLM)

El Keystroke Level Model (KLM) se compone de varios operadores primitivos. Los métodos se pueden codificar en términos de estos operadores mediante la aplicación de un conjunto de heurísticas [18]. El KLM es una versión ampliamente simplificada de GOMS original. Su propósito es simple: modelar el tiempo que tarda un usuario en realizar una tarea con un determinado método en un sistema informático interactivo [22].

A pesar de su relativa simplicidad, KLM ha demostrado ser exacto[22]. En la investigación original, el error del modelo observado fue el 21 por ciento del tiempo

promedio de ejecución previsto. [1, p. 8] Este nivel de precisión resultó prometedor para muchas aplicaciones prácticas, incluidas tres en particular:

1. puntos de referencia calculados para los sistemas;
2. análisis paramétrico, donde las predicciones se expresan como funciones de variables de tareas; y
3. análisis de sensibilidad, donde los cambios en las predicciones se examinan en función de los cambios en la tarea o los parámetros del modelo.

- **Operadores KLM**

Para predecir el tiempo que una tarea requerirá, se descompone en tres grandes categorías de operadores: físico-motor, acto mental del usuario (M) y respuesta del sistema (R). Los operadores físico-motores se diferencian además como: pulsaciones (K), apuntando (P), Homing (H) y dibujo (D). Los métodos para realizar una tarea se codifican como una secuencia de estos operadores, y los tiempos de referencia para cada uno se suman a continuación para devolver una predicción de tiempo para el método [22].

- **Keystroke or Button Press (K)**

Card et al. [18] definió originalmente el operador K de pulsaciones de teclas como el tiempo promedio necesario para presionar un botón. Se debe medir dividiendo el tiempo necesario para una secuencia más larga de pulsaciones de botones por el número de estas presiones. Aunque KLM está dirigido a usuarios expertos, se han permitido e incorporado explícitamente correcciones inmediatas de botones presionados incorrectamente (p. Ej., Al presionar el retroceso).

- **Pointing (P)**

El apuntamiento se ha definido originalmente para modelar el tiempo utilizado para mover un cursor a un área objetivo usando el mouse. En general, esto no es aplicable para aplicaciones de teléfonos móviles, excepto en aplicaciones raras en las que se puede controlar un cursor usando el joystick o botones especiales. Tales interacciones se pueden

modelar utilizando las pulsaciones de teclas apropiadas, ya que no se basan en la Ley de Fitts, como es la interpretación original de P.

- **Homing (H)**

En el KLM original, este modeló el movimiento de la mano desde el teclado hacia el mouse o hacia atrás. Para las interacciones con el teléfono móvil, esto no es relevante. Sin embargo, la acción de mover el teléfono desde una posición donde se puede leer la pantalla hasta la oreja o la espalda es un movimiento análogo e igualmente importante.

- **Mental Act (M)**

El operador de Mental Act "se basa en el hecho de que cuando los usuarios con experiencia razonable se dedican al funcionamiento de rutina de una computadora, hay pausas en la secuencia de acciones que duran aproximadamente un segundo y que están asociadas con actos rutinarios como recordar un nombre de archivo o encontrar algo en la pantalla.

- **Drawing (D)**

El operador de Dibujo modela dibujos manuales de segmentos de línea recta nD con una longitud total de 1D cm con el mouse. Esto no es aplicable en nuestro entorno. Sin embargo, esto podría cambiar con posibles aplicaciones para operaciones de arrastrar y soltar realizadas con el teléfono en algunos sistemas futuros. El operador D representa dibujar manualmente un conjunto de segmentos de línea recta con el mouse.

Para predecir el tiempo que una tarea requerirá, se descompone en tres grandes categorías de operadores, como se muestra en la Figura 2.11.

En la tabla 2.6 se muestran los tiempos en segundos para cada operador que propone el modelo KLM.

Operador	Descripción	Tiempo (segundos)
----------	-------------	-------------------

Tabla 2.6:
modelo

K	Keystroke.	0.8-1.20
P	Pointing.	1.1
H	Homing.	0.4
D	Drawing.	$0.9na+0.16db$
M	Mental Act.	1.35

Tiempos del KLM.

2.4.4 Keystroke-level model para dispositivos móviles (KLM).

Los esfuerzos para ampliar GOMS / KLM se han centrado tradicionalmente en evaluar a los operadores originales para la aplicabilidad a nuevas interfaces e introducir nuevos operadores para mecanismos de interacción no anticipados en el modelo original. Entre los más significativos se encuentran los estudios de Holleis, et al. [65] y Li, et al. [66] ambos se centraron en la extensión de KLM para su uso con dispositivos móviles, recomendaron retener varios operadores del KLM original, aunque algunos con una ligera modificación.

El KLM original define 6 operadores y asigna valores de tiempo a cada uno de ellos: Pulsación de teclas (*K*, pulsación de teclas y botones), Señalar (*P*, movimientos del mouse), Dibujar (*D* (*nD*, *ID*), dibujos de líneas rectas con el mouse), Homing (*H*, movimiento de la mano entre el teclado y el mouse), Mental Act (*M*, pausas necesarias para la reflexión, elección, etc.) y Tiempo de respuesta del sistema (*R* (*t*), el usuario espera al sistema).

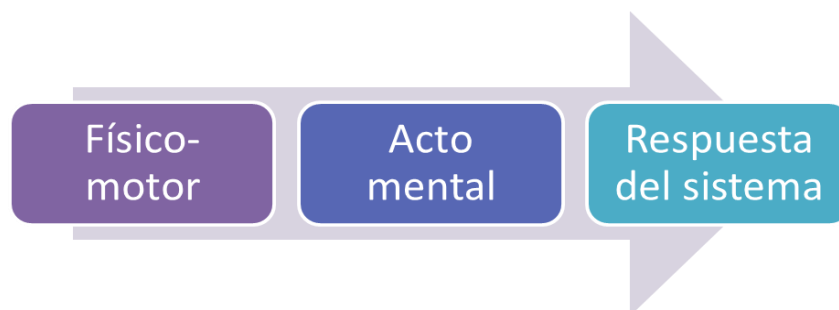


Figura 2.11: Categorías de operadores KLM

Se deben agregar algunos operadores para describir interacciones que no existen en la metáfora de escritorio estándar. Otros deben examinarse de cerca para asegurarse de que las especificaciones originales de tiempo sigan siendo aplicables o para poder derivar nuevos valores. Otros nuevamente no son aplicables a la configuración del teléfono.

- **Nuevos Operadores [66]**

- **Macro Attention Shift (SMacro)**

Una diferencia importante de la interacción de escritorio a teléfono es que la atención de los usuarios se puede dividir entre el teléfono y el mundo real que los rodea. Por lo tanto, un operador Macro Attention Shift modela el tiempo necesario para cambiar el enfoque entre los contenidos en la pantalla del dispositivo móvil a un objeto en el mundo real y viceversa.

- **Micro Attention Shift (SMicro)**

SMicro modela el tiempo necesario para mirar desde la pantalla hasta el teclado y las regiones de teclas rápidas y viceversa. Esto es diferente en los teléfonos celulares ya que el mapeo de las claves es considerablemente más complejo. Por lo tanto, el operador Micro Attention Shift permite un control mucho más fino sobre la interacción del usuario. También puede modelar la incertidumbre cuando, por ejemplo, ingrese datos críticos como números de tarjetas de crédito.

- **Distraction (X)**

Las interacciones con los teléfonos móviles tienen lugar en el mundo real, es probable que las personas se distraigan de su tarea principal acercándose a las personas. A diferencia de todos los demás operadores, la distracción se modela como un factor multiplicativo que modifica los tiempos de otros operadores.

- **Action (A(t))**

Este operador modela el tiempo necesario para ejecutar una determinada acción compleja con el teléfono que no puede subdividirse en tareas más pequeñas y modelarse con una combinación de otros operadores. El tiempo para este operador depende en gran medida del tipo de acción y, de forma similar al operador de tiempo de respuesta $R(t)$, debe ingresarse al modelo (indicado por la notación (t)). Damos valores para algunas acciones típicas.

- **Gesture (G)**

Este operador modela el tiempo necesario cuando se usa un sistema que reconoce los gestos del teléfono móvil, como rotar, sacudir o dibujar números en el aire.

- **Finger Movement (F)**

Este operador modela el tiempo necesario para que un usuario mueva un dedo desde un lugar (especialmente tecla o botón) a otro en el dispositivo. En la mayoría de los modelos, se incluirá en el operador Keystroke pero permite a los diseñadores un modelado más fino, por ejemplo, para predicciones repetidas de pulsaciones de teclas.

- **Initial Act (I)**

En el KLM para el escritorio, generalmente se supone que los usuarios ya están sentados frente a su teclado, mouse y monitor, listos para iniciar la siguiente tarea. El teléfono presenta una configuración completamente diferente ya que las personas tienen que realizar algunas reparaciones (por ejemplo, ubicarlo en una bolsa) antes de poder usarlo en la mayoría de las circunstancias.

- **Operadores Adaptados**

- **Keystroke or Button Press (K)**

Card et al [18] definió originalmente el operador K de pulsaciones de teclas como el tiempo promedio necesario para presionar un botón. Se debe medir dividiendo el tiempo necesario para una secuencia más larga de pulsaciones de botones entre el número de estas presiones.

- **Pointing (P)**

El apuntamiento se ha definido originalmente para modelar el tiempo utilizado para mover un cursor a un área objetivo usando el mouse. En general, esto no es aplicable para aplicaciones de teléfonos móviles. Tales interacciones se pueden modelar utilizando las pulsaciones de teclas apropiadas, ya que no se basan en la Ley de Fitts, como es la interpretación original de P .

- **Homing (H)**

En el KLM original, se modela el movimiento de la mano desde el teclado hacia el mouse o hacia atrás. Sin embargo, la acción de mover el teléfono desde una posición donde se puede leer la pantalla hasta la oreja o la espalda es un movimiento análogo e igualmente importante.

- **Operadores sin cambios**

- **Mental Act (M)**

El operador de Mental Act se basa en el hecho de que cuando los usuarios con experiencia razonable se dedican al funcionamiento de rutina de una computadora, hay pausas en la secuencia de acciones que duran aproximadamente un segundo y que están asociadas con actos rutinarios como recordar un nombre de archivo o encontrar algo en la pantalla.

- **Response Time (R(t) or W(t))**

El operador de *R* modela el tiempo que el sistema necesita para reaccionar ante la entrada del usuario, siempre que impida al usuario ejecutar otras acciones y en este caso depende de la aplicación. En la tabla 2.7 se muestran los operadores que fueron evaluados para dispositivos móviles incluyendo el tiempo en segundos.

Tabla 2.7: Operadores KLM para dispositivos móviles.

Operador		Tiempo
A, Action		1.23
F, Finger Movement		0.23
G, Gestures		0.80
H, Homing		0.95
I, Initial Act	Externamente	5.32
	Internamente	3.89
	Ajuste optimo	1.18
	Sin suposiciones	4.61
K, Keystroke	Teclado promedio	0.39
	Teclado rápido	0.33
M, Mental		1.35
P, Pointing		1.00
R, System Response Time		2.58
SMacro Attention Shift		0.36
SMicro Attention Shift		0.14
X, Distraction	Leve	6%
	Fuerte	21%

2.4.5 Touch-level model (TLM)

Además de GOMS, hay una nueva propuesta llamada Touch-Level Model para cuantificar la interacción del usuario en dispositivos modelo. Retenemos operadores específicos del modelo KLM-GOMS original que siguen siendo aplicables, e introducen nuevos operadores para dar cuenta de las nuevas interacciones que ofrecen las interfaces

de pantalla táctil [19]. Hay una serie de operadores definidos en el KLM original que siguen siendo apropiados para dispositivos con pantalla táctil, con ligeras modificaciones. Son: Presión de teclas / botones (K), Homing (H), Acta mental (M), Tiempo de respuesta (R (t)). Y los nuevos operadores son: Distracción (X), Gesto (G), Pellizco (P). Zoom (Z), Acto inicial (I), Tap (T). Deslizar (S), Inclinar (L (d)). La Tabla 2.8 muestra los nuevos operadores.

Tabla 2.8: Operadores TLM

Operador	Descripción
K	Keystroke
M	Mental Act
X	Distraction
G	Gesture
P	Pinch
Z	Zoom
I	Initial Act
T	Tap
S	Swipe
(L(d))	Tilt
O(d)	Rotate

- **Operadores retenidos.**

Keystroke / Button Press (K). Originalmente diseñado para modelar pulsaciones de botones en un teclado, sigue siendo útil modelar pulsaciones de botones en un teclado virtual. Sin embargo, los teclados virtuales imponen restricciones que un teclado tradicional no tiene. Como tal, no podemos suponer que los tiempos promedio de KLM originales para este operador todavía son ciertos.

Homing (H). Originalmente diseñado para modelar el acto de mover físicamente una mano del mouse al teclado (y viceversa), este operador puede usarse para modelar los movimientos / acciones de atención necesarios que ocurren cuando un usuario inicia una acción de tipeo con el teclado virtual o intenta cambiar enfoque desde el teclado virtual (incluido el acto de cerrar el teclado virtual).

Tabla 2.9: Descripción de operadores TLM

Operadores retenidos	
K (Keystroke / Button Press)	Un botón presiona sobre un teclado puramente virtual.
H (Homing)	El acto de colocar los dedos o la mano sobre varias partes de la interfaz en preparación para las operaciones con pantalla táctil
M (Mental Act)	La preparación mental necesaria para realizar otra acción.
R(t) (Response Time)	El tiempo de espera en la interfaz del sistema o para responder
Operadores nuevos	
X (Distraction)	Un operador multiplicativo que agrega tiempo a otros operadores. Modela las distracciones que ocurren naturalmente en el uso de un dispositivo móvil en el mundo real.
G (Gesture)	El tiempo necesario para formar físicamente gestos especializados con uno o varios dedos
P (Pinch)	Un gesto con los dedos comúnmente utilizado para alejarse.
Z (Zoom)	Un gesto con los dedos comúnmente utilizado para acercar
I (Initial Act)	La acción o acciones necesarias para preparar el sistema para su uso (por ejemplo, desbloquear el dispositivo, tocar un ícono, ingresar una contraseña).
T (Tap)	Tocando un área de la pantalla para efectuar un cambio o iniciar una acción.
S (Swipe)	Un gesto con el dedo en el que un dedo o dedos se colocan en la pantalla y, posteriormente, se mueven en una sola dirección durante un período de tiempo determinado.

L (d) Tilt	La inclinación o rotación completa de todo el dispositivo de grados (o radianes).
O (d) Rotate.	Un gesto con el dedo en el que los dedos se colocan en la pantalla y luego giran d grados (o radianes) alrededor de un eje central.
D (Drag)	Un gesto con los dedos en el que se colocan los dedos en la pantalla y luego se mueve generalmente en línea recta a otra ubicación A menudo se usa para desplazar el contenido o mover un elemento de interfaz de una ubicación a otra.

Mental Act (M). Este operador explica la preparación mental necesaria para realizar otra acción en la interfaz (como escanear visualmente la pantalla). Numerosos estudios han confirmado el valor original para este operador de 1,35 segundos.

Response Time (R(t)). Esperar que un dispositivo responda es ciertamente una realidad en muchos dispositivos producidos en masa (y puede depender del software), por lo que proponemos que sea incluido. En la tabla 2.9 se definen los operadores nuevos y retenidos que presenta este modelo.

2.4.6 Fingerstroke Level Model (FLM)

Propone una versión modificada de la KLM, tentativamente llamado el Fingerstroke Level Model (FLM) [14], utilizando estimaciones de tiempo en sofisticados modelos de regresión. Se sabe que el KLM permite la estimación a nivel primitivo del modelo GOMS (Goals), de Operadores, Métodos y Selección para predecir el rendimiento humano [21]. En el presente estudio se definen las cuatro interacciones de los dedos usadas con mayor frecuencia en dispositivos móviles populares [14].

Tapping (T) corresponde bien al operador de pulsación de teclas (K) en KLM, que es una interacción repetitiva o serie de interacciones para realizar una sola tarea. En el contexto del juego móvil, la operación de tapping sirve como toque repetitivo en un lugar de la pantalla. Por lo tanto, la distancia desde la posición inicial del dedo hasta el objetivo en la pantalla determina principalmente el tiempo de la unidad para la derivación.

Pointing (P) en el KLM, apuntando (P) se refiere originalmente al tiempo requerido para mover un cursor de una posición al siguiente objetivo usando el ratón. Sin embargo, en movimientos de dedos en dispositivos móviles, un gesto de dedo reemplaza a un ratón para que el operador inevitablemente incluya una interacción de derivación.

Arrastre (D) mide el tiempo necesario para arrastrar o mover un objeto en la pantalla táctil. Esto es en gran parte similar al operador de dibujo (D) en el KLM. El operador de arrastre se inicia tocando con un dedo un objeto y se termina por Levantando el dedo del objeto. El diferenciador importante aquí es que el dedo está en contacto continuo con la superficie durante el movimiento desde la posición inicial hasta la posición objetivo, lo que contrasta tanto con los operadores de derivación como con los operadores de señalización.

Flicking (F), un operador recién introducido en este estudio, mide el tiempo que se utiliza para deslizar un dedo lo más rápido posible, para tan corta distancia como sea posible. Flicking es similar al operador de arrastrar, pero difiere en la liberación del dedo en el siguiente objetivo. Una aplicación típica del operador flicking es la navegación de fotos en teléfonos móviles sensibles al tacto.

Tabla 2.10 : Operadores de pulsación de dedos en relación con el KLM original.

Operador	Descripción	Comparación con KLM
T (Tapping)	Ingresando los comandos repetitivos, que generalmente se encuentra en un área designada en la pantalla	Adaptado de K (keystroking)
P (Pointing)	Un movimiento relativamente largo de una posición a la otra posición	Adaptado de P (pointing)
D (Dragging)	Arrastrando o moviendo un objeto en la pantalla táctil	Adaptado de D (drawing)
F (Flicking)	Arrastrando lo más rápido y brevemente posible	Nuevo introducido
H (Homing)	Cambiar las manos en el teclado u otro dispositivo	No aplica

R (Response time)	Tiempo de respuesta del sistema sobre la señal de entrada	Adaptado de R (response time)
M (mental thinking time)	Preparación mental para la actuación física	Adaptado de M (mental Act)

Homing (H), KLM describe como la conmutación de la mano a cargo del control de juego desde el teclado al ratón o viceversa, es de menor uso en interacciones móviles de un solo dedo porque el pulgar se utiliza principalmente Para controles de juegos. En consecuencia, el tiempo de respuesta de homing no se prueba empíricamente en el presente estudio. En la tabla 2.10 se definen cada uno de los operadores que pertenecen al modelo KLM original.

La Tabla 2.11 resume las estimaciones de tiempo de los cuatro operadores físicos en dispositivos móviles sensibles al tacto. Tenga en cuenta que el estudio su objetivo fue aplicar las estimaciones de la unidad de tiempo de los operadores físicos para predecir el rendimiento de juego basado en el tacto.

Tabla 2.11 : Tiempo de unidad de comparación entre KLM y FLM.

Keystroke-level model (Card et al.)		Fingerstroke-level model	
Operador	Tiempo (seg)	Operador	Tiempo (seg)
T (Tapping)	0.20	T (Tapping)	0.35
P (Pointing)	1.10	P (Pointing)	0.43
D (Drawing)	$0.9n^a + 0.16d^b$	D (Dragging)	0.17 (SD: 0.14) $-0:0327 + 0:0799 \times \log_2(A/W + 1)$
H (Homing)	0.40	F (Flicking)	Left to the right: 0.11 (SD: 0.03) Right to the left: 0.12 (SD: 0.03)
R (Response time)	Variable	R (Response time)	Variable
M(mental thinking time)	1.35	M (mental thinking time)	1.35

2.5 Trabajos relacionados

2.5.1 Modelado Cognitivo

Predecir cómo se comportará un usuario al usar un sistema de software puede ayudarnos a determinar cuándo y dónde pueden ocurrir problemas de usabilidad en un sistema dado. Comprender cómo piensa un usuario puede ayudarnos a modelar una mejor forma de interacción. HCI comenzó modelando al usuario con el Modelo de Procesador Humano [64], basado en los modelos cognitivos actuales del momento de ciertas funciones, describió los valores de las acciones que el usuario debe llevar a cabo para interactuar con un sistema tan aproximado del tiempo de finalización de una tarea determinada. Este modelo sirvió de base para los modelos posteriores, como GOMS y KLM, cada uno con un énfasis diferente.

GOMS funciona como un análisis de tareas dividiendo cada tarea en diferentes componentes (objetivos, operadores, métodos, reglas de selección), mientras que KLM (modelo de nivel de pulsaciones) [64] se centra en el tiempo de ejecución que consta de seis operadores cada uno con un valor establecido, lo que hace que sea sencillo calcular un tiempo de ejecución en función de la tarea.

Las nuevas adaptaciones del modelo KLM surgen con el aumento de la popularidad de los dispositivos de pantalla táctil, como tabletas y teléfonos inteligentes. El modelo KLM una de las primeras adaptaciones para dispositivos móviles se [66]. El modelo Touch-Level [19] toma algunos operadores del KLM y los adapta a nuevos dispositivos, al tiempo que propone algunos nuevos operadores. Actualmente se está ampliando a medida que se agregan más operadores a medida que avanza la investigación. Algunos operadores nuevos son: Distraction level, pinch, zoom, tap, swipe, tilt, rotate, and drag. Además, en [14] propuso una versión modificada del modelo KLM-GOMS llamado FLM (Finger Level Model). El objetivo de este estudio fue definir el tiempo necesario para realizar los operadores de

dispositivos móviles usando movimientos directos de los dedos (Tapping (T), Pointing (P), Dragging (D) y Flicking (F)).

Con la creciente popularidad de los dispositivos móviles, el modelo KLMGOMS se ha revisado recientemente para estimar las interacciones móviles basadas en dispositivos de pantalla táctil [15], [67], [68]. El KLM-GOMS original define seis operadores: Pulsación de teclas (K, pulsación de teclas y botones), Señalar (P, movimientos del mouse), Dibujar (D, dibujos de líneas rectas con el mouse), Orientación (H, movimiento de manos entre teclado y mouse), Ley mental (M, pausas necesarias para la reflexión, elección, etc.), y Tiempo de respuesta del sistema (R (t), el usuario espera al sistema). El estudio de Holleis et al. analizaron las diferencias y similitudes entre KLM-GOMS para la interacción de escritorio y la interacción móvil [65]. Los KLM-GOMS revisados para dispositivos móviles ajustaron estos operadores a la interacción de los dispositivos móviles y sugirieron un valor de tiempo para cada operador. Sin embargo, este análisis no es para dispositivos móviles de pantalla táctil.

Del mismo modo, Lee et al. [14] propuso una versión modificada de KLM-GOMS, llamada FLM. El objetivo de este estudio fue estimar el tiempo necesario para realizar los operadores de interacción táctil mediante el uso de movimientos directos de los dedos (Tapping (T), Pointing (P), Dragging (D) y Flicking (F)). Ambos modelos, el KLM-GOMS y el FLM revisados, en su parte de experimentación, consideraron solo adultos típicos con experiencia en el uso de la tecnología.

2.5.2 Interfaces de usuario para usuarios con necesidades especiales

Las intervenciones tecnológicas para apoyar a los usuarios con necesidades especiales se ha incrementado en los últimos años, por su parte Rocha et al. [17] hizo un esfuerzo para evaluar la usabilidad de la entrada tradicional de mouse y teclado (operador K de KLM-GOMS) y la entrada de pantalla táctil (operador T de FLM) para usuarios con discapacidades intelectuales. Sin embargo, la evaluación de usabilidad no consideró cualquier modelo

como KLM-GOMS o FLM. El estudio consideró el rendimiento y los errores de los usuarios para evaluar qué interacción era más útil.

En el caso de niños con TEA los estudios se han incrementado en los últimos años [3]. Algunos de estos estudios muestran que el uso de computadoras con personas autistas en un ambiente educativo elevó la atención enfocada, las habilidades de atención, las habilidades motrices finas y las habilidades de generalización [4], [5]. A pesar de estos grandes esfuerzos, hay trabajo por hacer en el diseño de software para este tipo de usuarios.

El software para usuarios con TEA debe diseñarse cuidadosamente debido a las capacidades especiales de estos usuarios. Existe una diferencia cognitiva entre los niños típicos y los autistas que hace que la usabilidad disminuya considerablemente antes del segundo grupo. Por lo tanto, es necesario identificar cuáles son las operaciones que los niños autistas pueden realizar con más facilidad para desarrollar directivas que guíen el desarrollo de software para este tipo de usuarios [69].

Las investigaciones previas habían abordado este problema. La referencia [12] propone un modelo de usuario autista y algunos casos de estudio con aplicaciones que describen su funcionamiento. Los autores presentan la experimentación inicial de un estudio para tratar de determinar un modelo de usuario y modelo de interacción para las interfaces adaptativas para las personas con TEA. La usabilidad de dos aplicaciones se evaluó midiendo la tasa de error y el éxito de una tarea para cada aplicación. Pero en estudios previos, los autores no consideraron las operaciones o el tiempo que los usuarios necesitan para completar un caso de uso. Solo evaluaron la usabilidad de las interfaces y los diferentes patrones de diseño que son fáciles de usar para los usuarios con TEA.

Además, Al-Wakeel et al. [70] presentó la evaluación de usabilidad de dos aplicaciones para niños autistas. Analizaron la efectividad en la realización de cada tarea en función de cuatro características: capacidad de aprendizaje, tiempo en la tarea, tiempo de finalización y número de errores por tarea. Los operadores involucrados en este estudio fueron K o T ; sin embargo, el estudio no se basó en ningún modelo, por lo tanto, no mencionó explícitamente a los operadores.

Del mismo modo, Khan et al. [71] presentó otro estudio de usabilidad para dos aplicaciones de teléfonos inteligentes para usuarios autistas basado en capacidad de aprendizaje, usabilidad y errores. El análisis de ambas aplicaciones evaluó el operador *K* o *T*. Como estudios previos, no mencionaron explícitamente los operadores ni ningún modelo para evaluar las aplicaciones. Los autores no evaluaron el tiempo de ejecución de cada tarea.

Capítulo 3

Modelo de interacción entre dispositivos móviles para usuarios con autismo

En este capítulo describe el modelo de interacción entre dispositivos móviles para usuarios típicos, en el cual se define el conjunto de habilidades cognitivas, perceptuales y motoras de usuarios típicos. Por otro lado, se define un conjunto de habilidades cognitivas, perceptuales y motoras para usuarios con TEA. También se propone la relación operador de usabilidad y habilidad humanas, además de definir el modelo de nivel táctil para usuarios con TEA (ATLM).

3 Modelo de interacción entre dispositivos móviles para usuarios con autismo

Antes de la publicación de *The Psychology of Human Computer Interaction* en 1983 [2], había poca investigación sobre modelos que evalúen la interacción del usuario y poco uso de la psicología en programas informáticos.

Card, Moran y Newell [2] fusionaron los campos de la ciencia de la computación y la psicología cognitiva y aplicada para utilizar el Modelo Procesador Humano [2] como un marco teórico y sentar las bases para un modelo predictivo de interacción del usuario con esto definieron una estructura cognitiva de un usuario cuando este interactúa con una computadora, definiendo un modelo que consta de objetivos, operadores y métodos para lograr una tarea. Desarrollaron esta idea en un método práctico para analizar una interfaz de usuario y predecir el desempeño de tareas calificadas.

En capítulos anteriores se mencionaron las habilidades humanas que son necesarias para resolver tareas de la vida cotidiana y las habilidades que tienen los usuarios con TEA para poder resolver tareas de la vida diaria.

Así también se mencionó que para mejorar la experiencia del usuario hay que mejorar la usabilidad de las aplicaciones para dispositivos electrónicos como computadoras, Tablet y teléfonos inteligentes. Es por eso, que se han propuesto diferentes métodos para evaluar la usabilidad de dichas aplicaciones desde empíricos, automáticos, heurísticos y de modelado cognitivo; por ejemplo, modelo procesador humano, modelo GOMS [18], KLM [22], TLM [19] y FLM [14]. Dichos modelos se han adaptado al cambio continuo de la tecnología, y se han probado con diferentes tipos de usuarios. Sin embargo, no se han evaluado de forma profunda para personas con alguna discapacidad motriz o intelectual. Por tal motivo, este trabajo propone un modelo de interacción para dispositivos móviles para usuarios con TEA, el cual considera las capacidades del usuario con TEA y los operadores de usabilidad que se necesitan para interactuar con dispositivos móviles.

El diseño del modelo se llevó a cabo siguiendo la siguiente metodología: a) diseñar el modelo de capacidades cognitivas, perceptuales y motoras; b) definir las capacidades cognitivas, perceptuales y motoras de los niños con TEA; c) determinar los operadores de interacción para dispositivos móviles; d) delimitar la relación de operadores de interacción con las habilidades humanas; e) definir la relación de operadores de interacción con las habilidades de los usuarios con TEA.

3.1 Modelo de habilidades Cognitivas, Perceptuales y Motoras en usuarios típicos

La primera parte del modelo conjunta las habilidades cognitivas, perceptuales y motoras que un usuario típico requiere para poder realizar tareas como: presionar, mover los dedos, coordinación, memorizar, elegir una tarea y ejecutarla. En el capítulo 2, en la sección 2.2.3 se muestran el conjunto de habilidades cognitivas como: atención, memoria, lenguaje, razonamiento y las funciones ejecutivas. Cada una de las categorías mencionadas anteriormente se subdividen en subcategorías que se detallan posteriormente. Las capacidades cognitivas son habilidades que tiene el cerebro para funcionar y trabajar con la información que se adquiere del ambiente [46], [72]. En la Figura 3.1 se muestra el

conjunto de habilidades cognitivas, motoras y perceptuales que tiene un ser humano para poder ejecutar diferentes tareas de la vida diaria.

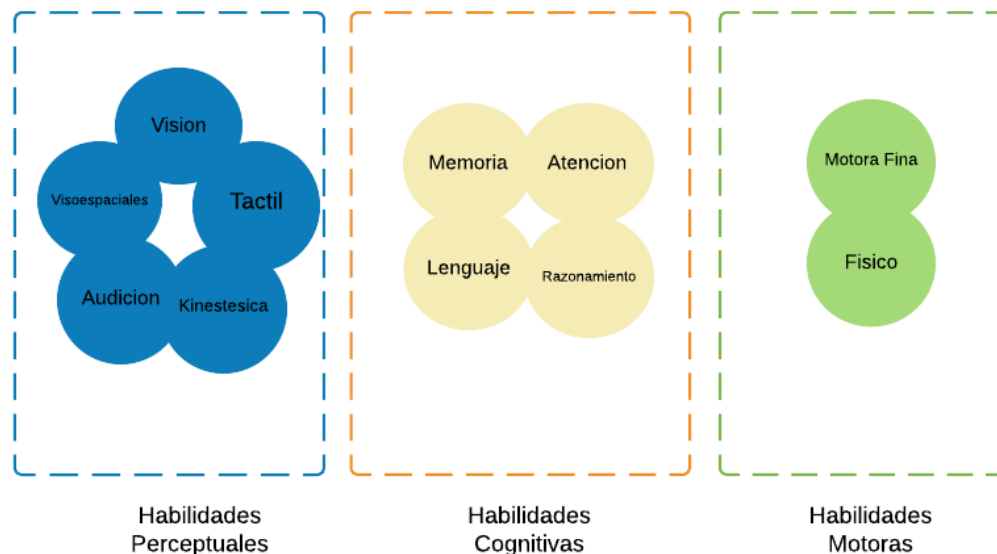


Figura 3.1: Habilidades perceptuales, cognitivas y motoras.

Una vez que se definieron los componentes de cada una de las capacidades cognitivas, motoras y perceptuales, es necesario definir el conjunto de habilidades con las que cuenta un usuario con TEA para poder [12], [18] interactuar con los operadores de usabilidad que se aplican a los dispositivos móviles [45].

3.2 Modelo de habilidades Cognitivas, Perceptuales y Motoras en niños con TEA.

El modelo propuesto conjunta las capacidades cognitivas, perceptuales y motoras que posee un usuario con TEA de alto funcionamiento. Además, el modelo propone no solamente valorar si el usuario posee la habilidad o no, sino asignar un nivel en el cual la posee. A continuación se enuncian los niveles propuestos:

Leve: este nivel se propone para representar el conjunto de habilidades que el usuario posee en un nivel bajo y por lo tanto requiere mayor apoyo y en ocasiones no es posible ejecutar la tarea.

Moderado: en este nivel los usuarios requieren apoyo para poder realizar las tareas que se les asignen, esto depende de sus habilidades motrices, perceptuales y cognitivas que estén en menor o mayor grado desarrolladas o aprendidas.

Alto: en este nivel el usuario posee las habilidades en un alto nivel y no requiere apoyo para ejecutar las tareas asignadas.

En la Tabla 3.1 se muestran las capacidades motoras de los niños con TEA. Según lo propuesto por [10], [11], [14], [21], los niños con TEA cuentan con poca habilidad motriz fina y motriz gruesa, esto hace que su nivel de rendimiento sea bajo, y se le dificulte realizar algunas tareas que impliquen el movimiento de las manos y los dedos.

Tabla 3.1 : Capacidades motoras en niños con TEA de alto funcionamiento.

Habilidad Motriz Fina	Nivel	Habilidad Motriz Gruesa	Nivel
Destreza manual.	Medio	Velocidad.	Bajo
Destreza del dedo.	Bajo	Balance.	Bajo
Seguimiento visual.	Medio	Coordinación.	Bajo
Calculo de distancias.	Medio	Fuerza física.	Bajo

La Tabla 3.2 muestra el conjunto de capacidades cognitivas de los niños con TEA. Como ya se mencionó en capítulos anteriores, los niños con TEA tienen una alta eficiencia en la memoria a corto plazo [40] y un bajo nivel en la atención [42], así como un retraso en el lenguaje, el razonamiento y las funciones ejecutivas [74], [75].

Tabla 3.2 : Capacidades cognitivas en niños con TEA.

Memoria en el TEA	Nivel	Atención en el TEA	Nivel
Memoria inmediata.	Alta	Ordenación.	Baja.
Memoria de trabajo.	Alta	Amplitud.	Baja.
MLP episódica.	Baja	Flexibilidad.	Baja.
MLP semántica.	Alta	Atención distribuida.	Baja.
Memoria procedimental.	Alta	Atención sostenida.	Baja.
Memoria prospectiva.	Media	Atención focal y selectiva	Baja.

Lenguaje en el TEA	Nivel	Razonamiento	Nivel
Fonología.	Baja.	Categorización.	Bajo.
Capacidad léxico-semántica.	Baja.	Abstracción de semejanzas.	Bajo.
Sintaxis.	Baja.	Relaciones analógicas.	Bajo.
Discurso.	Baja.	Razonamiento lógico.	Bajo.

Funciones ejecutivas en el TEA	Nivel
Organización.	Baja.
Planificación.	Baja.
Flexibilidad.	Baja.
Iniciativa.	Baja.

En la Tabla 3.3 se clasifican los diferentes grupos de capacidades perceptuales que se encuentran presentes en mayor y menor nivel en el TEA, como la capacidad memoria visual alta según [41], [76], la capacidad auditiva baja [40], la percepción táctil baja en el TEA [77] y las capacidades kinestésicas bajas.

Tabla 3.3 : Capacidades perceptuales en niños con TEA.

Visión en el TEA	Nivel	Viso espacial en el TEA	Nivel
Memoria Visual.	Alta.	Discriminación visual.	Alta.
Agudeza visual.	Media.	Orientación espacial.	Alta.
Seguimiento visual.	Alta.	Estructuración espacial.	Alta.

Audición en el TEA	Nivel	Kinestésica en el TEA	Nivel
Memoria auditiva.	Media.	Equilibrio.	Baja.
Agudeza auditiva.	Media.	Lateralidad.	Baja
Seguimiento auditivo.	Media.	Bilateralidad.	Baja.

Táctil en el TEA	Nivel
Percepción táctil.	Baja.
Discriminación táctil.	Baja.
Reconocimiento táctil.	Baja.

Después de definir cada uno de los modelos de habilidades cognitivas, motrices y perceptuales con las que cuenta un ser humano para llevar a cabo tareas de la vida cotidiana, nuestra propuesta es definir el conjunto de operadores que se aplican a dispositivos móviles teniendo en cuenta las habilidades que tiene desarrolladas el usuario con TEA. Para llevarlo a cabo es necesario diseñar la relación operador de interacción con habilidad humana requerida para realizar cada uno de estos operadores propuestos por la literatura, KLM, TLM y FLM, como se ha mencionado en capítulos anteriores.

3.3 Diseño relación operador y habilidad humana

Como se mencionó en el capítulo 2, existen diferentes variantes del modelo GOMS [21] tales como, KLM ,TLM y FLM. Cada uno de estos modelos manejan un conjunto de operadores que se pueden ser aplicados tanto a computadoras de escritorio como a dispositivos móviles y algunos como el TLM [19] y FLM [14] sugieren usar los que se adaptan a dispositivos móviles y proponen operadores nuevos que solo son aplicables a este tipo de tecnología . En primera instancia, se propone una clasificación del conjunto de operadores de los modelos KLM, TLM y FLM. La Figura 3.2 muestra la clasificación de operadores [61].

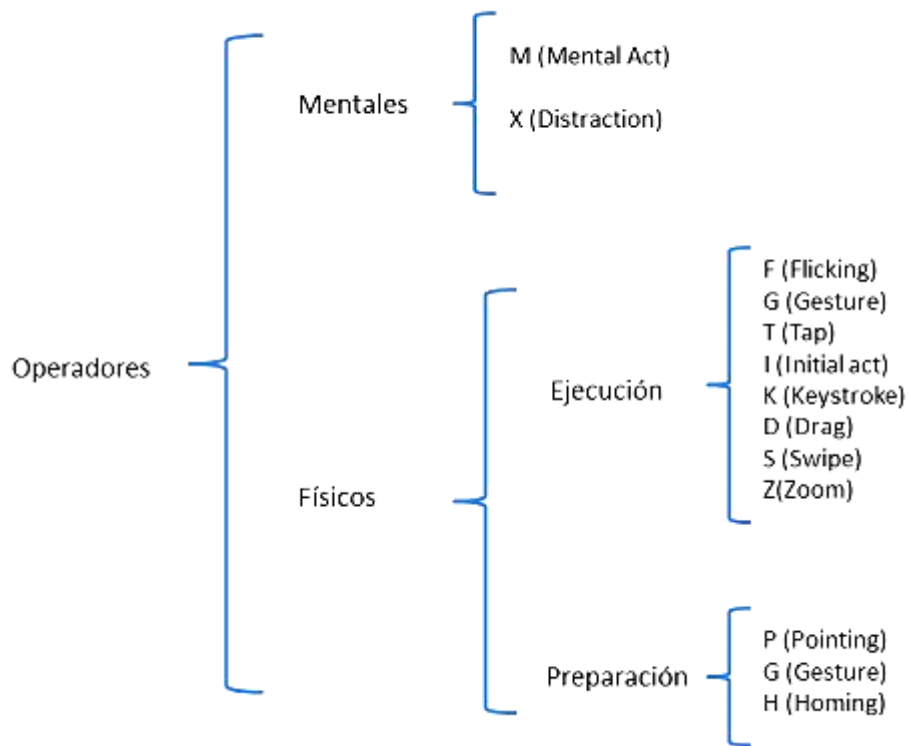


Figura 3.2: Clasificación de operadores .

- **Mentales:** es el conjunto de operadores que necesitan una preparación mental, así como el uso de habilidades cognitivas para poder ejecutarlos [61].

Los operadores que necesitan una preparación mental son M (Mental act) y X (Distraction), para los cuales se usan habilidades cognitivas para poder llevarlas a cabo.

- **Físicos:** es el conjunto de operadores en los cuales se requiere una habilidad física para poder ejecutarlos, estos a su vez se subdividen en: ejecución y preparación[61].
 - **Preparación:** es el conjunto de operadores en los cuales se necesita una previa preparación para poder ejecutarlos.

Los operadores que necesitan una preparación antes de poder ejecutarlos son P (Pointing), G (gesture) y H (Homing), estos operadores además de usar las habilidades físicas como las motrices gruesas, es necesario tener buenas habilidades

cognitivas, como la memoria y habilidades perceptuales como la visión y buenas habilidades táctiles.

- **Ejecución:** es el conjunto de operadores que solo es necesario ejecutar una acción física para poder ejecutarlos.

Los operadores de ejecución, tales como: F, G, T, I, K, D, S y Z, necesitan habilidades motrices finas y gruesas para realizar su ejecución, esto no indica que no es necesario recurrir a otras tipo de habilidades para poder llevarlas a cabo de forma rápida y correcta.

Las investigaciones previas sobre mejorar la usabilidad de las aplicaciones para dispositivos electrónicos, se han centrado en determinar el tiempo en que el usuario realiza una tarea, como el modelo GOMS que mide la usabilidad haciendo mediciones cuantitativas y cualitativas; así como sus variantes, tales como KLM, TLM y FLM, pero no consideran las capacidades o habilidades que se necesitan para llevar a cabo estas tareas.

La Figura 3.5 muestra el modelo de habilidades humanas y el conjunto de operadores de usabilidad. El modelo propuesto sugiere una relación entre un conjunto de operadores de interacción y las habilidades requeridas para ejecutar la operación.

Figura 3.3: Modelo de Operadores de usabilidad y habilidades humanas.

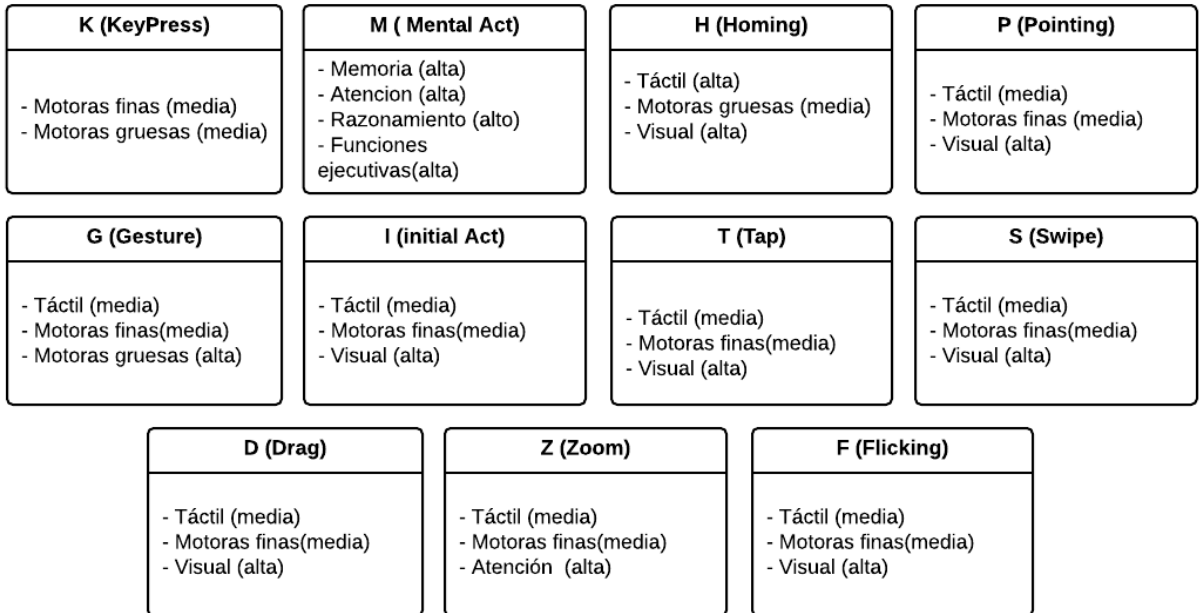


Figura 3.4: Modelo de Operadores de usabilidad y habilidades humanas.

Por ejemplo, para el operador K (KeyStroke) se necesitan habilidades motoras finas y gruesas en un nivel medio. Por otra parte, para el operador M (Mental Act) es necesario memoria alta, atención alta, razonamiento alto y funciones ejecutivas altas para ejecutar la operación satisfactoriamente.

3.4 Modelo de Nivel Táctil para usuarios con TEA (ATLM, por sus siglas en inglés)

El diseño de modelos de interacción para cuantificar las tareas como el modelo GOMS, ha evolucionado con el paso del tiempo, como el modelo KLM [64] que fue adaptado para cuantifica el tiempo en que un usuario ejecuta una tarea usando una computadora. Las nuevas adaptaciones del modelo KLM surgen con el incremento de la popularidad de los dispositivos de pantalla táctil, como tabletas y teléfonos inteligentes. El modelo KLM una de las primeras adaptaciones para dispositivos móviles en [66], cuantifica el tiempo en ejecutar la tarea usando un teléfono móvil. Con la creciente popularidad de los dispositivos móviles, el modelo KLMGOMS se ha revisado recientemente para estimar las interacciones móviles basadas en dispositivos de pantalla táctil [15], [67], [68]. Tal es el caso del modelo TLM [19], toma algunos operadores del KLM y los adaptan a nuevos dispositivos, al tiempo que propone algunos nuevos operadores. Finalmente una de las últimas adaptaciones para dispositivos móviles fue el modelo FLM, el cual toma algunos operadores del modelo KLM que se adaptan a dispositivos móviles y propone nuevos operadores.

El uso de la tecnología para niños con TEA se han incrementado en los últimos años [3]. Algunos estudios muestran que el uso de computadoras con personas con TEA en un ambiente educativo incremento la atención enfocada, las habilidades de atención, las habilidades motrices finas y las habilidades de generalización [4], [5]. El software para usuarios con TEA debe diseñarse cuidadosamente debido a las capacidades especiales de estos usuarios. Existe una diferencia cognitiva entre los usuarios típicos y con TEA que hace que la usabilidad disminuya considerablemente antes del segundo grupo. Por lo tanto, es necesario identificar cuáles son las operaciones que los niños autistas pueden realizar con

más facilidad para desarrollar directivas que guíen el desarrollo de software para este tipo de usuarios [69].

El modelo ATLM propone una relación entre los operadores de usabilidad y las habilidades que se necesitan para poder ejecutarlos, para determinar cuáles pueden ejecutar los usuarios con TEA sin ninguna complicación, cuales con mucha o poca dificultad y cuales no podrán ejecutarlos, debido a las habilidades que presentan.

La Tabla 3.4 muestra el operador M, las habilidades que se necesitan son de memoria y las habilidades de atención, razonamiento y funciones ejecutivas en un nivel alto, se puede observar que los usuarios con TEA poseen la habilidad de memoria en un nivel medio y el resto de las habilidades en un nivel bajo, por esta razón se predice que este operador tendrán dificultades para poder ejecutarlo en el tiempo que predice el modelo KLM.

Tabla 3.4: Operadores Mentales y habilidades necesarias para ejecutarse.

Operador	Habilidad	Nivel de habilidad requerida	Nivel autista de habilidad del autista
M	Memoria.	Alta.	Media.
	Atención.	Alta.	Baja
	Razonamiento.	Alta.	Baja
	Funciones ejecutivas	Alta.	Baja.

Tabla 3.5: Operadores Físicos de preparación y habilidades necesarias para ejecutarse.

Operador	Habilidad	Nivel de habilidad requerida	Nivel autista de habilidad del autista
H	Táctil.	Media.	Baja.
	Visual.	Alta.	Alta.
P	Táctil.	Media.	Baja.
	Visual.	Alta.	Alta.
	Motoras gruesas	Media.	Baja.
G	Táctil.	Media.	Baja.
	Motoras finas.	Alta.	Media.
	Motoras gruesas	Media.	Baja.

En la Tabla 3.5 se muestra el conjunto de operadores de preparación, para los operadores H, P y G los usuarios con TEA presentan una habilidad táctil baja, además de las habilidades motoras finas medias y en el caso de las habilidades visuales presentan un nivel alto.

Para los operadores físicos de ejecución, la Tabla 3.6 muestra las habilidades que se necesitan para ejecutar el operador K se necesitan habilidades motoras finas y gruesas media y los usuarios con TEA cuentan con habilidad motora fina media y motora baja, por tal razón se predice que este operador si podrá ser realizado por este tipo de usuarios. Para los operadores T, I, D, S y F se necesitan habilidades táctiles y motoras finas nivel medio y habilidades visuales altas, los usuarios con TEA cuentan con habilidades táctiles bajas, motoras finas medias y visuales altas, por tal razón estos operadores lo podrán ejecutar con poca dificultad. Para el operador Z se necesitan habilidades táctiles y motoras finas nivel medio y atención alta, los niños con esta discapacidad presentan habilidad táctil baja, motoras finas nivel medio y de atención baja, por esta razón este tipo de operador será difícil su ejecución para este tipo de usuarios.

Tabla 3.6: Operadores Físicos de ejecución y habilidades necesarias para ejecutarse.

Operador	Habilidad	Nivel de habilidad requerida	Nivel autista de habilidad del autista
K	Motoras finas.	Media.	Media.
	Motoras gruesas.	Media.	Baja.
T	Táctil.	Media.	Baja
	Motoras finas. Visual	Media Alta.	Media Alta.
I	Táctil.	Media.	Baja.
	Motoras finas. Visual	Media Alta.	Media. Alta.
D	Táctil.	Media	Baja.
	Motoras finas. Visual	Media. Alta.	Media. Alta.
S	Táctil.	Media.	Baja.
	Motoras finas. Visual	Media Alta.	Media. Alta.
F	Táctil.	Media	Baja.
	Motoras finas.	Media.	Media.

	Visual	Alta.	Alta.
Z	Táctil. Motoras finas. Atención.	Media Media Alta.	Baja. Media. Baja.

En la Tabla 3.7 se muestra el conjunto de operadores que si podrán ejecutar los usuarios con TEA y cuáles no. De acuerdo a lo que se muestra, podrán ejecutar el operador K, ya que para este tipo de operador se necesitan habilidades motoras finas (media) y motoras gruesa (media), y en el caso de los usuarios con TEA cuentan con habilidades motoras finas nivel medio. Para el operador M (Mental act) se necesita Memoria alta, atención alta, razonamiento alto y funciones ejecutivas altas, este operador será difícil de ejecutar por los usuarios con TEA ya que ellos cuentan con habilidades de Memoria media, atención, razonamiento y las funciones ejecutivas bajas. Los operadores G, T, I, D Y F, los usuarios con TEA podrán ejecutarle con menor complejidad ya que se necesitan habilidades táctiles media, motoras gruesas media, motoras finas alta y visuales altas, en el caso de los usuarios con TEA cuentan con habilidades táctiles bajas, motoras finas y gruesas medias y visuales altas. El operador S (Swipe) se evalúa de izquierda a derecha y de derecha a izquierda, de arriba-abajo y abajo-arriba, para este operador, para este operador de izquierda a derecha se necesitan habilidades motoras finas media, táctil media y visuales altas, el usuario con TEA cuenta con motoras finas medias, táctil baja y visuales altas, por esa razón este operador si podrá ser realizado por el usuario con TEA con un poco de complejidad; en el caso de la interacción de S arriba y S abajo, se necesitan habilidades altas y por esta razón será difícil la ejecución para el usuario con TEA. Los operadores H (Homing) y P (Pointing), no se evalúan ya que no son aplicables para dispositivos móviles.

Para poder comprobar cuáles operadores de los que se proponen en el modelo ATLM propuesto son aplicables para dispositivos móviles y cuáles son los que los usuarios con TEA pueden realizar con mayor facilidad, con poca facilidad y cuales no pueden ejecutar, se llevará a cabo una serie de experimentaciones con diferentes aplicaciones y dispositivos táctiles, los cuales se explican en el siguiente capítulo.

Tabla 3.7: Operadores que podrán ejecutar.

Operador	Caso de éxito	
	Si	No
K	✓	
M		✓
G		✓
T	✓	
I	✓	
S izq.- der.	✓	
S arriba-abajo		✓
D	✓	
Z		✓
F	✓	

Capítulo 4

Experimentación

4.1 Planteamiento y Diseño de la Experimentación

Este experimento tiene como objetivo identificar del conjunto de operadores propuestos en el modelo ATLM del capítulo 3, cuales operaciones los usuarios con TEA pueden ejecutar con menos complejidad al usar aplicaciones móviles. Hacemos esto a través de un conjunto de métricas de estimación de tiempo para realizar operaciones en tecnología basada en interfaces táctiles. Los resultados de este trabajo pueden ayudar a los diseñadores de software a crear proyectos con mayores niveles de usabilidad, tomando en consideración las habilidades con que cuenta este tipo de usuarios para interactuar con la tecnología, especialmente para aplicaciones específicas de TEA.

4.2 Experimento 1

Este experimento se diseñó para identificar la diferencia en la interacción entre los niveles de TEA y las habilidades de cada grupo de usuarios. Se realizaron pruebas con niños con TEA entre las edades de 5 a 12 años, un grupo de 12 niños con TEA de nivel 1 y otro Grupo constituido por 9 niños con TEA de nivel 2 definido por el DSM-V [25], teniendo un total de 21 niños.

El objetivo de este experimento es identificar si existe una variación de los resultados dentro y entre los dos grupos con el fin de determinar que operaciones del modelo ATLM propuesto el niño puede realizar.

4.2.1 Objetivo del experimento

Determinar un conjunto de operadores de los propuestos en el modelo ATLM, los usuarios con TEA pueden realizar con mayor facilidad, mayor dificultad y que los que no pueden ejecutar.

4.2.2 Participantes

El experimento considero un grupo de 21 usuarios con diferentes capacidades cognitivas y diferentes niveles de TEA. El experimento tuvo lugar en la escuela de educación especial Eduke (Tijuana, Baja California, México), donde se eligieron en total 12 usuarios entre 5 y 11 años de edad y en la escuela de educación especial ACI (Tijuana, Baja California, México), donde se eligieron un total de 9 usuarios entre 5 y 13 años, con un diagnóstico de TEA Clásico Leve (Nivel 1) y TEA Clásico Moderado (Nivel 2).

Tabla 4.1: Caso de estudio YoDigo

Usuario	Edad	Diagnostico TEA		Tiene Tablet
		Nivel1	Nivel 2	
1	12	✓		✓
2	7	✓		✓
3	6	✓		✓
4	5	✓		✓
5	6	✓		✓
6	8	✓		✓
7	8	✓		✓
8	8	✓		✓
9	6	✓		✓
10	11	✓		✓
11	5	✓		X
12	7	✓		✓
13	10		✓	✓
14	9		✓	✓
15	7		✓	✓
16	6		✓	X
17	8		✓	✓
18	7		✓	✓
19	7		✓	X
20	6		✓	✓
21	5		✓	✓

Los usuarios con TEA que se seleccionaron para la realización del experimento ya contaban con un diagnóstico realizado por personal de cada institución así como por psicólogos especialistas en el área, algunas pruebas que aplicaron fue: CARS (Childhood Autism Rating Scale) [78], M-CHAT (Instrumento de detección temprana del TEA) [79]. Se eligió el Nivel 1 (N1) y el Nivel 2 (N2) para poder realizar la comparación entre ambos grupos ya que se obtuvieran los resultados. Cabe mencionar que se cuenta con una colaboración con dichas instituciones las cuales requieren el apoyo de diseño de aplicaciones móviles para poder dar una apoyar a las personas con este tipo de trastorno. La tabla 4.1 muestra las características del usuario.

4.2.3 Instrumentos

Para la realización de dicho experimento se usaron dos aplicaciones desarrolladas por el grupo de estudiantes pertenecientes a la carrera de Licenciatura en Sistemas de la Universidad Autónoma de Baja California. La primera aplicación fue YoDigo y la segunda fue Enmo las cuales se describen a continuación.

1) YoDigo

YoDigo es una aplicación de software AAC ("Comunicación Aumentativa y Alternativa") desarrollada en Android para ayudar a la comunicación de un usuario de lenguaje autista que usa el Sistema de Comunicación de Intercambio de Imágenes (PECS), YoDigo fue desarrollado por estudiantes como parte de un proyecto en un curso de pregrado. El usuario puede seleccionar iconos que representen deseos, alimentos, elementos específicos, etc. Después de seleccionar un conjunto de íconos, una oración (declaración) es formada y pronunciada (gramaticalmente correcta) por la aplicación.



Figura 4.1: YoDigo pantalla principal

2) Enmo

Enmo es una aplicación para apoyar al niño en la identificación de emociones, la cual también fue desarrollada por nuestros alumnos. Al entrar a la aplicación el usuario puede elegir con que personaje quiere jugar. El usuario selecciona una opción del menú que hace diferentes tipos de emociones como feliz, triste, etc., y de esta forma el usuario va asociando y aprendiendo sobre las emociones. También existe la opción de elegir su fruta o comida favorita y dependiendo de la que eligieron el personaje le indica si está feliz, triste o cualquiera de las emociones básicas.



Figura 4.2: Enmo pantalla principal

4.2.4 Casos de uso

La sesión de experimentación constó de un caso de uso para cada aplicación en el cual se le proporcionaba al usuario la instrucción de cómo realizar el caso de uso. El primer caso de uso consistía en formar un enunciado usando la aplicación YoDigo, siguiendo los operadores propuestos por GOMS, que se describieron en secciones anteriores, como se muestra en la Tabla 4.1. Esta tabla muestra el tiempo en segundos para cada operación.

La ejecución comienza cuando el usuario tuvo que ubicar las opciones y presionar cada opción como se indica en el caso de uso; esto llevó al usuario a formular una declaración para la cual primero debe ubicar la elección de los pronombres, seleccionarla y esperar la respuesta del sistema. Esto se repite para cada una de las acciones definidas en la Tabla 4.1, hasta que el usuario formule correctamente la declaración y presione el botón "escuchar instrucción", como se muestra en la Figura 4.3.

Tabla 4.2: Caso de estudio YoDigo

Caso de estudio: <i>Elaborar un enunciado.</i>		
Objetivo: <i>El objetivo es formar un enunciado</i>		
Acciones.	Operación	Tiempo (seg.)
Ubicar opción de Pronombres.	M	1.35
Presionar opción de Pronombres.	K	0.16-0.39
Ubicar opción de Deseos.	M	1.35
Mover los dedos a través de la pantalla.	G	0.80
Presionar opción de Deseos.	K	0.16-0.39
Esperar respuesta del sistema.	R	2.22-2.58
Ubicar opción comida y bebidas.	M	1.35
Mover los dedos a través de la pantalla.	G	0.80
Espera respuesta del sistema.	R	2.22-2.58
Elegir comida o bebida favorita.	M	1.35
Mover los dedos a través de la pantalla.	G	0.80
Esperar respuesta del sistema.	R	2.22-2.58
Elegir siguiente opción.	M	1.35
Esperar respuesta del sistema.	R	2.22-2.58
Mover los dedos a través de la pantalla.	G	0.80
Presionar botón Play.	K	0.16-0.39

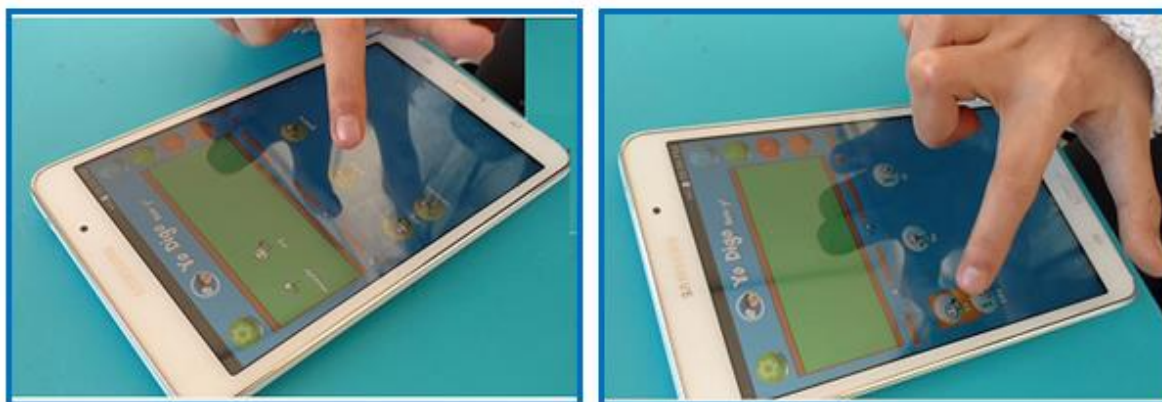


Figura 4.3: Ejecución de caso de uso YoDigo

El segundo caso de estudio fue para la aplicación Enmo, la cual se describió en una sección anterior, el cual el objetivo consistía en ubicar el personaje y la meta era elegir una actividad que debía realizar el personaje, como se muestra en la Tabla 4.3. Esta tabla muestra el tiempo en segundos para cada operación propuesta por GOMS.

Tabla 4.3: Caso de estudio apps Enmo

Caso de Uso: Elegir la emoción e identificar la emoción.		
Objetivo: El objetivo es elegir e identificar una emoción.		
Acciones	Métricas	Tiempo GOMS (seg.)
Ubicar personaje.	M	1.35
Presionar personaje elegido.	K	0.16–0.39
Esperar respuesta del sistema.	R	2.22–2.58
Ubicar opción de actividades.	M	1.35
Presionar opción de actividades.	K	0.16–0.39
Esperar respuesta del sistema.	R	2.22–2.58
Ubicar la opción de emociones.	M	1.35
Esperar respuesta del sistema.	R	2.22–2.58
Presionar opción de emociones.	K	0.16–0.39
Esperar respuesta del sistema.	R	2.22–2.58
Operador que modela la distracción del mundo real.	X	6%-21%

En este caso de uso, la ejecución comienza cuando se le pide al usuario que elija el personaje que el usuario quiera jugar, entonces el usuario tiene que elegir una opción de la lista de actividades que se muestran en el menú y realizan la emoción que dice la imagen al usuario a hacer, como se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4: Ejecución de caso de uso Enmo.

4.2.5 Metodología utilizada

Para el experimento, se utilizó un grupo de 21 niños con ASD nivel 1 y 2; el proceso de medir el tiempo de ejecución de las operaciones se realizó individualmente con cada uno de los participantes del grupo dentro de las instalaciones de su instituto o escuela antes mencionado. El personal de las instituciones donde se instruyó previamente sobre las funcionalidades de cada una de las aplicaciones, guiando a cada niño en cada uno de los casos de uso.

Para la aplicación 1, el caso de uso consiste en formar una oración al seleccionar imágenes, cuando termina la aplicación puede leer la oración formada. App2 consiste en seleccionar una actividad que el niño debe realizar y seguir los pasos en pantalla, tratando de identificar una emoción o actuar una emoción. Las interacciones con las aplicaciones se grabaron en video para registrar el tiempo empleado en cada caso de uso y para determinar el promedio de tiempo invertido en cada una hasta que finalice.

4.2.6 Resultados

En la tabla 5.1 y 5.2 se muestran los resultados obtenidos por cada usuario y operador, como M (Mental Act), K (Keystroke), G (Gesture) y X (Distraction). Los datos representan el tiempo de interacción en segundos. Lo anterior se obtuvo para la aplicación YoDigo y Enmo para cada nivel de TEA (N1 y N2). Para cada usuario, Mental Act (M) se muestra en segundos, que es el trabajo mental necesario para iniciar una acción, también Keystroke (K), que son las pulsaciones de tecla; Gesture (G) que son los gestos necesarios para la tarea; y Distraction (X), que son las distracciones del mundo real que ocurren alrededor del usuario al intentar hacer la tarea de las aplicaciones.

- a) *Grupo de TEA Nivel 1.* Los niños con nivel 1 (N1) realizaron el caso de uso de la aplicación YoDigo (elaborar un enunciado) en 31.9 segundos y 35.1 segundos para el

caso de uso de la Aplicación Enmo (Identificar una emoción), como se muestra en la Tabla 4.4.

Los resultados muestran que el tiempo máximo de uso de un N1 fue de 64.3 segundos y el mínimo de 23.3 segundos. Dos usuarios no completaron el caso de uso. Considerando las operaciones (M, K, G y X), la operación promedio M (mental act) se completó en 7.5 s, 2.7 s para K (Keystroke), 4.9 s G (Gesture) y 26.5 s X (Distracción).

Tabla 4.4: Resultado tarea GOMS para el nivel 1.

Usuario	YoDigo					Enmo				
	Tarea TLM-GOMS				Total	Tarea TLM-GOMS				Total
	M	K	G	X		M	K	G	X	
1	4.5	2	4	25	35.5	2	2.8	6	33	43.8
2	4.2	1.3	9.8	16	31.3	3	4.3	8	8	23.3
3	0	0	0	0	0.0	4.5	3.3	12	14	33.8
4	15.8	2	7.5	39	64.3	7.5	3.5	9	16	36.0
5	7.8	4	3.5	18	33.3	4	2	4	11	21.0
6	4.2	4	3.8	49	60.9	3	1.5	9	6	19.5
7	5.5	2.3	3.5	12	23.3	3.5	5	11	9	28.5
8	6.3	3.3	4	11	24.7	5	3.3	22	14	44.3
9	0	0	0	1	1.0	6	3.3	13	8	30.3
10	8.5	2	3	44	57.5	5	3.5	9	23	40.5
11	10.5	3.7	4.8	32	50.9	3	0.3	5	31	39.3
12	0	0	0	0	0.0	13	4.5	15	29	61.5
Promedio	7.5	2.7	4.9	26.5	31.9	5.0	3.1	10.3	16.8	35.1

Para la interacción de los usuarios de N1 con la aplicación Enmo, el usuario que se tomó más tiempo para completar la tarea lo hizo en 61.5 s (máximo) y el usuario más rápido en 19.5 s. En este caso, todos los usuarios completaron la tarea. En promedio para la operación, en 5 s se completó la operación M (mental act), 3.1 s para K (Keystroke), 10.3 s G (Gesture) y 16.8 s X (Distraction).

b) *Grupo de TEA Nivel 2*: los niños con nivel 2 (N2), en promedio, completan el caso de uso (elaborar un enunciado) en 65.5 s y 62.4 s para completar el caso de uso de la aplicación Enmo (Identificar una emoción) como se muestra en la Tabla 4.4.

Tabla 4.5: Resultado app YoDigo y Enmo usuarios nivel 2.

Usuario	YoDigo					Enmo				
	Tarea TLM-GOMS				Total	Tarea TLM-GOMS				Total
	M	K	G	X		M	K	G	X	
1	0	0	0	0	0	4	5	21	45	75.0
2	15.2	1.3	10.5	55	82.0	6.5	6.5	33	32	78.0
3	0	0	0	0	0	6.5	3.5	23	35	68.0
4	0	0	0	0	0	7	4.0	22	23	56.0
5	19	2.3	5.8	22	49.1	6	3.5	12	12	33.5
6	0	0	0	0	0	12	2.8	27	31	72.8
7	0	0	0	0	0	10	4.8	18	22	54.8
8	0	0	0	0	0	6.5	4.5	14	44	69.0
9	0	0	0	0	0	8	3	22	22	55.0
Promedio	17.1	1.8	8.1	38.5	65.5	7.4	4.2	21.3	29.6	62.4

Para aplicación YoDigo, el usuario que tomó más tiempo para completar el caso de uso lo hizo en 20.5 s y el usuario más rápido lo hizo en 12.3 s. Para aplicación YoDigo, solo dos usuarios completan el caso de uso. En promedio, las operaciones se realizaron en 17.1 s para M (Mental act), 1.8 s para K (Keystroke), 8.1 s G (Gesture) y 38.5 s X (Distraction). Los mismos usuarios (N2) realizan tareas de Enmo en un máximo de 19.5 s y el mínimo de 8.4 s. En promedio, 7.4 s para la operación M (Mental act), 4.2 s para K (pulsación de tecla), 21.3 s para G (gesto) y 29.6 s X (distracción).

4.2.7 Discusión de los resultados

En los resultados que se muestran en la Tabla 4.2, una variación de tiempo entre los usuarios de N1 durante el uso de la aplicación YoDigo puede ser visto fácilmente. Esta tabla también muestra que en la operación KLM-GOMS K (Keystroke) los usuarios necesitaban el menor tiempo de todas las operaciones, principalmente porque la operación no requiere

demasiado esfuerzo cognitivo, para la operación K, los usuarios solo necesitaban presionar un botón o elegir una opción en la pantalla.

La misma tarea que el usuario N1 fue realizada por usuarios N2 (resultados mostrados en la Tabla 4.3) y los resultados muestran un marcado contraste en el tiempo necesario, ya que los usuarios N2 necesitaron más tiempo para realizar la misma tarea, además, la mayoría de los usuarios N2 no pudieron completar la tarea asignada para la aplicación YoDigo. Además, es importante señalar que los usuarios de N2 se distrajeron con más frecuencia, adjudicamos esto al hecho de cómo se presentó la interfaz de usuario, y la tarea asignada requiere habilidades cognitivas y motoras finas ligeramente mayores que las de los usuarios de N2.

Para TLM-GOMS M (mental act), G (gesture) y X (distraction), los usuarios de N1 completaron la tarea en menos tiempo que los usuarios de N2. Sin embargo, al comparar los tiempos de los usuarios N1 y N2 con el modelo GOMS propuesto (que se muestra en la Tabla 4.2), todos los usuarios autistas de ambos grupos necesitaron más tiempo que el asignado en GOMS para cada operación. Para la operación K, GOMS propuso que los usuarios de 0.27 segundos y N1 necesitaran un promedio de 2.74 segundos, con una diferencia de 2.47 segundos para App1, en cuanto a la App2, obtuvimos una diferencia de 2.80 segundos. Para la operación G, los usuarios de N1 muestran 3.51 segundos para la aplicación YoDigo, y los usuarios de N2 muestran 8.90 segundos para la aplicación Enmo en comparación con el tiempo asignado en GOMS. Comparando el tiempo asignado en GOMS para la operación M, los resultados muestran un 6.68 s para usuarios N1 con App1 y 4.20 segundos para Enmo; para la misma operación, los usuarios de N2 muestran 16.2 segundos para YoDigo y 6.59 segundos para Enmo, estas diferencias se muestran en la Figura 4.5.

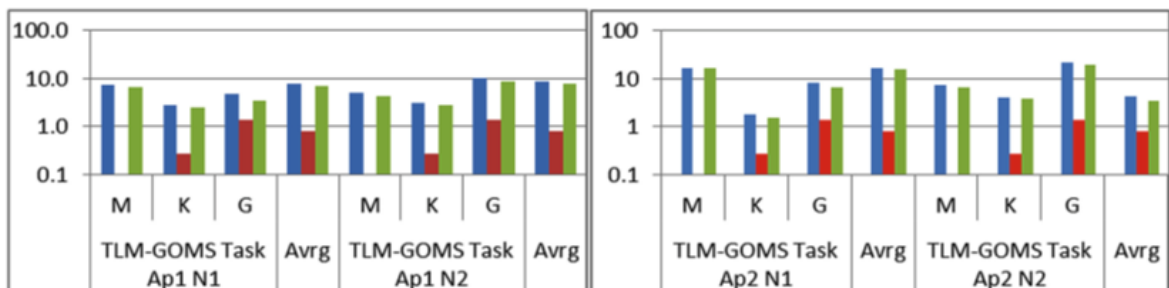


Figura 4.5: Resultados de tiempo para usuarios de nivel 1 (N 1) y nivel 2 (N2).

A partir de los resultados, podemos apreciar que los usuarios con TEA de nivel N1 pueden realizar operaciones K en el tiempo establecido en GOMS por [22], ya que la operación no requiere procesamiento cognitivo, la operación consiste en seleccionar y elegir de la pantalla una vez que los usuarios había decidido qué opción quiere seleccionar. Para las operaciones M, G y X, los usuarios N1 necesitaron más tiempo que el asignado en [22], ya que estas operaciones requieren un mayor procesamiento cognitivo para realizar y los usuarios en el espectro principalmente tienen memorización, retención, atención a pequeños detalles, concentración para muy largos períodos de tiempo, son aprendices visuales y pocas habilidades de lectura.

Los resultados muestran una gran variación de tiempo entre grupos, que exhibe la naturaleza del espectro de TEA, el modelo ATLM propuesto toma en cuenta las habilidades con las que cuenta el usuario con TEA, esto muestra que si una aplicación se diseñará para usuarios autistas, es importante considerar el tipo de operación con la que los usuarios pueden realizar mejor, con el fin de crear más interfaces utilizables para usuarios autistas, como se propone en el modelo ATLM.

4.3 Experimento 2

El objetivo de este experimento es identificar qué operadores pueden realizar los usuarios autistas y cuáles no. Se midió el tiempo de cada operador físico (K, G, D, S, M, T y I) mientras que los usuarios autistas interactuaban con las aplicaciones móviles táctiles.

Además, los usuarios de desarrollo típico para obtener valores de referencia realizaron las mismas operaciones.

4.3.1 Objetivo del experimento

El objetivo de este experimento es evaluar los operadores M, K, G, T, D y S utilizando dispositivos móviles; para determinar qué operadores de los propuestos en el modelo

ATLM, son fáciles y cuáles son difíciles de realizar por los usuarios autistas, además de usar un grupo de control de usuarios con desarrollo típico para obtener valores de referencia.

4.3.2 Participantes

El experimento se realizó con 21 usuarios autistas en dos escuelas de educación especial en Tijuana, Baja California, México. Es importante mencionar que un grupo de especialistas (psicólogos y educadores de un centro de educación especial) validaron la metodología empleada en este experimento, al considerar que no transgrede los aspectos éticos, de salud y morales y las condiciones de los niños involucrados. Los usuarios autistas fueron diagnosticados por psicólogos especializados, y cada niño se asoció a un nivel de TEA según DSM-V [25]. Los usuarios autistas tienen un rango de 5 a 11 años (promedio = 7, desviación estándar = 1.91). De los 21 participantes, 12 sujetos fueron diagnosticados como TEA nivel 1 y 9 sujetos con TEA nivel 2.

Tabla 4.6: Nivel de discapacidad del usuario autista.

Usuario	Edad	Diagnostico	Discapacidad					
			Motriz	Memoria	Lenguaje	Auditivo	Atención	Sensorial
1	12	TEA N1	Leve	Leve	Moderado	Moderado	Moderado	Alta
2	7	TEA N1	Leve	Leve	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
3	6	TEA N1	Leve	Leve	Alta	Moderado	Moderado	Moderado
4	5	TEA N1	Leve	Leve	Alta	Moderado	Moderado	Moderado
5	6	TEA N1	Leve	Leve	Alta	Moderado	Moderado	Moderado
6	8	TEA N1	Leve	Leve	Moderado	Leve	Moderado	Alta
7	8	TEA N1	Leve	Leve	Moderado	Leve	Moderado	Alta
8	8	TEA N1	Leve	Leve	Moderado	Leve	Moderado	Alta
9	6	TEA N1	Leve	Leve	Alta	Leve	Moderado	Moderado
10	11	TEA N1	Leve	Leve	Alta	Leve	Moderado	Alta
11	5	TEA N1	Leve	Leve	Alta	Moderado	Moderado	Alta
12	7	TEA N1	Leve	Leve	Alta	Moderado	Moderado	Moderado
13	10	TEA N2	Leve	Moderado	Alta	Moderado	Alta	Moderado
14	9	TEA N2	Leve	Moderado	Alta	Moderado	Alta	Alta
15	7	TEA N2	Leve	Moderado	Alta	Moderado	Alta	Alta
16	6	TEA N2	Leve	Moderado	Alta	Moderado	Alta	Alta
17	8	TEA N2	Leve	Moderado	Alta	Moderado	Alta	Moderado

18	7	TEA N2	Moderado	Moderado	Alta	Moderado	Alta	Alta
19	7	TEA N2	Moderado	Moderado	Alta	Moderado	Alta	Alta
20	6	TEA N2	Moderado	Moderado	Alta	Moderado	Alta	Alta
21	5	TEA N2	Moderado	Moderado	Alta	Moderado	Alta	Alta

De la población total con TEA (ambos niveles), el 28% tenía discapacidades motoras como habilidades motrices finas y capacidad de planificación motora, el 51% tenía problemas de atención y el 58% presentaba problemas de lenguaje como ecolalia, literalidad y repeticiones. Los especialistas en TEA proporcionaron el diagnóstico para cada participante. La tabla 4.6 muestra las discapacidades para el usuario autista.

El segundo grupo de participantes está compuesto por 28 usuarios de desarrollo típico de la escuela primaria Cuauhtémoc, la edad oscila entre 5 y 7 años (promedio = 6, desviación estándar = 0,64). Los usuarios fueron seleccionados al azar de la población escolar; esto nos permitió obtener valores de referencia y poder comparar usuarios autistas con usuarios de desarrollo típico. Todos los participantes eran voluntarios y tenían permiso de sus padres o tutores para realizar las pruebas.

Los usuarios de desarrollo típico de esta edad tienen la capacidad de identificar colores, formas y algunos pueden leer. Aunque los usuarios autistas son mayores, tienen habilidades similares a los usuarios del desarrollo típico. Los psicólogos proporcionaron el diagnóstico de las habilidades del usuario autista. Por esa razón, ambos grupos experimentales se crearon teniendo en cuenta las habilidades de los usuarios participantes.

4.3.3 Instrumentos

Para este estudio, se seleccionaron cuatro aplicaciones diseñadas para usuarios autistas.

1) YoDigo.

La primera aplicación es YoDigo, como se muestra en la Figura 4.6, es una aplicación desarrollada para apoyar el desarrollo del lenguaje en usuarios autistas, la cual se explica en la sección anterior. Esta aplicación tiene como objetivo apoyar en el desarrollo del lenguaje en los usuarios que presentan este tipo de discapacidad a través de una interfaz

táctil. En YoDigo, los usuarios pueden seleccionar íconos que representen deseos, alimentos, elementos específicos, etc.

Después de que un usuario selecciona un conjunto de iconos, una frase (enunciado) se forma y se pronuncia (gramaticalmente correcta) por la aplicación. El caso de uso fue asignado a los participantes del experimento durante la ejecución para formar un enunciado usando la aplicación YoDigo.



Figura 4.6: Pantalla principal app YoDigo.

2) Enmo.

La segunda aplicación fue ENMO, como se muestra en la Figura 4.7, es una aplicación que fue desarrollada para apoyar el aprendizaje de emociones en usuarios autistas, la cual se explicó en la sección del experimento 1. ENMO tiene un menú de las emociones básicas. El usuario selecciona una opción del menú de diferentes emociones como feliz, enojado, etc.

El caso de uso realizado consistió en elegir un personaje e identificar la emoción correspondiente.



Figura 4.7: Pantalla principal app Enmo

3) Ariadna.

La tercera aplicación utilizada es ARIADNA, como se muestra en la Figura 4.9, es una aplicación de iOS que enseña habilidades de socialización a través de juegos donde el usuario autista elige las actividades apropiadas que puede realizar con miembros distantes de su familia creando un “círculo de confianza”. El caso de uso para el experimento consistió en elegir un planeta y arrastrar dos imágenes, lo que significa actividades que se pueden realizar con individuos en dicho círculo.

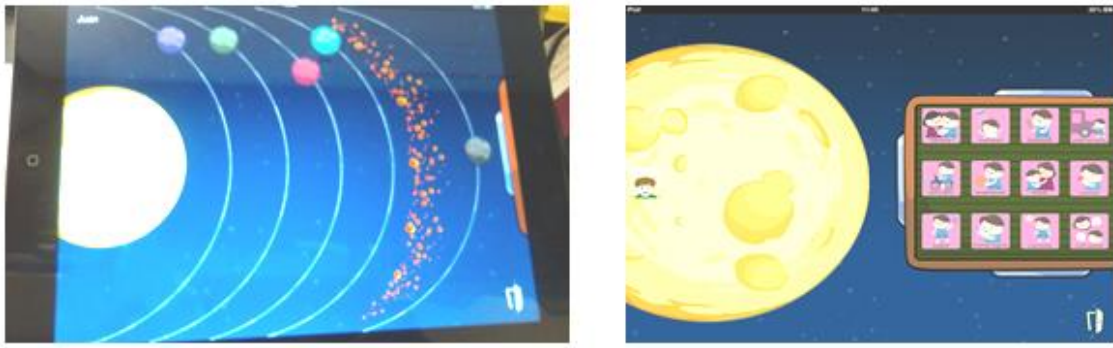


Figura 4.8: Pantalla principal app Ariadna.

4) Proyect@ Emociones.

Por último, utilizamos Proyect@ Emociones [80], como se muestra en la Figura 4.9, es una aplicación educativa desarrollada por la Universidad de Valparaíso, Chile, la cual fue diseñada para apoyar la identificación de emociones en niños autistas, que se ejecuta en dispositivos Android.



Figura 4.9: Pantalla principal Proyect@ Emociones.

Tres de las aplicaciones (YoDigo, Ariadna y Enmo) utilizadas en el experimento de este estudio fueron elegidas porque son parte de una investigación previa de nuestra institución [22]. En investigaciones previas se llevaron a cabo pruebas de usabilidad para el diseño de patrones para usuarios autistas.

El experimento se llevara a cabo utilizando dos dispositivos: un iPad de Apple con especificaciones que incluyen 9.7 pulgadas, resolución de 2048 × 1536 píxeles y sistema operativo iOS. El segundo dispositivo es una tablet Samsung Galaxy Tab. 2 con especificaciones que incluyen pantalla de resolución de 7 pulgadas y 1200 × 600 píxeles en el sistema operativo Android.

La Figura 4.10 muestra las características de cada aplicación, como el tamaño de la imagen, el color de fondo, etc.

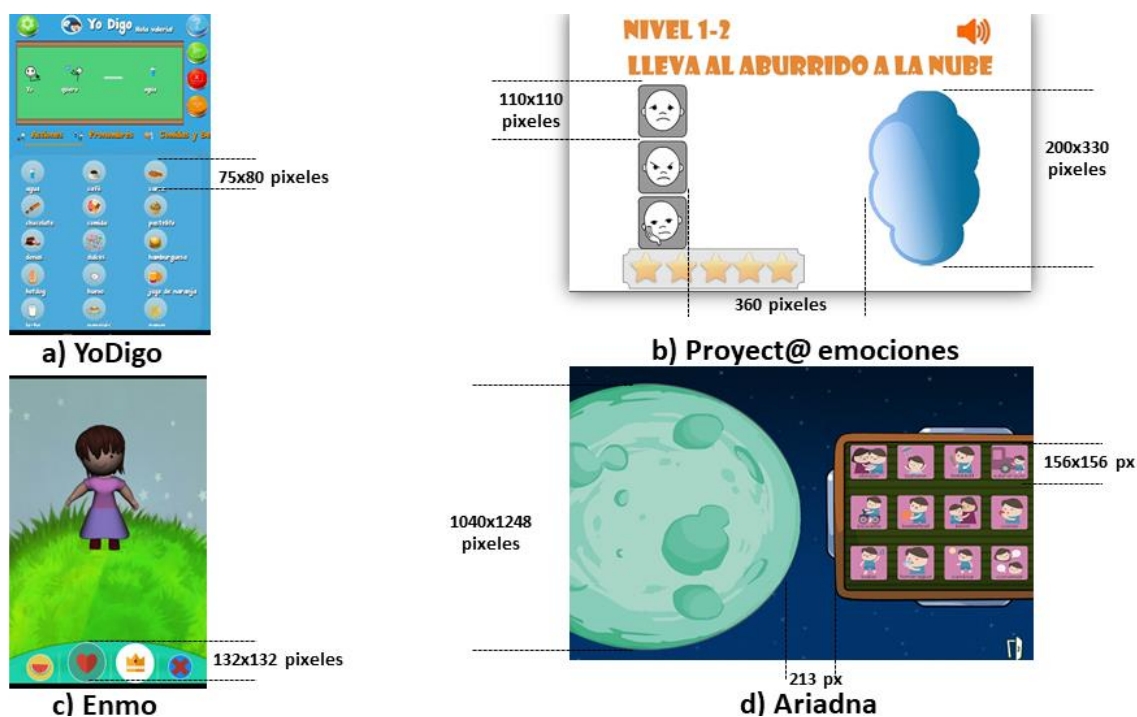


Figura 4.10: Características de cada aplicación.

4.3.4 Casos de uso

En la sección 4.2.4 de experimentación 1, se definieron dos casos de uso para las aplicaciones Yodigo y Enmo, los participantes ejecutaron un caso de uso para cada aplicación. El primer caso de uso fue "formar una oración usando YoDigo y siguiendo las operaciones y el tiempo propuestos en KLM-GOMS [22]. El segundo caso de uso se realizó usando ENMO, para" localizar al personaje "y elegir la emoción que el personaje debería tener. Ambos casos de usos se describen con más detalle en la sección de instrumentos del experimento 2. En la Figura 4.11 a) se muestra la interacción de la aplicación YoDigo y en b) se muestra la interacción de la aplicación Enmo.



a) Aplicación YoDigo.



b) Aplicación Enmo.

Figura 4.11: Ejecución de caso de uso.

El tercer caso de uso fue "seleccionar un planeta y arrastrar dos imágenes" en ARIADNA. La ejecución de este caso de uso comienza cuando se le solicita al usuario el nombre de usuario y la contraseña para ingresar al sistema (página de inicio de sesión), luego el usuario debe elegir un planeta y un conjunto de imágenes para elegir una imagen y arrastrarla al planeta elegido. El proceso se repitió dos veces para cada imagen. La Tabla 4.7 enumera los pasos que siguen los usuarios mientras realizan las tareas asignadas.

Tabla 4.7: Nivel de discapacidad del usuario autista.

Caso de uso: Elegir un planeta y arrastrar dos imágenes.	
Acciones.	Métricas.
Iniciar sesión.	I
Localizar el planeta.	M
Presionar el planeta seleccionado.	K
Esperar respuesta del sistema.	R
Localizar el cuadro de imágenes.	M
Mover los dedos a través de la pantalla	G

El cuarto caso de uso fue “elegir una imagen y arrástrala a una nube” usando Project@ Emociones. El objetivo era elegir la imagen que corresponde a una emoción determinada y arrastrar dicha imagen a una nube ubicada en el otro lado de la pantalla. La ejecución del caso de uso comienza cuando el usuario ingresa al sistema, elige un nivel de dificultad, luego el sistema le da instrucciones al usuario sobre cómo las imágenes deben ser arrastradas a la nube. Tabla 4.8 enumera los pasos seguidos por los usuarios mientras interactúan con Project@ Emociones.

Tabla 4.8: Nivel de discapacidad del usuario autista.

Caso de uso: Elegir una imagen y arrastrarla a la nube.	
Acciones.	Métricas.
Iniciar sesión.	I
Presionar el botón Jugar.	K
Elegir el nivel.	M
Presionar el nivel elegido.	K
Escuchar las instrucciones.	M
Elegir la imagen.	M
Presionar imagen elegida.	K
Arrastrar la imagen a la nube.	D
Escuchar la respuesta.	M
Elegir la siguiente imagen.	M
Presionar la imagen elegida.	K
Arrastrar la imagen a la nube.	D
Esperar respuesta del sistema.	R

Para medir el tiempo de interacción de los usuarios, se utilizara una cámara de video para registrar la interacción en video, y luego se utilizara el software ELAN 5.01 (herramienta de audio y video profesional) para medir el tiempo del video. Además, se utilizara el software estadístico SPSS para el análisis descriptivo de los datos, el análisis de la varianza y los gráficos utilizados en este experimento.

4.3.5 Metodología

Durante el experimento, los participantes fueron instruidos para mantener la tableta en la misma posición horizontal sobre la mesa, ya que las aplicaciones se ven mejor en esta orientación.

Los usuarios de desarrollo típico recibieron instrucciones sobre cómo usar cada una de las aplicaciones siguiendo los pasos descritos en la sección anterior. Para los participantes autistas, las instrucciones fueron dadas a su personal de apoyo (psicólogos) para que puedan ayudar a los sujetos en el uso de las aplicaciones. El personal de soporte fue responsable de llevar a cabo el experimento, que consistió en ayudar a los sujetos a hacer cada caso de uso explicado en secciones anteriores, el experimento se llevó a cabo donde cada sujeto asiste a la terapia; esto era para que los usuarios autistas se sintieran cómodos y no lo sacaran de su rutina diaria. Antes de realizar el experimento, los padres de los sujetos firmaron una carta de aprobación para la grabación de video de los sujetos, solo se registraron las manos, y solo mientras se usaba la tableta.

Los participantes usaron el dedo índice de su mano dominante para realizar la tarea asignada. Durante el experimento, se les pidió a los participantes que realizaran la tarea de cada caso de uso de la manera más precisa y rápida posible. Cuando los usuarios comenzaron a interactuar con las aplicaciones, se registraron para luego medir el tiempo. Todas las tareas se repitieron al menos 5 veces, y para la medición solo se usaron la segunda y la tercera interacción, ya que la primera se consideró para el entrenamiento y las

últimas ya los usuarios estaban familiarizados con la aplicación o estaban aburridos del mismo caso de uso.

4.3.6 Resultados

En esta sección, presentamos los tiempos que los usuarios necesitan para realizar cada operación evaluada para cada aplicación. A continuación, la Figura 4.12 muestra los resultados obtenidos de cada grupo de usuarios y operaciones, es decir, M (mental act), K (Keystroke) y G (gesture) usando YoDigo.

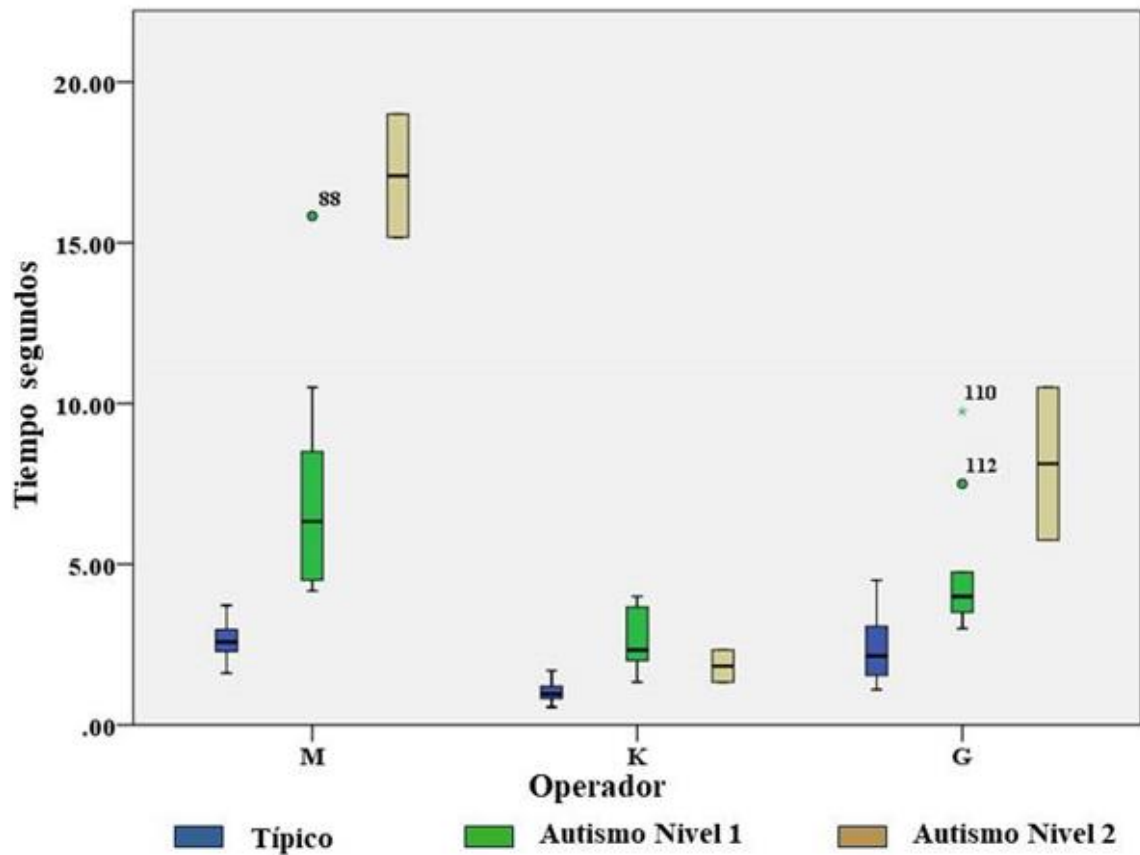


Figura 4.12: Resultados usuarios de desarrollo típico, autistas nivel 1 y nivel 2 para YoDigo.

Los resultados muestran que, para el operador M, los usuarios del desarrollo típico realizan esta operación 66% más rápido que los usuarios con nivel de TEA 1 (N1) y 85% más que AL2. Sin embargo, el usuario más rápido con N1 tomó casi el mismo tiempo que el usuario más lento del desarrollo típico.

Aunque los usuarios del desarrollo típico realizan un 63% más rápido con el operador K en comparación con los usuarios con TEA, los usuarios con TEA en ambos grupos no estaban lejos de la velocidad de los usuarios del desarrollo típico. Es importante tener en cuenta que los usuarios con TEA de nivel 2 fueron 33% más rápidos que los de nivel 1 en esta ocasión.

En el operador G, los usuarios del desarrollo típico fueron 76% más rápidos que el usuario con N1, seguidos por los usuarios con nivel de TEA 1 y nivel de TEA 2, respectivamente. Sin embargo, el promedio entre los tres grupos no era tan distante. Además, el usuario más lento del desarrollo típico tarda más que el tiempo promedio de los usuarios con TEA nivel 1. De la misma manera, el tiempo de funcionamiento del usuario más rápido con nivel de TEA 1 está dentro de la velocidad promedio de los usuarios del desarrollo típico.

Los resultados obtenidos para cada usuario y operaciones tales como M, K, G, Initial Act (I) y Tapping (T) usando ENMO se muestran en la Figura 4.12. Para el operador M, los usuarios de desarrollo típico realizan un 63% más rápido que el usuario con Los usuarios de nivel 1 y nivel 2 necesitaron un 74% más de tiempo para realizar la misma operación que el usuario del desarrollo típico. Sin embargo, entre nivel 1 y nivel 2 hay una diferencia de tiempo del 30% para esta operación.

Para el operador K, los usuarios de desarrollo típico fueron 64% más rápidos que el autista de nivel 1; y nivel 2 necesitaba un 72% más de tiempo que los usuarios del desarrollo típico. Para el operador G, los usuarios del desarrollo típico tomaron menos tiempo para esta operación; mientras que los usuarios de nivel 1 tomaron un 85% más que los usuarios del desarrollo típico y autista de nivel 2 tomó un 50% más que nivel 1. Para el

operador I, los usuarios del desarrollo típico realizan la operación un 53% más rápido que el usuario con TEA de nivel 1 y un 60% más rápido que el usuario autista de nivel 2.

Para esta operación, el usuario con TEA de nivel 1, realiza 13% más rápido que el usuario con TEA de nivel 2. Para el operador T, los usuarios de desarrollo típico realizan un 46% más rápido que el usuario con TEA de nivel 1 y un 56% más rápido que el usuario con TEA nivel 2. Para esta operación, el usuario con TEA nivel 1 realiza un 18% más rápido que el usuario con TEA nivel 2.

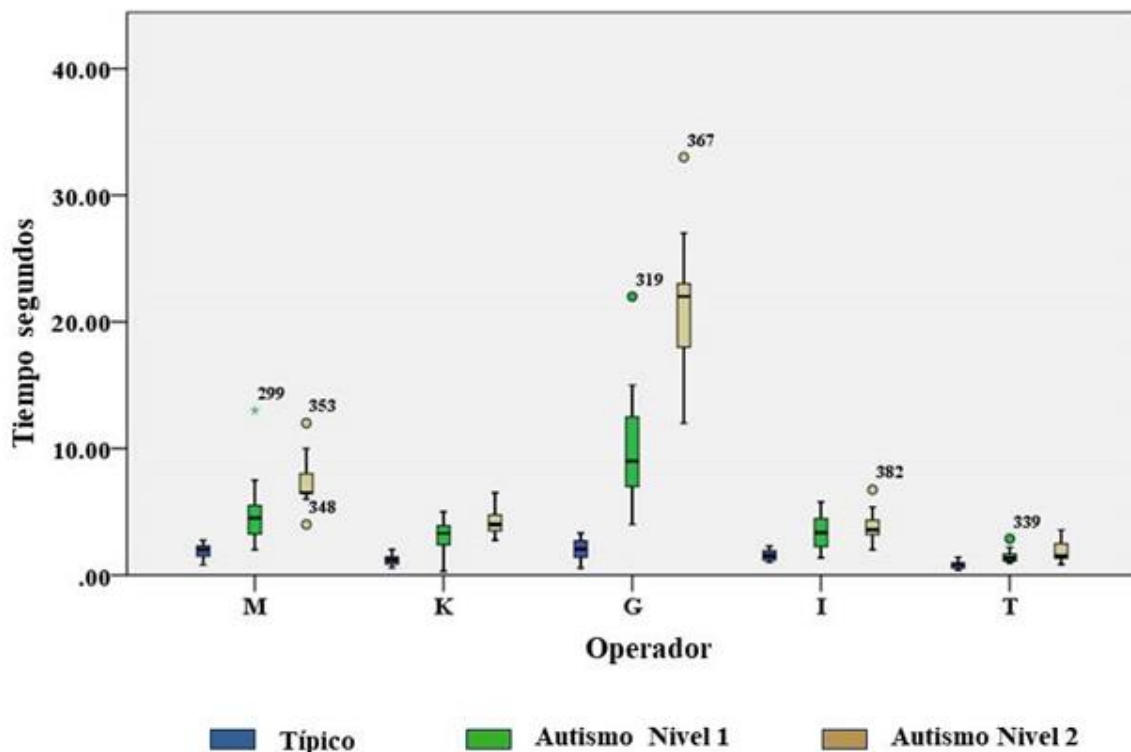


Figura 4.13: Resultados usuarios de desarrollo típico, autistas nivel 1 y nivel 2 para Enmo.

Los resultados obtenidos para cada usuario y las operaciones como M, K, G, D (arrastre) y S (deslizamiento) utilizando ARIADNA, que se describió en una sección anterior, se muestran en la Figura 4.13. Para el operador M, los usuarios de desarrollo típicos son los

que realizan esta tarea un 41% más rápido que el usuario con TEA nivel 1; mientras tanto, los usuarios de nivel 2 tuvieron un 29% más de tiempo que el usuario del desarrollo típico al completar la misma tarea. Para el operador K, se mostró una diferencia mínima de 5% de tiempo entre cada grupo de usuarios (TEA nivel 1, TEA nivel 2 y desarrollo típico). Para el operador G, los usuarios del desarrollo típico fueron 47% más rápidos para esta operación que el usuario con TEA nivel 1, mientras que los usuarios con TEA nivel 2 tomaron hasta 51% más que los usuarios del desarrollo típico. Para el operador D, los usuarios del desarrollo típico realizan un 44% más rápido para ejecutar la operación que el usuario con TEA nivel 1, mientras que los usuarios TEA nivel 2 duran un 59% más. Finalmente, para el operador S, los usuarios del desarrollo típico son 34% para realizar la operación que el usuario con TEA nivel 1, mientras que los usuarios TEA nivel duran 55% más que los usuarios de desarrollo típico.

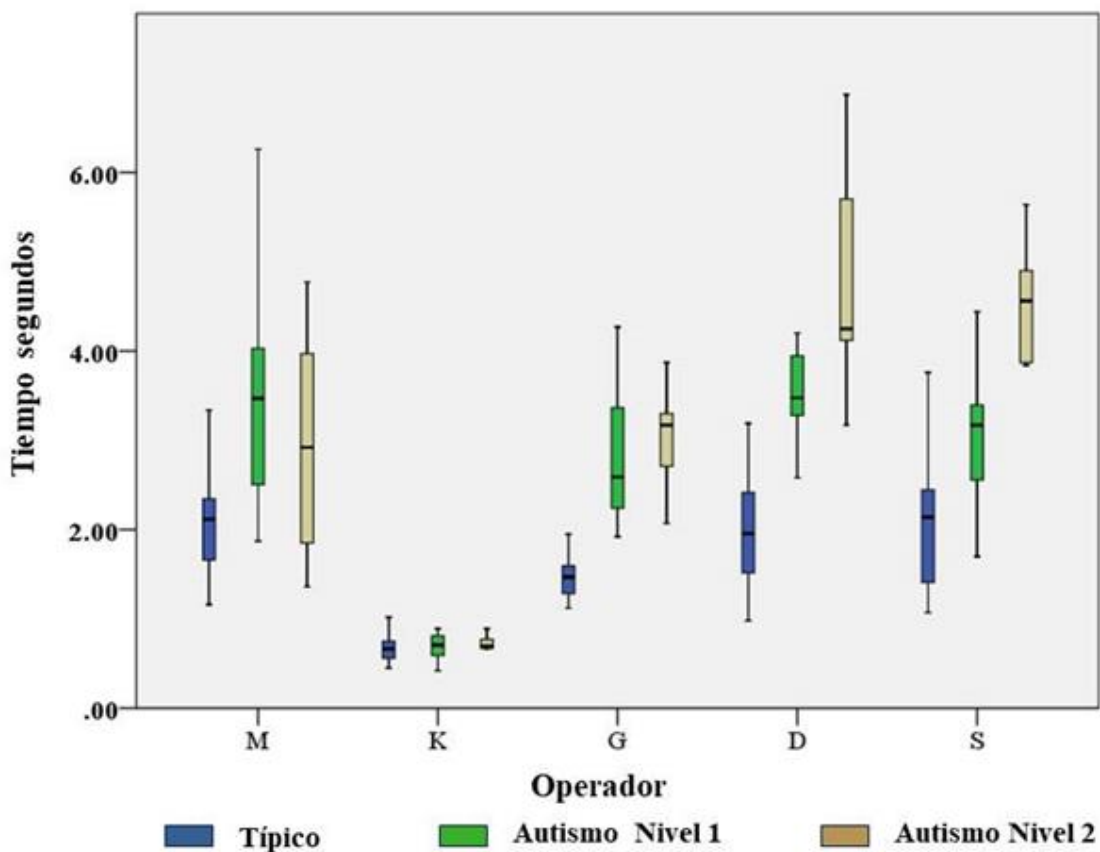


Figura 4.14: Resultados usuarios de desarrollo típico, autistas nivel 1 y nivel 2 para Ariadna.

A continuación, la Figura 4.14 representa los resultados obtenidos para las operaciones M, K y D, mientras que los usuarios de desarrollo típico y los niños autistas interactuaron con la aplicación Proyect@ Emociones como se describió anteriormente. Para el operador M, usuarios de desarrollo típico realizó la tarea un 37% más rápido que el usuario con TEA nivel 1, mientras que TEA nivel 2 necesitaba un 41% más que el usuario del desarrollo típico para la misma tarea. Para el operador K solo se encontró una ligera diferencia del 29% entre los tres grupos. En contraste, los resultados para el operador D, los usuarios del desarrollo típico completaron la tarea un 39% más rápido que TEA nivel 1, y TEA nivel 2 realizó al operador un 41% menos de tiempo que un usuario de desarrollo típico.

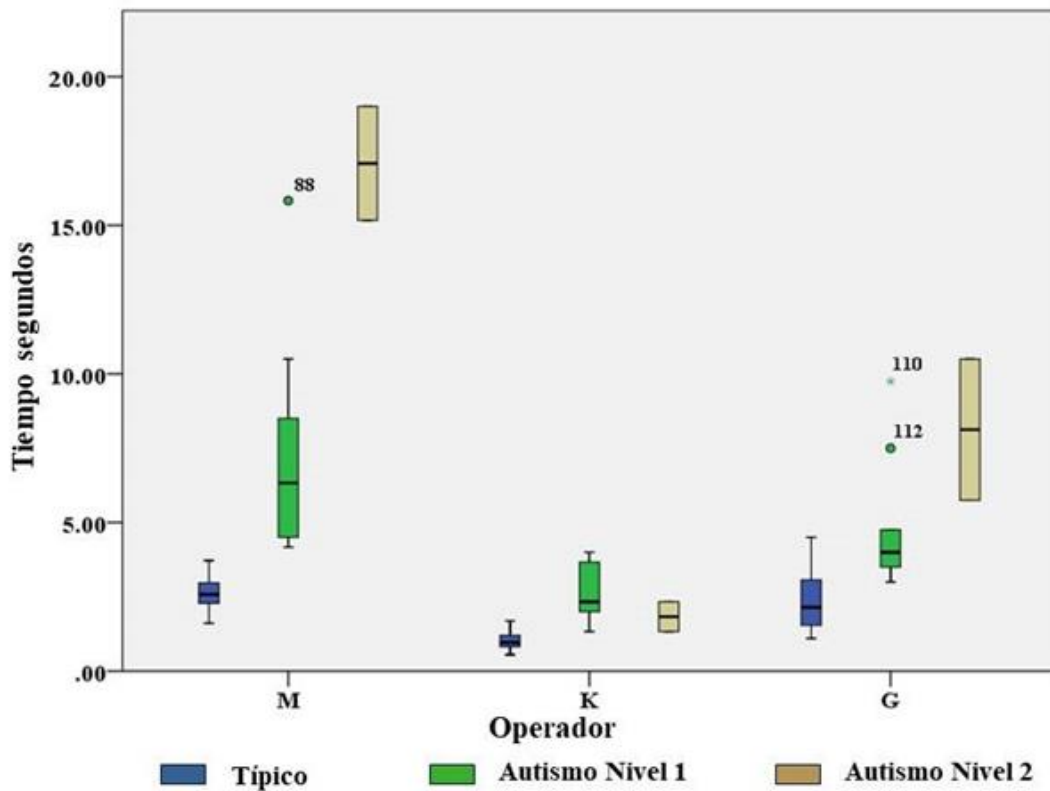


Figura 4.15: Resultados para usuarios de desarrollo típico, autistas nivel 1 y nivel 2 para Proyect@ Emociones.

Para garantizar que la diferencia entre los grupos sea estáticamente significativa, lo que se puede interpretar visualmente, se aplicó ANOVA de una vía.

Esta prueba confirmó que las diferencias entre los tres tratamientos comparados (usuarios de desarrollo típico, TEA nivel 1 y TEA nivel 2) fueron estadísticamente significativas ($F(2, 2748) = 89.87, p < 0.001$). Una prueba de Tukey reveló que las diferencias entre todos los pares de los tres tratamientos fueron estadísticamente significativas ($p < 0.001$). Por lo tanto, aceptamos la hipótesis alternativa; los valores de rendimiento de los modelos son diferentes para el conjunto de datos dado.

4.3.7 Discusión

Los resultados de la experimentación 2, muestran que el operador K es más fácil de realizar por los usuarios con TEA nivel 1 y nivel 2. Sin embargo, la velocidad de operación depende del diseño de la aplicación. Por ejemplo, en YoDigo y ENMO, la operación K tomó más tiempo que las otras dos aplicaciones. Estas dos aplicaciones tienen iconos redondos con un tamaño de 75×80 px (píxeles) y 132×132 px, los colores de los iconos no contrastan con el fondo de la aplicación.

Aunque los usuarios con TEA en ambos niveles pudieron realizar la operación K, el diseño presentó algunas complicaciones, como el tamaño y el color de las imágenes; esto les llevó tomar más tiempo para completar la tarea. El tamaño de las imágenes se consideró pequeño y causó dificultades para operar los botones que representan.

Como se muestra en las Figs. 4.16 y 4.17, ambas aplicaciones (YoDigo y ENMO) se ejecutan en un dispositivo de 7 pulgadas; tienen iconos redondos, pero el tamaño de los iconos en ENMO es más grande. En la Fig. 4.16a, se muestra que un usuario tuvo un primer intento para colocar el dedo un poco fuera del icono; es el mismo caso en el segundo intento (Fig. 4.16b). Hasta el tercer intento (Fig. 4.16c), el dedo está correctamente posicionado. Este hecho afecta directamente el tiempo para ejecutar el caso de uso. Por otro lado, los íconos redondos más grandes en ENMO facilitaron colocar el dedo sobre el

ícono. Luego, se observa que el tamaño del dispositivo de pantalla no necesariamente afecta la interacción de usabilidad, mientras que el tamaño pequeño de los íconos redondos realmente tuvo impacto en este experimento.



Figura 4.16: Interacción para la App YoDigo

Incluso los usuarios de desarrollo típico tardaron más en realizar la operación K en las aplicaciones YoDigo y ENMO, en comparación con ARIADNA y Proyect@ Emociones. Esto puede deberse al diseño de la aplicación, las pautas de diseño del sistema operativo Android recomiendan que los íconos tengan 144×144 píxeles para cualquier tipo de usuario y si el usuario tiene problemas motores debería ser mayor. De acuerdo con Gowen et al.[73], los usuarios con TEA tienen problemas motores finos, lo que dificulta la interacción con aplicaciones que integran imágenes o iconos pequeños. Además, el trabajo de [18] sugiere que deberían ser imágenes grandes y no más de 16 imágenes en la pantalla.



Figura 4.17: Interacción para la App Enmo.

Por otro lado, en ARIADNA, los usuarios realizaron la operación K en menos tiempo. El tiempo registrado para los usuarios con TEA (ambos grupos) en esta operación alcanzó casi el tiempo de operación de los usuarios del desarrollo típico. En esta aplicación, el diseño de las imágenes es claro, los iconos son cuadrados de 156 × 156 píxeles, y los colores de fondo son adecuados. Dado el diseño apropiado, la interacción fue más rápida en comparación con las otras aplicaciones. De la misma manera, los usuarios con TEA de ambos niveles pudieron realizar sin problemas los operadores I y T, que son derivados del operador K. El operador D fue evaluado para dos aplicaciones ARIADNA y Proyect@ Emociones (PE).

Para la aplicación PE, los usuarios con TEA dedicaron menos tiempo a ejecutar la tarea en comparación con ARIADNA. La velocidad de la Operación D puede depender de la distancia de arrastre, la habilidad motora fina del usuario y, hasta cierto punto, el tamaño del ícono. Como se mencionó anteriormente, los usuarios con TEA tienen una deficiencia en la capacidad motora [73], por lo tanto, es necesario definir un tamaño de arrastre que facilite la realización de esta operación para este tipo de usuarios.

El operador D se evaluó en [14] para diferentes tamaños de imagen (4 mm, 8 mm y 11 mm), así como también se evaluó la distancia de arrastre para diferentes tamaños 12 mm, 41 mm y 70 mm. Los resultados mostraron una diferencia significativa entre los diferentes tamaños de arrastre; sin embargo, esto se hizo para usuarios adultos expertos, es necesario realizar el mismo estudio para usuarios con TEA. Esto puede ayudar a definir el tamaño de ícono y la distancia de arrastre apropiados para la operación D para este tipo de usuario.

Ambas aplicaciones contienen iconos rectangulares con tamaño de acuerdo con los estándares de diseño de la interfaz de usuario (consulte las figuras 4.18 y 4.19). ARIADNA está en una pantalla de 9.7 pulgadas, mientras Proyect @ Emociones está en una pantalla de 7 pulgadas. Como se muestra en la secuencia de imágenes, para ambas aplicaciones, el usuario posicionó el dedo en el área accionable del ícono en primer intento. Esta parte del experimento mostró, una vez más, que el tamaño del dispositivo no afecta necesariamente a la interacción de usabilidad; más importante es el tamaño de los iconos y otros atributos,

como la cantidad de iconos y su distribución, como se muestra a continuación para los otros operadores.



Figura 4.18: Interacción para la App Ariadna

Por otro lado, los usuarios con TEA muestran dificultad para realizar la operación M (Ley Mental); esto se debe al déficit cognitivo que poseen las personas con TEA [81]. Para realizar esta operación, el usuario necesita un esfuerzo cognitivo, como leer, planificar, poseer flexibilidad mental y representar mentalmente tareas y objetivos. Todas las actividades son parte de las funciones ejecutivas [82]. El operador G es muy similar al operador M porque el usuario necesita decidir la siguiente actividad, en algunos casos esto se ve afectado por alguna distracción (X) dentro de la aplicación, como las presentadas por YoDigo. En esta aplicación, los usuarios tomaron más tiempo para ejecutar la tarea, esto puede deberse a imágenes pequeñas, iconos redondos y que el color de la imagen se pierde con el fondo; factores que pueden distraer u obstaculizar la operación M para este tipo de usuarios. Además, el diseño de la interfaz tiene botones que distraen al usuario. Para ARIADNA, el tiempo de ejecución de M fue más rápido que en otras aplicaciones, porque no tiene componentes gráficos que puedan distraer a los usuarios.



Figura 4.19: Interacción para la App Project@ Emociones.

En el caso del operador S (deslizamiento) solo se evaluaron dos aplicaciones. El operador fue probado en diferentes direcciones: derecha, izquierda, arriba y abajo. Las primeras dos direcciones (derecha e izquierda) se ejecutaron en ARIADNA. Para esta aplicación, los usuarios autistas podrían ejecutar el operador, ya que esto se ejecuta deslizando los dedos sobre la pantalla para buscar imágenes y no requiere una habilidad motora fina ya que no tienen que seleccionar o presionar un botón. De la misma manera, el operador S se testeó utilizando YoDigo, realizar estas operaciones era complicado para los usuarios autistas, en la medida en que la tarea era incompleta. Una de las razones puede ser que el dispositivo se usó en forma horizontal; en estas condiciones, era más fácil realizar el operador S de izquierda a derecha. Además, el operador S de izquierda a derecha es más común.

La Tabla 4.9 resume el tiempo de los siete operadores que se probaron en las cuatro aplicaciones en dispositivos móviles. Los tiempos propuestos por los modelos KLM y FLM, que se midieron para adultos expertos y nuestros resultados se midieron para usuarios de desarrollo típico y usuarios autistas con TEA de nivel 1 y 2. Para la operación K, se observa una diferencia mínima para los usuarios de desarrollo típico; lo cual comprueba lo propuesto en el modelo ATLM, en el cual se menciona que este operador lo podrán ejecutar sin complicaciones; en el caso de los usuarios con TEA de nivel 1 y 2, la diferencia es el doble de la propuesta por KLM y hasta tres veces más que la FLM. Para este operador, nuestros resultados con usuarios de desarrollo típico muestran que caen dentro del rango propuesto por KLM, pero no dentro del tiempo propuesto por FLM. Para los usuarios con TEA nivel 1 y nivel 2, los resultados muestran que tardó más tiempo para poder ejecutarlo.

Tabla 4.9. Tiempo de arrastre para TEA nivel 1.

Modelo	Usuario	M	K	G	D	S	I	T
KLM GOMS	Adultos	1.35	0.20-1.20	1.10	1.67	X	1.18-5.32	X

FLM	Adultos	1.35	0.31	0.43	0.22	0.11-0.12	0.4	0.31
Valores totales de todas las tareas	Típicos	1.7-2.8	0.6-1.2	1.1-2.8	1.5-2.5	1.4-2.7	1.2-2.0	0.5-1.1
	AN1	2.0-7.5	0.5-3.2	1.5-10.7	2.8-3.9	2.3-3.8	2.1-4.7	1.0-2.1
	AN2	1.7-9.6	0.4-3.6	2.1-21.5	3.0-5.4	3.9-5.1	2.6-5.2	1.0-2.7

En el caso del operador M, todos los usuarios necesitaron más tiempo del propuesto por ambos modelos, en este operador el modelo ATLM indica que será difícil su ejecución y los resultados lo comprueban; lo mismo con el operador G, la diferencia es mayor en comparación con los modelos KLM y FLM, ambos usuarios necesitaron más tiempo para ejecutarlo. Lo mismo ocurre con los operadores D y S, en los que existe una mayor diferencia en los usuarios con TEA de ambos niveles, por eso es necesario definir nuevos tiempos que se ajusten al nivel cognitivo y motor de este tipo de usuarios. Para el operador I, no hay diferencia ya que los tiempos generados por nuestros resultados están dentro de los propuestos por ambos modelos. Para este tipo de operadores como G, D, I y S, el modelo ATLM propone que lo podrán ejecutar con menor complejidad, los resultados muestran que si lo ejecutaron solo que requirieron más tiempo que el propuesto en la literatura.

Al analizar los valores de las tablas presentadas, podemos apreciar la necesidad de nuevas pautas para desarrollar aplicaciones para usuarios autistas. Además, los grupos muestran diferencias estadísticamente significativas a través de ANOVA, lo que implica que cada grupo (típico, AL1 y AL2) tiene necesidades especiales que cubrir, lo que comprueba que para poder desarrollar aplicaciones para este tipo de usuarios es necesario considerar nuevos tiempos y las habilidades propuestas en el modelo ATLM.

4.4 Experimento 3

Esta sección se describe el experimento realizado para medir la capacidad de los niños con TEA para ejecutar el operador D (arrastrar y soltar) en dispositivos táctiles, así como

para identificar la distancia óptima y el tamaño de imagen que se utilizará en esta operación en aplicaciones para este tipo de usuarios.

4.4.1 Objetivo del experimento

El objetivo de este experimento es evaluar el operador D con diferentes distancias de arrastre y tamaños de imagen basados en la propuesta presentada en [14], esto es para comprobar nuestro modelo ATLM, el cual indica que este operador podrán ejecutarlo sin complejidad debido a que solo se necesitan habilidades táctiles media, motoras finas medias y visuales altas, usando un prototipo de aplicación para definir la distancia de arrastre óptima y el tamaño de imagen que son más útiles para los usuarios con TEA

4.4.2 Participantes

El experimento se realizara con un total de 20 usuarios con TEA, en dos escuelas de educación especial en Tijuana, Baja California, México. Un grupo de psicólogos especializados en TEA valoraron la metodología empleada en este experimento.

Los usuarios con TEA fueron diagnosticados por psicólogos especializados, y cada usuario se asoció a un nivel de TEA según DSM-5 [25]. Los usuarios con TEA tienen un rango de 6 a 12 años (Media = 8, Desviación estándar = 1.52). De los 20 participantes, 9 sujetos fueron diagnosticados como TEA de nivel 1 y 11 sujetos con TEA de nivel 2.

4.4.3 Instrumentos

Para este estudio, se diseñó un prototipo de una aplicación para dispositivos móviles para la plataforma Android. Este prototipo refleja una interacción común utilizada ampliamente en tabletas y dispositivos móviles: arrastrar y soltar un elemento de pantalla.

El objetivo del prototipo es presentar a los usuarios diferentes escenarios de arrastrar y soltar, y recopilar automáticamente el tiempo necesario para llevar a cabo estas interacciones. Los escenarios presentados por la aplicación varían el tamaño del elemento que los usuarios deben arrastrar y varía la distancia a la que se debe arrastrar el elemento.

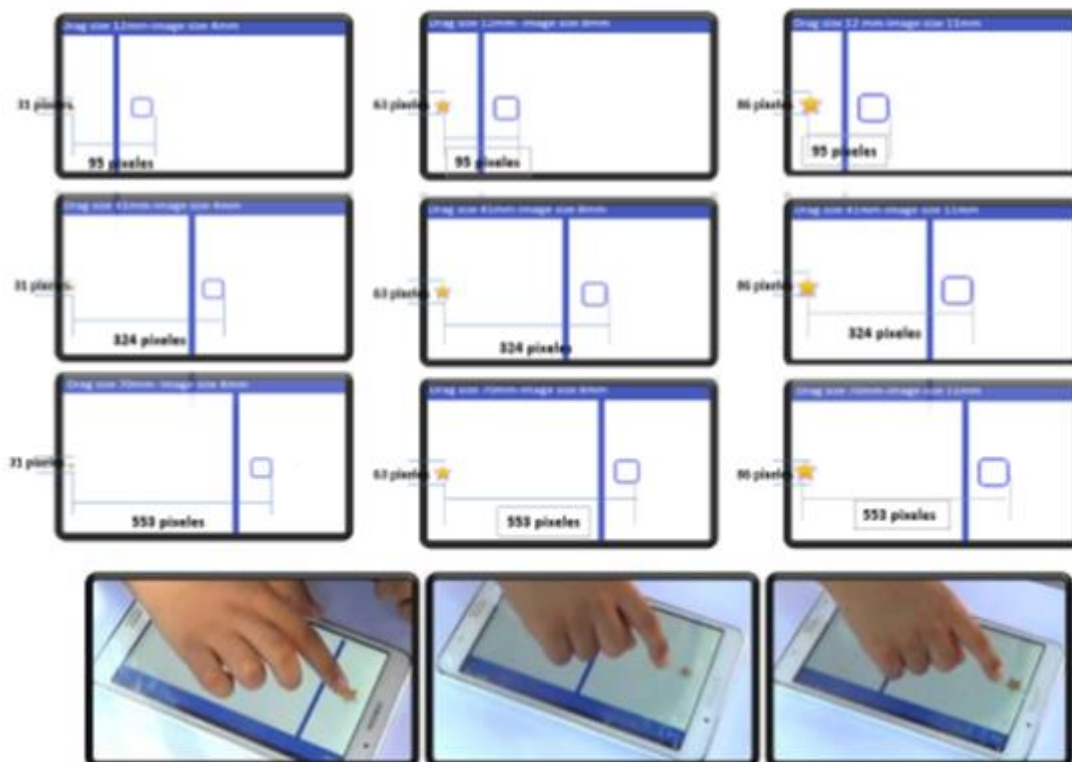


Figura 4.20: Características de la interfaz de la aplicación.

El tamaño de la imagen seleccionada y la distancia utilizada en este experimento se basan en [14] y en las pautas de diseño de la aplicación Android. Específicamente, los tamaños de imagen son 31, 63 y 86 píxeles, y las distancias de arrastre son 95, 324 y 553 píxeles. Los tamaños corresponden a un tamaño de pantalla de 1280 x 800 píxeles del Galaxy Tab 4, que fue el dispositivo utilizado para el experimento. La Figura 4.15 muestra las características de la aplicación del prototipo, como el tamaño de la imagen y la distancia de arrastre.

El prototipo desarrollado consistió en arrastrar el objetivo que es la imagen de una estrella naranja en tamaño de 21, 63 y 86 píxeles, la tarea del usuario era arrastrar la estrella y cruzar la línea azul, que delimita el tamaño de la distancia de arrastre de 95,324 y 553 píxeles. La tarea se completó cuando el usuario libero la imagen para realizar la siguiente tarea. Esta tarea se repitió dos veces por cada tamaño de imagen y distancia de arrastre

4.4.4 Metodología utilizada

El experimento fue realizado en las mismas instalaciones que el participante toma sus clases especiales. Se seleccionó un aula tranquila y libre de distracciones para que los participantes puedan interactuar con el prototipo sin perturbaciones externas. Al inicio de la experimentación el personal de apoyo (psicólogos) recibió instrucciones sobre el objetivo y el procedimiento del experimento, así como usar el prototipo. Todo el experimento fue supervisado por los psicólogos, el cual consistió en supervisar y ayudar a los participantes a realizar caso de uso asignado. Antes de iniciar con el experimento se requirió el consentimiento firmado de los padres de los niños, ya que el proceso se deberá grabar en video para su posterior revisión, en este caso solo se grabara las manos de los niños y la pantalla de la tableta.

Durante el experimento, los siguientes casos de uso fueron realizados por casa participante:

- 1) El usuario debe presionar sobre una imagen de una estrella de 31 píxeles y arrastrarla al objetivo que se encuentra a 95 píxeles de distancia de la posición inicial de la imagen de la estrella. Cuando la imagen de la estrella cruza la línea vertical que marca el área objetivo, se considera que el operador se realizó con éxito. Luego la tarea debe iniciar de nuevo, utilizando el mismo tamaño de la imagen pero una distancia de arrastre de 324 píxeles. Para finalizar la tarea debe

iniciar de nuevo, utilizando el mismo tamaño de imagen pero con una distancia de arrastre de 553 pixeles.

- 2) El usuario debe presionar una imagen de una estrella de 63 pixeles y arrastlarla al objetivo que se encuentra a 95 pixeles de distancia de la posición inicial de la imagen de estrella. Cuando la imagen de la estrella cruza la línea vertical que marca el objetivo, se considera que el operador se ejecutó con éxito. Luego la tarea debe iniciar de nuevo, usando el mismo tamaño de la imagen pero con una distancia de arrastre de 324 pixeles. Para finalizar la tarea inicia de nuevo, con el mismo tamaño de la imagen pero con una distancia de arrastre de 553 pixeles.
- 3) El usuario debe presionar sobre una imagen de una estrella de 86 pixeles y arrastlarla al objetivo que se encuentra a 95 pixeles de distancia de la posición inicial de la imagen de estrella. Cuando la imagen de estrella cruza la línea vertical que marca el área objetivo, se considera que el operador se ejecutó con éxito. Luego la tarea debe iniciar de nuevo, utilizando el mismo tamaño de imagen pero con una distancia de arrastre de 324 pixeles. La ejecución se debe realizar una tercera vez con el mismo tamaño de la imagen pero con una distancia de arrastre de 553 pixeles.

Los participantes usaron el dedo índice de su mano predominante para realizar la tarea asignada. Si el usuario suelta la imagen antes de llevarla al área de destino, la imagen permanecerá en la ubicación de inicio, y la cuenta de tiempo no se detendrá hasta que la imagen llegue a la ubicación de destino, como se muestra en la Figura 4.16



Figura 4.21: Interacción de la interfaz de la aplicación.

Al iniciar con las interacciones solo se consideran las dos últimas en el análisis de datos ya que las primeras se consideran como parte de la familiarización del usuario con la aplicación, estos datos obtenidos se presentaran en la sección de resultados como el promedio de ambas interacciones.

4.4.5 Resultados.

En esta sección, se presenta el tiempo requerido por el participante para realizar cada combinación de arrastre del tamaño de la imagen y la distancia de arrastre. Los resultados están agrupados por el nivel de TEA del participante.

a) Resultados de participantes con TEA nivel 1

Los resultados obtenidos muestran que el tiempo máximo que necesita este participante para interactuar con la imagen de 31 píxeles era de 4.8 segundos y el mínimo de 1.8 segundos cuando se arrastraba a través de 95 píxeles. Estos tiempos bajan cuando la imagen se agranda usando la misma distancia arrastrando. Los resultados completos se presentan en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Tiempo de arrastre para TEA nivel 1.

Usuario Distancia	Tamaño imagen 31 píxeles			Tamaño imagen 63 píxeles			Tamaño imagen 86 píxeles		
	95 px	324 px	553 px	95 px	324 px	553 px	95 px	324 px	553 px
1	1.8	1.1	1.9	1.1	2.1	1.4	1.2	1.3	2.0
2	1.9	2.8	2.7	3.3	1.0	2.2	2.3	1.3	1.1
3	2.1	3.1	3.1	3.1	2.1	1.1	2.5	3.1	1.2
4	2.8	3.1	3.0	2.5	2.1	1.1	2.8	2.2	2.1
5	2.4	1.1	2.8	1.8	1.4	1.3	0.8	2.3	1.4
6	4.1	2.3	3.2	3.3	2.4	2.1	1.1	2.1	1.1
7	1.9	1.6	2.2	2.2	2.0	1.8	1.4	1.4	1.8

	8	2.6	1.6	1.1	1.6	1.3	1.3	1.0	1.3	1.5
	9	2.4	2.0	1.7	1.1	2.8	1.6	1.2	1.5	1.7
Máximo		4.1	3.1	3.2	3.3	2.8	2.2	2.8	3.1	2.1
Mínimo		1.8	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	0.8	1.3	1.1
Mediana		2.4	2.1	2.4	2.2	1.9	1.5	1.6	1.8	1.5
Desviación estándar		0.7	0.7	0.7	0.8	0.5	0.4	0.7	0.6	0.4

b) Resultados de participantes con TEA nivel 2

Los resultados obtenidos de los usuarios con TEA de nivel 2 muestran un máximo de 6 segundos con una desviación estándar de 1.2 segundos para el tamaño de imagen más pequeño (31 píxeles). El tiempo medio más bajo para todas las combinaciones corresponde a la imagen más grande (86 píxeles) para la mayor distancia de arrastre (553 píxeles) con un valor de 1.2 segundos con un desviación estándar de 0.8. Usando los tiempos medios también es posible notar que el tiempo necesario disminuye en todas las distancias a medida que la imagen que el usuario debe arrastrar se hace más grande. Los resultados completos se presentan en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. Tiempo de arrastre para TEA nivel 2.

Usuario / Distancia	Tamaño imagen 31 píxeles			Tamaño imagen 63 píxeles			Tamaño imagen 86 píxeles		
	95 px	324 px	553 px	95 px	324 px	553 px	95 px	324 px	553 px
1	2.4	1.8	1.8	1.8	2.9	2.1	1.3	1.4	1.5
2	5.1	2.1	3.2	2.6	1.1	1.2	3.3	3.1	1.4
3	4.2	2.2	3.3	2.5	1.3	1.1	3.2	2.4	1.6
4	3.4	3.4	2.3	2.3	2.2	2.2	1.8	1.9	1.3
5	6.0	1.2	3.0	1.8	1.5	1.3	2.0	1.4	1.4
6	2.7	2.3	4.2	2.2	2.1	2.4	2.1	1.5	2.9
7	3.1	2.8	3.1	3.6	2.1	3.1	1.2	1.6	2.4
8	1.9	2.2	2.1	2.2	2.4	2.3	1.2	2.2	2.3
9	3.7	3.4	2.7	2.3	3.5	2.0	1.6	1.1	1.8
10	1.9	1.3	1.2	1.1	1.1	2.4	1.0	1.2	1.6
11	2.8	1.8	2.1	1.5	1.3	2.1	3.5	2.3	3.3
Máximo	6.0	3.4	4.2	3.6	3.5	3.1	3.5	3.1	3.3
Mínimo	1.9	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1	1.3

Mediana	3.4	2.2	2.6	2.2	2.0	2.0	2.0	1.8	2.0
Desviación estándar	1.2	0.7	0.8	0.6	0.7	0.6	0.9	0.6	0.6

4.4.6 Discusión

A partir de los resultados presentados en la Tabla 4.8, podemos observar una variación de tiempo entre cada participante, pero la variación es más notable en los usuarios con TEA de nivel 2, se puede identificar por una desviación estándar mayor.

En general, los usuarios del nivel 1 necesitaron menos tiempo para realizar la primera tarea (tamaño de imagen de 31 píxeles, en las tres distancias), que los usuarios con TEA de nivel 2, como se muestra en la Figura 4.22, esto se debe también a que sus habilidades táctiles son bajas, como lo muestra el modelo ATLM

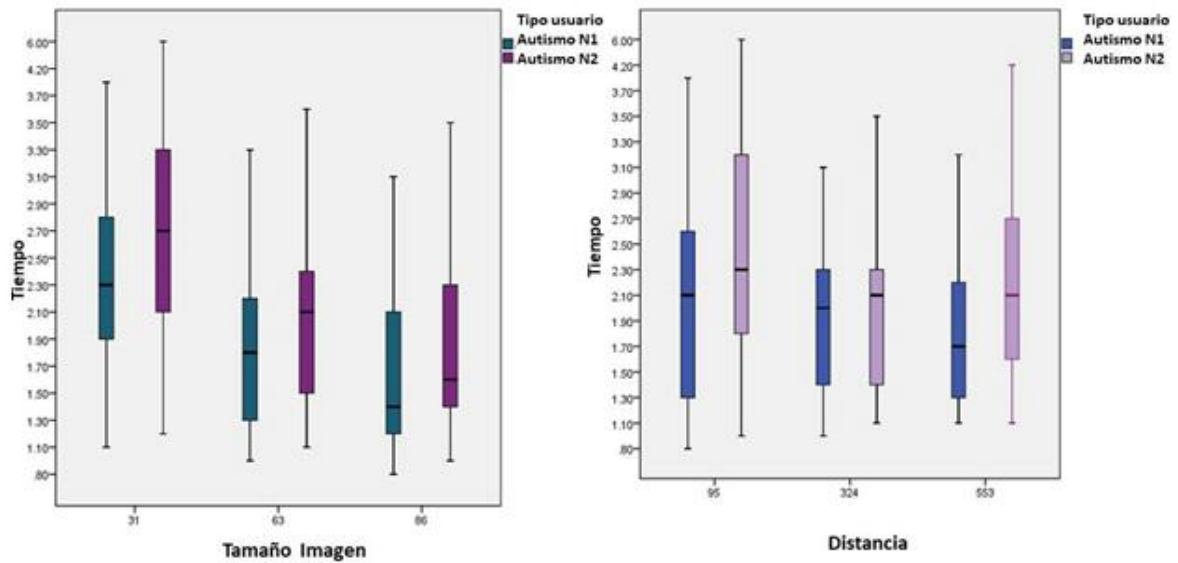


Figura 4.22: Tiempo de interacción para el usuario con TEA nivel 1 y nivel 2.

El mismo comportamiento está presente en la segunda tarea (imagen de 63 píxeles en las tres distancias), pero en este caso la variación es menor. Atribuimos esto a que el tamaño del icono de 63 píxeles es más fácil para el nivel de TEA 2 para encontrar y arrastrar en comparación con 31 píxeles. Esto también es compatible con las directrices de diseño

de Android ¹, que recomiendan un tamaño mínimo de 48 x 48 dp (píxeles independientes de la densidad) para cualquier elemento táctil que se convierta a la densidad de pantalla del dispositivo utilizado corresponde a una imagen de 55 x 55 píxeles. En el mismo caso iOS Design Guidelines², que recomienda un tamaño mínimo de 58x58 px (píxeles). El Windows Phone Guidelines³ recomienda un tamaño mínimo de 9 mm. En base a esto, argumentamos que incluso los usuarios con TEA de nivel 1 podrían interactuar con iconos más pequeños. El tamaño óptimo mínimo para cualquier elemento táctil debería ser de 55 píxeles (o 48 dp), según lo establecido por las directrices de Android y los resultados obtenidos apoyan que el mismo es cierto para usuarios con ASD. También argumentamos que, si es posible, deberían usarse elementos un poco más grandes para asegurar una interacción óptima de los usuarios con las mismas o menores habilidades motrices, ya que los resultados de la tercera tarea mostraron que el tiempo disminuye cuando aumenta el tamaño de la imagen.

A continuación, la Figura 4.23 muestra un conjunto de imágenes de usuarios que interactúan con el prototipo de la aplicación utilizando un tamaño de imagen de 31 y 63 píxeles, respectivamente, y teniendo que arrastrarlo a través de las diferentes distancias (93, 324 y 553 píxeles). La Figura 4.23 muestra la interacción por usuario que muestra que el dedo predominante era el índice, y cuanto más grande es la imagen, mejor es su interacción con él.

² <https://developer.apple.com/ios/human-interface-guidelines/icons-and-images/app-icon/>

³ <https://blogs.msdn.microsoft.com/africaapps/2014/03/08/uxui-guidelines-for-windows-phone-8/>

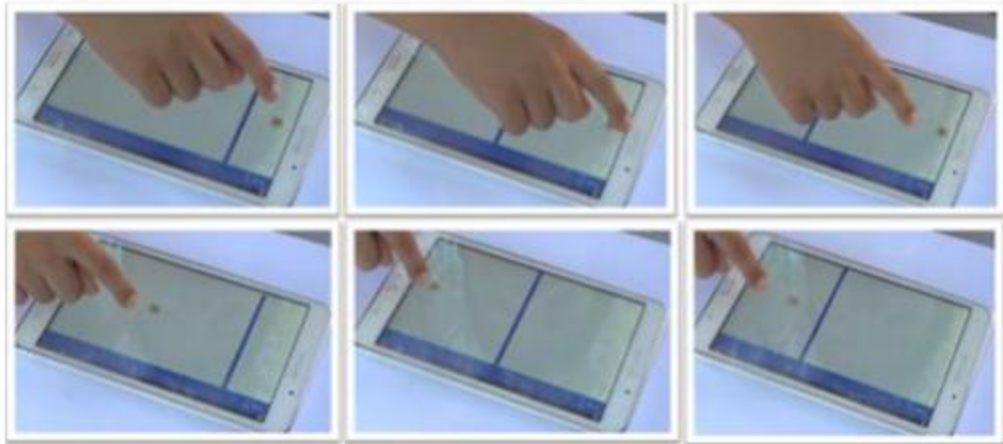


Figura 4.23: Interacción para el tamaño de la imagen 63 píxeles y arrastre (95, 324, 553 píxeles).

Capítulo 5

Discusión

5.1 Discusión

Este capítulo analiza el trabajo general que se ha llevado a cabo a lo largo de esta investigación. Los capítulos anteriores describieron los procedimientos y resultados de la experimentación con los usuarios. También resumieron y discutieron nuestros principales hallazgos.

Este capítulo ahora discutirá el trabajo presentado en este documento para discutir nuestros métodos de investigación, y los resultados obtenidos, abordando temas tales como: (1) participantes y tamaños de muestra y sus implicaciones, (2) posibles problemas relacionados con el aparato utilizado en las pruebas, y finalmente (3) estrategias de investigación y resultados.

5.1.1 Participantes y tamaño de la muestra

Los participantes en su mayoría fueron niños entre las edades de 5 a 12 años, con un diagnóstico de TEA proporcionados por los psicólogos de cada centro a los que nos brindaron la oportunidad de realizar el desarrollo de la experimentación. [“La clasificación de los niños por nivel de TEA fue realizada por especialistas de cada institución, diagnóstico que fue realizado en forma confidencial. Para realizar nuestros experimentos tomamos como base esta clasificación. En el momento de aplicar el experimento cada niño fue recibido apoyo por personal de la misma institución, al cual se le explicó el proceso. Durante la aplicación de la experimentación se respetó el espacio de cada participante así como sus actividades diarias a los que están acostumbrados. Se respetó la duración de la permanencia de cada participante.”]

Con respecto al tamaño de la muestra encontramos que en un futuro se podría aumentar el tamaño de la muestra con más participantes de otras instituciones. Aun así, dado el tamaño pequeño de la muestra, nuestros resultados no permiten la generalización estadística, pero proporcionan una valiosa información sobre la interacción en dispositivos móviles táctiles, así como la interacción es llevada a cabo por usuarios adultos con TEA. En este contexto, la idea proporcionada por nuestros resultados podría ser en el futuro la base para una investigación más profunda con una muestra más amplia de niños con TEA.

5.1.2 Aparatos utilizados.

Durante el primer experimento se usaron dos tabletas con diferentes dimensiones: un iPad de Apple con especificaciones que incluyen 9.7 pulgadas, resolución de 2048 × 1536 píxeles y sistema operativo iOS. El segundo dispositivo es una Tablet Samsung Galaxy Tab 2 con especificaciones que incluyen pantalla de resolución de 7 pulgadas y 1200 × 600 píxeles en el sistema operativo Android. Debido a la diferencia de tamaños se pudo dar un mejor resultado usando el dispositivo de mayor tamaño, aunque una de las aplicaciones que mejores resultado se obtuvo fue la Tablet de 7 pulgadas, y esto se debió a la interfaz de la aplicación, ya que contaba con el tamaño de las imágenes adecuadas para que este tipo de usuarios pudieran interactuar con ella. Debido a esto se efectuó un segundo experimento usando una Tablet Samsung Galaxy Tab 4 con pantalla de 7 pulgadas, usando diferentes aplicaciones y evaluando diferentes operadores de usabilidad que se aplican a dispositivos móviles de los modelos. Los resultados fueron similares porque no influyó el tamaño del dispositivo ya que dos de las aplicaciones fueron diseñadas especialmente para usuarios con TEA.

5.1.3 Estrategias de investigación y resultados.

De acuerdo al modelo propuesto en el capítulo 3 y a los resultados de las experimentaciones realizadas. El modelo fue propuesto considerando las habilidades humanas requeridas para poder ejecutar una tarea tomando en cuenta los operadores de

usabilidad propuestos por los modelos KLM [22], TLM [19] y FLM [14]. En el modelo se clasifican las habilidades con las que cuenta un usuario con TEA de alto funcionamiento para poder ejecutar los operadores de usabilidad que se aplican a dispositivos móviles, tales como K, M, G, T, I, S, D, Z y F. Nuestro modelo ATLM propone que los operadores de usabilidad que los usuarios con TEA podrán ejecutar sin ninguna dificultad son K, T, I, S y F, ya que para estos operadores se requieren las habilidades de motricidad fina media, Táctil media y Visual alta, y los usuarios con TEA cuentan con motricidad media, visual alta y táctil baja, lo que presenta una diferencia muy poco significativa respecto a un usuario de desarrollo típico. En cuanto a los operadores M, nuestra propuesta menciona que no se podrá ejecutar debido a las habilidades que se necesitan, como memoria, atención, razonamiento y funciones ejecutivas altas. Los usuarios con TEA cuentan con memoria nivel medio, atención, razonamiento y funciones ejecutivas bajas. El experimento demostró que los usuarios requirieron mucho más tiempo para completar la tarea que el propuesto por los modelos existentes, y algunos usuarios no pudieron completar la tarea. En el caso del operador S, se dividen en S arriba, abajo, izquierda y derecha, para este se requieren habilidades táctiles y motrices finas nivel medio y visuales altas, como se indica en el modelo propuesto. Los usuarios con TEA cuentan con habilidades táctiles bajas, motrices finas medias y visuales altas. Para este operador S arriba y S abajo los usuarios no lo pudieron ejecutar, lo contrario sucedió con S izquierda y derecha, esto se debió a la experiencia que tiene el usuario con el uso de las tabletas. Lo mismo se dio en el operador F ya que es muy similar al operador S, el usuario con TEA logró ejecutar el operador F sin mucha complicación algunas veces requirió de más tiempo.

Tabla 5.1. Operadores que podrán ejecutar, cuales no y cuales medio.

Operador	Caso de éxito		
	Si	No	Medio
K	✓		
M			✓
G			✓
T	✓		
I	✓		
S izq.- der.	✓		
S arriba-abajo		✓	

D			✓
Z		✓	
F	✓		

Para poder evaluar la distancia de arrastre se realizó un tercer experimento como ya se mencionó en el capítulo 4, en este experimento se evaluó el operador D (Drag), el cual fue uno de los operadores que nuestra propuesta muestra que los usuarios con TEA no podrán ejecutar. En este experimento se evaluó la distancia de arrastre en tres diferentes distancias (95, 324 y 553 píxeles) y para tres tamaños de imágenes (31, 63 y 86 píxeles) propuestas en el modelo FLM. El resultado muestra que los usuarios con TEA pudieron ejecutar mejor la tarea con una imagen 63 píxeles, que es lo que recomiendan las directrices Android y una distancia de arrastre de 324 píxeles. En base a esto, argumentamos que incluso los usuarios con TEA de nivel 1 podrían interactuar con iconos más pequeños, el tamaño óptimo mínimo para cualquier elemento táctil debería ser de 55 píxeles (o 48 dp) según lo establecido por las directrices de Android, y los resultados obtenidos apoyan que el mismo es cierto para usuarios con ASD.

Capítulo 6

Conclusiones

6.1 Conclusiones

En esta sección se exponen las conclusiones de los resultados de las experimentaciones de este trabajo de tesis.

El objetivo general de esta investigación fue diseñar un modelo donde se relacionen las capacidades físicas y cognitivas de usuarios con TEA y los operadores de usabilidad propuestos por la literatura para mejorar la usabilidad de las aplicaciones móviles para usuarios con TEA. La primera parte de la propuesta fue establecer el conjunto de operadores para la interacción humano computadora basada en la literatura y que se apliquen a dispositivos móviles. Ya que se definió ese conjunto de operadores y las habilidades humanas que se necesitan para poder ejecutarlos. Se diseñó la experimentación para evaluar el tiempo requerido para que un usuario con TEA nivel 1 y nivel 2 realice las operaciones para completar una tarea. Se utilizaron cuatro aplicaciones diseñadas para ayudar al usuario con TEA a desarrollar habilidades de comunicación y reconocimiento de emociones; estas aplicaciones ya habían sido evaluadas para su usabilidad y en este experimento se evaluó el tiempo requerido por el nivel de TEA para llevar a cabo las operaciones propuestas por el modelo ATLM.

Para los usuarios de TEA de nivel 1, las operaciones que pueden ejecutar sin complicaciones son K, I y T, lo que requiere poco esfuerzo cognitivo para ejecutarlas. Los operadores M y G fueron los más complicados para ambos niveles, ya que requiere un mayor esfuerzo cognitivo para llevarlos a cabo. Los operadores D y S (izquierda y derecha) fueron ejecutados por ambos usuarios de nivel de TEA, sin embargo, el tiempo fue dos veces más que el propuesto por los modelos KLM [22] y FLM [14], el moldeo ATLM propone que estos operadores lo podrán ejecutar, pero el resultado muestra que requirieron más tiempo que lo establecido por los otros modelos. El operador que los usuarios autistas no

podieron ejecutar fue el S (arriba y abajo); esto se debió al diseño de la interfaz con la que se probaron estos operadores, y con esto se comprueba lo propuesto en el modelo ATLM.

Además se presentó un diseño experimental para evaluar el tiempo y la capacidad de los usuarios con TEA (nivel 1 y nivel 2) para realizar operaciones de arrastrar y soltar utilizando diferentes tamaños de elemento y tener que arrastrarlo a diferentes distancias. El objetivo del experimento fue evaluar el operador D propuesto por el modelo ATLM, en el cual se propone que este operador podrá ser ejecutado sin dificultad, debido que se requieren pocas habilidades táctiles, motoras finas y visuales altas y los usuarios con TEA cuentan con dichas habilidades en menor o mayor cantidad, pero se necesita definir el tamaño de la imagen y la distancia con las cuales los usuarios con TEA podrán interactuar con menos dificultad.

Los resultados obtenidos respaldan el comportamiento esperado, que los usuarios con TEA de nivel 1 requieren menos tiempo que los usuarios de nivel 2 de TEA. Esto se debe a la mejor habilidad motora de los usuarios de nivel 1 en comparación con el nivel 2. Los resultados también muestran que a medida que aumenta el tamaño del elemento objetivo, es más fácil para los usuarios interactuar con él, especialmente para los usuarios de nivel 2.

A partir de este experimento, concluimos que el tamaño mínimo de 55 píxeles se debe utilizar para cualquier elemento destinado a ser tocado por usuarios con habilidades motoras limitadas (como usuarios de nivel 1 y nivel 2 con TEA). Este experimento también es compatible con las directrices de diseño de Android sobre los tamaños de los elementos, y luego sugerimos que se usen tamaños ligeramente mayores cuando sea posible.

El modelo ATLM propone que los usuarios con TEA podrán realizar sin ninguna complicación los operadores K, T, I, S, D y F, después de ejecutar el caso de estudio se resume que los operadores que ejecutan sin complicación son K, T, I y F y los operadores S y D lo ejecutan pero necesitan más tiempo que el propuesto por GOMS. Además se propone que M y G no lo podan ejecutar, después de ejecutar el caso de estudio los resultados muestran que para algunos usuarios con TEA nivel 2 no pudieron hacer el caso

de uso, contrario paso con los de nivel 1 que algunos si lograron ejecutar el caso de uso pero necesito más del doble del tiempo propuesto por el modelo KLM.

Con el fin de lograr un mejor aprendizaje y un mejor uso de las aplicaciones desarrolladas para apoyar a los usuarios autistas, se deben considerar nuevos tiempos para realizar operaciones de interacción para la realización de tareas usando aplicaciones móviles.

Capítulo 7

Aportaciones y trabajo futuro

7.1 Aportaciones

La investigación realizada en el contexto de esta tesis da como resultado una serie de contribuciones. Estos incluyen los hallazgos encontrados durante la experimentación para validar el modelo propuesto. En esta sección se describen las aportaciones de este trabajo de tesis, describiendo las características de cada uno de los principales objetivos manejados: (1) Conjunto de operadores dispositivos móviles, (2) Modelo de habilidades físicas y cognitivas para usuarios y operadores de usabilidad, (3) Modelo ATLM.

7.1.1 Conjunto de operadores dispositivos móviles

El analizar los modelos existentes KLM, TLM y FLM y sus variantes permitió establecer un conjunto de operadores para la interacción humano computador que se pueden aplicar a dispositivos móviles, así mismo se analizaron los tiempos propuestos por estos modelos para poder contrastarlo con los resultados obtenidos en el caso de estudio establecido. Existen muchas variantes que se han enfocado a ver que operadores se pueden aplicar a la tecnología móvil pero no consideran el tamaño del dispositivo ni la discapacidad con que pueda contar la persona.

7.1.2 Modelo de habilidades físicas y cognitivas y su relación con operadores de usabilidad.

Una vez que se analizó el conjunto de operadores propuestos por la literatura, el siguiente paso fue definir las habilidades humanas requeridas para poder ejecutar dichos

operadores usando dispositivos móviles tales como tableta, teléfono inteligente. Cabe mencionar que estas habilidades fueron generadas de la literatura y es una propuesta que más adelante se tendría que validar por expertos en el área, pero esta propuesta es un primer paso para poder definir la usabilidad de las aplicaciones en base a las habilidades físicas y cognitivas con que cuente un usuario y no solo desarrollar aplicaciones para usuarios expertos.

7.1.3 Modelo ATLM

La aportación principal de este trabajo de tesis se centró en definir un conjunto de operadores aplicables a dispositivos móviles, los cuales fueran definidos dependiendo de las capacidades físicas y cognitivas que presenta un usuario con TEA, cabe mencionar que las experimentaciones muestran que este tipo de usuarios es capaz de ejecutar la mayoría del conjunto de operadores sin o con poca dificultad (K, I, T, S y F) y los que pudieron ejecutar con mucha dificultad y algunos no lograron completar (M y S arriba-abajo), además de los que sí lograron ejecutar pero requirieron más tiempo (D y G).

Por otro lado después de la experimentación se propone un tamaño de imagen de 55 pixeles y una distancia de arrastre de 324 pixeles para aplicaciones que sean diseñadas para usuarios con TEA.

Los resultados de este modelo pueden apoyar a desarrollar directrices para el apoyo a los diseñadores de aplicaciones educativas para usuarios con este tipo de discapacidad.

7.2 Trabajo futuro.

En esta sección se describe el trabajo a realizar en un futuro, el cual permite continuar la investigación tomando como base los resultados obtenidos hasta el momento.

- 1) Replicar el experimento con más usuarios con TEA: la muestra que se logró reunir para el desarrollo de las experimentaciones, fue una muestra pequeña considerando el tipo de usuario con el cual se realizó, es necesario aumentar la muestra para poder proponer tiempos.

- 2) Validar el modelo propuesto (ATLM) con especialistas en el área: se consideraron diferentes habilidades físicas y cognitivas de los usuarios con TEA, pero es necesario validar dichas habilidades aplicando pruebas que confirmen lo proporcionado por el personal que atiende a los usuarios con quienes se realizó el experimento.
- 3) Replicar la experimentación con otro tipo de usuarios que cuente con alguna discapacidad motriz o cognitiva y compararlo con los resultados obtenidos de los usuarios con TEA.
- 4) Los operadores Z (Zoom) no fueron evaluados en los resultados, ya que las aplicaciones que se eligieron no cuentan con este tipo de ejecución, sería interesante ver los resultados que se obtendrían al evaluar el operador Z y si el usuario lo podrá ejecutar o no. En cuanto al operador X no se evaluó debido al déficit que presentan los usuarios y a las primeras investigaciones en las cuales es difícil mantener la atención del niño ejecutando una sola tarea.

Todo lo mencionado antes podría ser el foco de futuras investigaciones usando como base lo que se realizó en este trabajo de tesis.

7.3 Publicaciones.

Publicaciones JCR

Ángeles Quezada, Reyes Juárez-Ramírez, Samantha Jiménez, Alan Ramírez Noriega, Sergio Inzunza y Arnulfo Alanís Garza, Usability Operations on Touch Mobile Devices for Users with Autism, Journal of Medical System (2017) 41: 184 DOI 10.1007/s10916-017-0827-z

Publicaciones en Capítulos de libro

Ángeles Quezada, Reyes Juárez-Ramírez, Samantha Jiménez, Alan Ramírez Noriega, Sergio Inzunza y Roberto Muñoz, Assessing the Target' Size and Drag Distance in Mobile Applications for Users with Autism, March 2018 Advances in Intelligent Systems and Computing, DOI 10.1007/978-3-319-77712-2_117.

Ángeles Quezada, Reyes Juárez-Ramírez, Arnulfo Alanís, Bogart Yail, Sergio Magdaleno y Eugenia Bermúdez, A Proposal to Improve the Usability of Applications for Users with Autism Considering Emotional Aspects, Junio 2018, Agents and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications 2018, DOI: 10.1007/978-3-319-92031-3_25.

Publicaciones en conferencia

Ángeles Quezada Cisnero, Juárez-Ramírez, Andrés Mejía Figueroa (2016) "Towards a Methodology for the learning of Emotions for Children with Autism". Lat. Am. Conf. Learn. Objects Technol., 137–142.

Ángeles Quezada, Reyes Juárez-Ramírez, Samantha Jiménez, Alan Ramírez-Noriega and Sergio Inzunza. "An Empirical Study on Usability Operations for Autistic Children " World Conference on Information Systems and Technologies. Springer, Cham, 2017

Referencias

- [1] Asociación Americana de Psiquiatría, *Guía De Consulta De Los Criterios Diagnósticos Del Dsm-5*. 2014.
- [2] P. Fitzpatrick *et al.*, "Evaluating the importance of social motor synchronization and motor skill for understanding autism," *Autism Research*. 2017.
- [3] B. O. Ploog, A. Scharf, D. Nelson, and P. J. Brooks, "Use of computer-assisted technologies (CAT) to enhance social, communicative, and language development in children with autism spectrum disorders," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 43, no. 2, pp. 301–322, 2013.
- [4] Y. Cheng, D. Moore, P. McGrath, and Y. Fan, "Collaborative virtual environment technology for people with autism," *Fifth IEEE Int. Conf. Adv. Learn. Technol. 2005. ICALT 2005*, no. Figure 1, pp. 247–248, 2005.
- [5] P. Michel, "The use of technology in the study, diagnosis and treatment of autism," *Final term Pap. CSC350 Autism Assoc. ...*, pp. 1–26, 2004.
- [6] L. C. Murdock, J. Ganz, and J. Crittendon, "Use of an iPad play story to increase play dialogue of preschoolers with autism spectrum disorders," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 43, no. 9, pp. 2174–2189, 2013.
- [7] V. Picardo *et al.*, "Designing an Educational Tabletop Software for Children with Autism," in *Proceedings of the Fifteenth Australasian User Interface Conference - Volume 150*, 2014, pp. 89–90.
- [8] G. De Leo, C. H. Gonzales, P. Battagiri, and G. Leroy, "A smart-phone application and a companion website for the improvement of the communication skills of children with autism: Clinical rationale, technical development and preliminary results," *J. Med. Syst.*, vol. 35, no. 4, pp. 703–711, 2011.
- [9] N. Josman, H. M. Ben-Chaim, S. Friedrich, and P. L. (Tamar) Weiss, "Effectiveness of virtual reality for teaching street-crossing skills to children and adolescents with autism.," *Int. J. Disabil. Hum. Dev. Spec. Issue Hum. Dev. through Interact. environments. Vol 7(1)*, no. 2008, pp. 49–56, 2008.
- [10] P. L. Weiss *et al.*, "Usability of technology supported social competence training for children on the Autism Spectrum," *2011 Int. Conf. Virtual Rehabil. ICVR 2011*, no. Imi, 2011.
- [11] A. Mejía-Figueroa and R. Juárez-Ramírez, "Developing applications for autistic users: Towards an autistic user model," *Proc. - 2013 Int. Conf. Cloud Ubiquitous Comput. Emerg. Technol. CUBE 2013*, pp. 228–235, 2013.

- [12] A. Mejia-Figueroa, M. De Los Angeles Quezada Cisnero, and J. R. Juarez-Ramirez, "Developing usable software applications for users with autism: User analysis, user interface design patterns and interface components," *Proceedings - 2016 4th International Conference in Software Engineering Research and Innovation, CONISOFT 2016*. pp. 195–203, 2016.
- [13] P. L. Weiss *et al.*, "Usability of technology supported social competence training for children on the Autism Spectrum," *Int. Conf. Virtual Rehabil.*, no. January, pp. 1–8, 2011.
- [14] A. Lee, K. Song, H. B. Ryu, J. Kim, and G. Kwon, "Fingerstroke time estimates for touchscreen-based mobile gaming interaction," *Hum. Mov. Sci.*, vol. 44, no. March 2016, pp. 211–224, 2015.
- [15] K. Jung and J. Jang, "Development of a two-step touch method for website navigation," *Appl. Ergon.*, vol. 48, pp. 148–153, 2015.
- [16] D. Carvalho, M. Bessa, and S. Reis, "Usability evaluation of navigation tasks by people with intellectual disabilities : a Google and SAPO comparative study regarding different interaction modalities," *Univers. Access Inf. Soc.*, vol. 16, no. 61, pp. 581–592, 2017.
- [17] T. Rocha, D. Carvalho, R. Gonçalves, J. Martins, F. Branco, and M. Bessa, "Usability Evaluation of the Touch Screen and Mouse as Input Devices by People with Intellectual Disabilities," in *14th International Conference WWW/Internet 2015 USABILITY*, 2015, no. Foley 1984, pp. 11–18.
- [18] A. Card, S., Moran, T. and Newell, "The Psychology of Human-Computer Interaction.," *Book*, 1983.
- [19] A. D. Rice and J. W. Lartigue, "Touch-Level Model (TLM): Evolving KLM-GOMS for Touchscreen and Mobile Devices Categories and Subject Descriptors," in *ACM Trans. Access. Comput.*, 2014, pp. 1–6.
- [20] D. E. Kieras and B. E. John, "The GOMS family of user interface analysis techniques: comparison and contrast," *ACM Trans. Comput. Interact.*, vol. 3, no. 4, pp. 320–351, 1996.
- [21] Y. R. Jenny Preece, Helen Sharp, *Interaction Design: Beyond Human-computer Interaction*. United States of America: John Wiley & Sons, 2002.
- [22] S. K. Card, T. P. Moran, and A. Newel, "The Keystroke- Leve1 Model for User Peformance Time with Interactive Systems," in *Communications of the ACM*, vol. 23, 1980, pp. 396–410.
- [23] A. Moskowitz and G. Heim, "Eugen Bleuler's Dementia Praecox or the Group of Schizophrenias (1911): A centenary appreciation and reconsideration," *Schizophr. Bull.*, vol. 37, no. 3, pp. 471–479, 2011.
- [24] L. Wing, "Asperger's syndrome: a clinical account," *Psychol. Med.*, vol. 11, no. July 2009, p. 115, 1981.

- [25] A. P. Association, *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.)*. 2014.
- [26] B. Provost, B. R. Lopez, and S. Heimerl, "A comparison of motor delays in young children: Autism spectrum disorder, developmental delay, and developmental concerns," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 37, no. 2, pp. 321–328, 2007.
- [27] S. Ozonoff *et al.*, "Gross motor development, movement abnormalities, and early identification of autism," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 38, no. 4, pp. 644–656, 2008.
- [28] K. A. Fournier, C. J. Hass, S. K. Naik, N. Lodha, and J. H. Cauraugh, "Motor coordination in autism spectrum disorders: A synthesis and meta-analysis," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 40, no. 10, pp. 1227–1240, 2010.
- [29] X. Ming, M. Brimacombe, and G. C. Wagner, "Prevalence of motor impairment in autism spectrum disorders," *Brain Dev.*, vol. 29, no. 9, pp. 565–570, 2007.
- [30] H. Van Waelvelde, A. Oostra, G. Dewitte, C. Van Den Broeck, and M. J. Jongmans, "Stability of motor problems in young children with or at risk of autism spectrum disorders, ADHD, and or developmental coordination disorder," *Dev. Med. Child Neurol.*, vol. 52, no. 8, 2010.
- [31] E. Jasmin, M. Couture, P. McKinley, G. Reid, E. Fombonne, and E. Gisel, "Sensorimotor and daily living skills of preschool children with autism spectrum disorders," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 39, no. 2, pp. 231–241, 2009.
- [32] E. Gowen and A. Hamilton, "Motor Abilities in Autism: A Review Using a Computational Context," *J Autism Dev Disord*, vol. 43, no. 2, pp. 323–444, 2012.
- [33] J. Harrison and D. J. Hare, "Brief report: Assessment of sensory abnormalities in people with autistic spectrum disorders," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 34, no. 6, pp. 727–730, 2004.
- [34] G. T. Baranek, F. J. David, M. D. Poe, W. L. Stone, and L. R. Watson, "Sensory Experiences Questionnaire: Discriminating sensory features in young children with autism, developmental delays, and typical development," *J. Child Psychol. Psychiatry Allied Discip.*, vol. 47, no. 6, pp. 591–601, 2006.
- [35] E. Milne, S. White, R. Campbell, J. Swettenham, P. Hansen, and F. Ramus, "Motion and form coherence detection in autistic spectrum disorder: Relationship to motor control and 2:4 digit ratio," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 36, no. 2, pp. 225–237, 2006.
- [36] M. Mari, U. Castiello, D. Marks, C. Marraffa, and M. Prior, "The reach-to-grasp movement in children with autism spectrum disorder," *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 358, no. 1430, pp. 393–403, 2003.
- [37] C. M. Glazebrook, D. Elliott, and J. Lyons, "A kinematic analysis of how young adults with and without autism plan and control goal-directed movements.," *Motor Control*, vol. 10, no. 3, pp. 244–264, 2006.
- [38] C. M. Glazebrook, D. Elliott, and P. Szatmari, "How do individuals with autism plan their movements?," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 38, no. 1, pp. 114–126, 2008.

- [39] D. Dewey, M. Cantell, and S. G. Crawford, "Motor and gestural performance in children with autism spectrum disorders , developmental coordination disorder , and O or attention deficit hyperactivity disorder," no. 2007, pp. 246–256, 2018.
- [40] M. R. Prior, "Cognitive abilities and disabilities in infantile autism: A review," *J. Abnorm. Child Psychol.*, vol. 7, no. 4, pp. 357–380, 1979.
- [41] U. Frith and F. Happé, "Autism: beyond 'theory of mind,'" *Cognition*, vol. 50, no. 1–3, pp. 115–132, 1994.
- [42] P. F. Pérez Rivero and L. M. Martínez Garrido, "Perfiles cognitivos en el Trastorno Autista de Alto Funcionamiento y el Síndrome de Asperger," *Rev. CES Psicol.*, vol. 7, no. 1, pp. 141–155, 2014.
- [43] J. Fuentes-biggi *et al.*, "Guía de buena práctica para el tratamiento de los trastornos del espectro autista," *Revista de Neurologia*, vol. 43, no. 7, pp. 425–438, 2006.
- [44] B. P. Murray Mike, *AQA Physical Education AS: Student's Book*. 2008.
- [45] E. A. Fleishman, "Toward a taxonomy of human performance.," *Am. Pshychologist Assoc.*, vol. 30(12), no. 1127–1149, 1975.
- [46] J. B. Carroll, "Human Cognitive Abilities: A Survey of Factor-Analytic Studies," *Educational Researcher*. p. 32, 1993.
- [47] "ISO 9241: Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (parts 1 to 17)." 1993.
- [48] "ISO CD 9241-11: Guidelines for specifying and measuring usability." 1993.
- [49] "ISO 9126: Software product evaluation - Quality characteristics and guidelines for their use." 1991.
- [50] "I. S. f. Organization, 'ISO/IEC 9126-1 Software Engineering –Product Quality –Part 1: Quality model,'" 1991.
- [51] N. Bevan, "Quality in use: Incorporating human factors into the software engineering lifecycle.," in *3rd International Symposium and Forum on Software Engineering Standards*, 1997, pp. 169–179.
- [52] J. Nielsen, *Usability Engineering*, Morgan Kau. 11th November 1994, 1993.
- [53] A. T. Corbett, K. R. Koedinger, J. R. Anderson, M. G. Helander, T. K. Landauer, and P. V Prabhu, "Handbook of Human Computer Interaction." 1997.
- [54] J. Nielsen, "The Usability Engineering Life Cycle," *Computer (Long. Beach. Calif.)*, vol. 25, no. 3, pp. 12–22, 1992.
- [55] Nielsen Jakob, "Big paybacks from discount. Usability engineering.," *J. Ieee Softw.*, vol. 7, no. 3, pp. 107–108, 1990.
- [56] G. Booch, C. Complejidad, C. El, M. D. E. Objetos, C. C. Y. Objetos, and C. Clasificación, "Análisis y Diseño Orientado a Objetos," pp. 1–38.
- [57] R. Fitzpatrick, "Strategies for Evaluating Software Usability," *Comput. Eng. Commons*,

vol. 353, no. 1, pp. 1–10, 1998.

- [58] Kirakowsky Jurek, *The Software usability measurement inventory*. 1993.
- [59] J. Nielsen, "How to Conduct a heuristic evaluation." [Online]. Available: http://www.useit.com/papers/heuristic/heuristic_evaluation.html.
- [60] Y. R. Jenny Preece, Helen Sharp, *Human-Computer Interaction*. 1994.
- [61] A. G. Dix Alan, Finlay Janet, *Human Computer Interaction*, vol. 3, no. 5. 1998.
- [62] D. Zhang and B. Adipat, "Challenges, methodologies, and issues in the usability testing of mobile applications," *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 18, no. 3, pp. 293–308, 2005.
- [63] A. Hussain, N. L. Hashim, and N. Nordin, "mGQM: Evaluation Metric for Mobile and Human Interaction," *Commun. Comput. Inf. Sci.*, vol. 434 PART I, pp. 42–47, 2014.
- [64] S. Card, A. Newell, and T. Moran, *The psychology of human-computer interaction*. London: L. Erlbaum Assoc. Inc., Hillsdale, NJ, USA, 1983.
- [65] P. Holleis, F. Otto, H. Hussmann, and A. Schmidt, "Keystroke-level model for advanced mobile phone interaction," *CHI '07 Proc. SIGCHI Conf. Hum. factors Comput. Syst.*, pp. 1505–1514, 2007.
- [66] H. Li, Y. Liu, J. Liu, X. Wang, Y. Li, and P.-L. P. Rau, "Extended KLM for mobile phone interaction," *Proc. 28th Int. Conf. Ext. Abstr. Hum. factors Comput. Syst. - CHI EA '10*, p. 3517, 2010.
- [67] N. Karousos, "Effortless Tool-based Evaluation of Web Form Filling Tasks using Keystroke Level Model and Fitts Law," 2013, pp. 1851–1856.
- [68] S. Lobo, "KLM Operator Values for Rural Mobile Phone User," pp. 7–10, 2011.
- [69] F. Happé, "Autism : cognitive deficit or cognitive style ?," vol. 6613, no. June, pp. 216–222, 1999.
- [70] A.-W. Lyan, A.-G. Amjad, A.-Z. Shaden, and A.-N. Khalid, "A Usability Evaluation of Arabic Mobile Applications Designed for Children with Special Needs — Autism," *Lect. Notes Softw. Eng.*, vol. 3, no. 3, pp. 203–209, 2015.
- [71] S. Khan, M. N. Tahir, and A. Raza, "Usability issues for smartphone users with special needs - Autism," *ICOSST 2013 - 2013 Int. Conf. Open Source Syst. Technol. Proc.*, pp. 107–113, 2013.
- [72] A. Furnham, S. von Stumm, A. Makendrayogam, and T. Chamorro-Premuzic, "A Taxonomy of Self-Estimated Human Performance," *J. Individ. Differ.*, vol. 30, no. 4, pp. 188–193, 2009.
- [73] E. Gowen and A. Hamilton, "Motor abilities in autism: A review using a computational context," *J. Autism Dev. Disord.*, vol. 43, no. 2, pp. 323–344, 2013.
- [74] G. M. E. Ortiz, F. Ayala, A. Reyes, R. López, "Evaluación de las funciones cognitivas en niños con trastornos del espectro autista," *Rev. Neuropsicol. Latinoam.*, vol. 5, no. 4, pp. 53–60, 2013.

- [75] S. Robinson, L. Goddard, B. Dritschel, M. Wisley, and P. Howlin, "Executive functions in children with Autism Spectrum Disorders," *Brain Cogn.*, vol. 71, no. 3, pp. 362–368, 2009.
- [76] R. Seijas Gómez, "Atención, memoria y funciones ejecutivas en los trastornos del espectro autista: ¿cuánto hemos avanzado desde Leo Kanner?," *Rev. la Asoc. Española Neuropsiquiatría*, vol. 35, no. 127, pp. 573–586, 2015.
- [77] O. Bogdashina, "Percepción sensorial en el autismo y síndrome de Asperger: experiencias sensoriales diferentes, mundos perceptivos diferentes," pp. 1–208, 2007.
- [78] Eric Schopler, *Childhood Autism Rating Scale™, Second Edition (CARS™-2)*. 2010.
- [79] D. Robins, D. Fein, and M. Barton, "Cuestionario M-Chat Revisada de Detección del Autismo en niños pequeños con Entrevista de Seguimiento (M-CHAT-R/F)," *Grupo Estudio MCHAT España*, 2009.
- [80] R. Muñoz, S. Kreisel, R. Noël, and F. Mancilla, "Proyect@ Emociones: software para estimular el desarrollo de la empatía en niños y niñas con trastornos del espectro autista," *XVII Congr. Int. Informática Educ.*, vol. 8, no. December, pp. 59–64, 2012.
- [81] M. C. Etchepareborda, "Perfiles Neurocognitivos del Espectro autista," *Rev. Neurol. Clin.*, vol. 2, pp. 175–192, 2001.
- [82] A. Mejia-Figueroa and R. Juárez-Ramírez, "Defining an Interaction Model for Users with Autism: Towards an Autistic User Model," in *Universal Access in Human Computer Interaction Access to Learning, Health and Well-Being*, 2015, vol. 9177, pp. 626–636.