

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN APLICADAS A LA
EDUCACIÓN

TAREAS HÁPTICAS FRENTE A TAREAS VIRTUALES EN EL DESARROLLO DE LA
HABILIDAD COGNITIVA DE LA ROTACIÓN MENTAL

BOGOTÁ, 2022

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN APLICADAS A LA
EDUCACIÓN

TAREAS HÁPTICAS FRENTE A TAREAS VIRTUALES EN EL DESARROLLO DE LA
HABILIDAD COGNITIVA DE LA ROTACIÓN MENTAL

TESIS DE MAESTRÍA PRESENTADA POR:

JHEISON JAVIER PARRA ZABALA

DIRIGIDA POR: DR.

LUIS CARLOS SARMIENTO VELA

BOGOTÁ, 2022

Derechos de autor

El gestor del proyecto declara que el presente trabajo es original y autoría de este; en aquellos casos en los cuales ha requerido de investigaciones de otros autores, se han dado los respectivos créditos. (Artículo 42, parágrafo 2, del Acuerdo 031 del 4 de diciembre de 2007 del Consejo Superior de la Universidad Pedagógica Nacional).

Este trabajo de grado se encuentra bajo una Licencia Creative Commons de Reconocimiento –



No comercial – Compartir igual, por lo que puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se muestra en los créditos. No se puede obtener

ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

Dedicatoria

Este trabajo es dedicado a mi familia, quien ha sido mi guía y mi fuente de inspiración desde el primer día. A mis padres, por su amor incondicional, por enseñarme a enfrentar dificultades con valentía y nunca rendirme. A mis hermanos, por su amistad, por sus consejos y por estar siempre presentes en las etapas importantes de mi vida. A todos ustedes les doy las gracias por ser mi familia y por estar siempre a mi lado. Este trabajo de grado es un logro que comparto con ustedes.

Dedico este trabajo de grado a mi esposa Estefanía, quien ha sido mi fuente de inspiración en todos los aspectos de mi vida. Tu amor, apoyo y comprensión incondicional han sido fundamentales para superar las dificultades y obstáculos que han surgido en este proceso. Tu paciencia y aliento me han permitido seguir adelante y alcanzar este logro. Tu presencia en mi vida es una bendición y no podría haberlo logrado sin ti. Te amo con todo mi corazón.

Agradecimientos

Agradezco enormemente a la Universidad Pedagógica Nacional, pues ha sido mi guía constante en mi proceso de formación profesional y posgradual. Siendo siempre un referente de excelencia y amor por la educación.

A mi director de tesis, el doctor Luis Carlos Sarmiento Vela, por su orientación y apoyo incondicional durante todo el proceso de elaboración del presente trabajo de grado. Su experiencia y conocimientos en el campo de estudio fueron fundamentales para el éxito de mi investigación. Su disponibilidad y dedicación para responder a mis preguntas y ayudarme a superar los desafíos fue invaluable. Sin su liderazgo y orientación, esta tesis no habría sido posible. Muchas gracias.

A mis queridos estudiantes del Liceo Mayor Andino, que fueron los protagonistas en cada una de las experimentaciones que sustentan el presente trabajo de grado, por su paciencia, disposición y energía. Su apoyo y dedicación durante cada sesión facilitó la ejecución y captura de los datos. Su ayuda fue invaluable.

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Valery López por su valiosa ayuda en la corrección del presente documento de tesis. Su atención al detalle y sus sugerencias constructivas fueron fundamentales para mejorar la calidad de mi trabajo. Su apoyo y dedicación no pasaron desapercibidos y fueron de gran importancia para mi éxito académico.

A Javier Romero, sus aportes y apoyo incondicional fueron de gran utilidad para el desarrollo del presente proyecto. Le agradezco enormemente.

Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	vi
Introducción	1
Capítulo 1: Introducción	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Pregunta de investigación	8
1.3 Hipótesis.....	8
1.3.1 Hipótesis 1	8
1.3.1 Hipótesis 2	8
1.4 Objetivos	9
1.4.1 Objetivo general	9
1.4.2 Objetivos específicos	9
Capítulo 2. Marco teórico.....	9
2.1.1 La teoría de Piaget sobre el desarrollo del conocimiento espacial	10
2.1.2 Imagen mental	12
2.1.2.1 Imágenes mentales en relación con las habilidades espaciales.....	13
2.1.2.1 Rotación mental (RM).....	13
2.1.2.2 Rotación de figuras	14
2.1.2.3 Figuras semejantes	14
2.1.2.4 Figuras simétricas	15
2.1.2.5 Mental Rotations Test (MRT).....	15
2.1.3 Logro de aprendizaje	16
2.1.4 Ambiente virtual de aprendizaje	17
2.1.5 Percepción háptica	18
2.1.6 Las interfaces de usuario	19
2.1.8 Razonamiento espacial.....	20
2.1.8.1 Proyección ortogonal.....	21
2.1.8.2 Sistema diédrico	22
2.1.7 Estrategia didáctica para la enseñanza	23
2.2 Estado del arte de la investigación	25

2.2.1 Antecedentes referentes al uso de interfaces hápticas para mejorar la habilidad de rotación mental	25
2.2.2 Antecedentes referentes al uso de interfaces de usuario virtuales para el desarrollo de la habilidad de rotación mental	32
Capítulo 3. Descripción del ambiente de aprendizaje Mental Cubes Play	39
3.1 Material de entrenamiento Mental Cubes Play	40
3.1.1 Mental Cubes Play para grupo háptico	41
3.1.2 Mental Cubes Play para grupo virtual	43
3.2 Distribución general del ambiente de aprendizaje	44
3.2.1 Página de Inicio	44
3.2.2 Secuencia didáctica de las lecciones	45
3.2.3 Contenido de las lecciones grupo háptico	45
3.2.4 Contenido de las lecciones grupo virtual	47
3.2.5 Página de Contacto	49
Capítulo 4. Metodología	50
4.1 Población y muestra	51
4.2 Variables	52
4.3 Instrumento MRT-A	53
4.4 Medidas y procedimiento	53
4.6 Desarrollo de la investigación	54
Capítulo 5. Resultados	63
5.1 Condiciones iniciales	63
5.2 Logro previo	63
5.2 Análisis del efecto del ambiente virtual de aprendizaje	64
5.2.1 Ambiente virtual de aprendizaje	64
5.2.2 Logro de aprendizaje	65
5.2.3 Análisis de varianza ANCOVA	68
5.2.3.7 Pruebas de efectos inter-sujetos	75
5.2.3.8 Comparaciones múltiples	76
5.2.3.9 Diferencia entre pretest y postest	77
5.2.3.10 Análisis gráficos	79
Capítulo 6. Discusión y conclusiones	82

6.1. Respuesta a la pregunta de investigación	83
6.1.2 Ambiente virtual de aprendizaje y logro de aprendizaje.	84
6.1.3 Logro de aprendizaje y sexo.	87
6.2 Hipótesis.....	89
6.2.1 Hipótesis 1.....	89
6.2.2 Hipótesis 2.....	90
6.3 Conclusiones.....	91
6.4 Limitaciones.	93
6.5 Recomendaciones para trabajos futuros.....	94
Bibliografía	95

Lista de tablas

Tabla 1. Distribución general del ambiente de aprendizaje mentalcubes.com.....	40
Tabla 2. Contenido temático del ambiente de aprendizaje grupo háptico.....	46
Tabla 3. Contenido temático de ambiente de aprendizaje grupo virtual..	48
Tabla 4. Tabla del diseño experimental.....	51
Tabla 5. Descripción de la muestra poblacional (Sexo).....	51
Tabla 6. Descripción de la población (Edad)	52
Tabla 7. Descripción de la población (Edades por grupo)	52
Tabla 8. Descripción de la metodología trabajada. (Nota. Continúa en la siguiente página)....	54
Tabla 9. Resultados de clasificación del sexo entre los participantes.	63
Tabla 10. Estadísticos logro previo.	64
Tabla 11. Prueba de Fiabilidad del instrumento de entrenamiento.	65
Tabla 12. Logro de aprendizaje durante el entrenamiento de rotación mental.....	65
Tabla 13. Estadísticos descriptivos variable dependiente (Pretest).....	68
Tabla 14. Estadísticos descriptivos variable dependiente (Postest)	68
Tabla 15. Prueba de normalidad variable dependiente.....	69
Tabla 16. Supuesto de homogeneidad de varianzas	70
Tabla 17. Supuesto de la relación lineal entre la variable dependiente y la covariable	71
Tabla 18. Supuesto de independencia entre la covariable y el tratamiento	71
Tabla 19. Supuesto de homogeneidad de las pendientes de regresión	72
Tabla 20. Factores inter-sujetos.....	73
Tabla 21. Estadísticos descriptivos organizados por Grupo y Sexo.....	73
Tabla 22. Estadísticos descriptivos organizados por Sexo y Grupo.....	74

Tabla 23. Prueba de igualdad de varianzas.....	74
Tabla 24. Resultados de la prueba ANCOVA.....	75
Tabla 25. Comparación por parejas con ajuste Bonferroni	76
Tabla 26. Estimaciones por Grupo	76
Tabla 27. Estimaciones por sexo	77
Tabla 28. Estadística de muestras emparejadas Pretest-Postest	78
Tabla 29. Prueba t para muestras relacionadas Pretest - Postest	78

Tabla de figuras

Figura 1. Proyección ortogonal de un objeto representado en el plano vertical.....	21
Figura 2. Representación plegada del sistema diédrico de un objeto.....	22
Figura 3. Modelo 3D figura de Mental Cubes Play Físico.....	42
Figura 4. Proceso de impresión de las figuras 3D.....	42
Figura 5. Figuras 3D ensambladas.....	43
Figura 6. Diseño definitivo de MCPv.....	44
Figura 7. Página de inicio mentalcubes.com.....	44
Figura 8. Página de Contacto mentalcubes.com.....	50
Figura 9. Diagrama de cajas para la variable dependiente (Pretest).....	66
Figura 10. Diagrama de cajas para la variable dependiente (Postest).....	67
Figura 11. Medias marginales del postest por Grupos.....	79
Figura 12. Medias marginales por sexo.....	80
Figura 13. Marginales estimadas del logro de aprendizaje en presencia del ambiente de aprendizaje.....	81

Introducción

La rotación mental es una habilidad cognitiva que se refiere a la capacidad que tiene una persona para entender y representar mentalmente objetos tridimensionales de su entorno. Esta habilidad es importante para las actividades diarias, ya que permite comprender el espacio y la perspectiva, lo que permite realizar tareas como lectura de mapas, jugar ajedrez, organización de objetos en un espacio determinado, armar rompecabezas o incluso conducir un carro.

La rotación mental es fundamental, en todas las etapas de la vida, teniendo en cuenta que, desde que son bebés y empiezan a interactuar con los diferentes objetos de su entorno, con el pasar del tiempo, logran identificarlos desde distintas perspectivas y desarrollar representaciones mentales cada vez más complejas. Se ha demostrado que el desarrollo de esta habilidad puede mejorar las capacidades de resolución de problemas y pensamiento abstracto. Además, estudios han demostrado que la rotación mental también está vinculada a un mayor rendimiento académico en las áreas de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM).

La tecnología es una herramienta importante para el desarrollo de la rotación mental. Teniendo en cuenta que, en internet se pueden encontrar numerosos juegos y aplicaciones que estimulan el desarrollo esta habilidad, algunos ejemplos son: juegos de rompecabezas en 3D, juegos de construcción, juegos de estrategia, entre otros.

Es importante recordar que, mientras la tecnología ha demostrado ser una herramienta útil para el desarrollo de la rotación mental, también es importante fomentar la práctica de actividades que no estén basadas en tecnología, pero que a su vez promuevan el desarrollo de esta habilidad; algunas actividades pueden ser: jugar con bloques, armar rompecabezas de manera tradicional o jugar a juegos que involucren el uso de objetos tridimensionales.

Capítulo 1: Introducción

1.1 Planteamiento del problema

De acuerdo con Trisancho, Vargas y Contreras (2019) la habilidad espacial se puede definir como un componente de la inteligencia, ligada a la capacidad de formar una representación geométrica mental del mundo. Por su parte, Leo, Sandini y Sciutti (2022) la definen como la capacidad de visualizar, manipular e interrelacionar configuraciones reales o imaginarias en el espacio. Esta habilidad permite anticiparse a las consecuencias de cambios espaciales, y adelantarse e imaginar o suponer cómo puede variar un objeto que sufre algún tipo de cambio; describir coincidencias o similitudes entre objetos que lucen distintos; identificar aspectos comunes o diferentes en los objetos que se encuentran alrededor del individuo, y tener un sentido común de la dirección (Valiente & Galdeano, 2014).

Teniendo en cuenta que la habilidad espacial es importante para el desarrollo de las actividades diarias, también se encuentran otros beneficios asociados específicamente con el rendimiento académico y profesional (Halpern, 2000). Por ejemplo, se ha encontrado que las habilidades espaciales están vinculadas con el éxito en carreras relacionadas con las ciencias, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas (Moen, y otros, 2020). No obstante, teniendo en cuenta su evidente importancia, estas habilidades por lo general son subestimadas en el contexto educativo (Kyttälä & Hautamäki, 2006). En consecuencia, el estudio de la habilidad espacial y cómo mejorarla tiene una gran importancia tanto teórica como práctica (Yu, y otros, 2020).

Según los autores Harris, Díaz y Newcombe (2013) para cuantificar la habilidad espacial, existen dos métricas muy utilizadas que son: la rotación y el plegado mental. La presente investigación se enfoca en la rotación mental (RM), que es la habilidad cognitiva que posee un

individuo para rotar mentalmente un objeto e identificar sus rasgos tridimensionales (Chang, Heo, Yeh, & Li, 2018). Esta habilidad permite medir la velocidad y precisión de rotación de la representación mental de objetos 2D o 3D, dado que las relaciones espaciales de los objetos permanecen sin cambios en el espacio físico (Yu, y otros, 2020).

Los primeros en hablar sobre rotación mental fueron Shepard y Metzler (1971), donde partiendo de una actividad de coincidencia de formas, en la que un sujeto tenía que decidir si dos elementos presentados simultáneamente desde varias orientaciones eran similares o diferentes; descubrieron una habilidad cognitiva que representaba una relación lineal entre el ángulo de una figura dada (0 – 180 grados), con el tiempo que se demoraban en presentar una respuesta correcta. Por otra parte, Vandenberg y Kuse (1978) indican que es una habilidad cognitiva que permite a las personas visualizar y manipular mentalmente objetos tridimensionales. Además, Tamayo (2014) define la rotación mental como un proceso que consiste en girar objetos externos mentalmente para predecir el movimiento o siguiente estado del cuerpo. Por su parte, Patiño (2019) indica que es un proceso cognitivo, el cual otorga al individuo la capacidad de realizar giro y rotación de las imágenes y ubicar un objeto desde diferentes perspectivas a través de la mente.

Los autores Chang, Heo, Yeh, y Li (2018) señalan que la habilidad de rotación mental de un individuo influye en su desempeño en áreas que requieren ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM) o profesiones relevantes en campos médicos, de ingeniería y artísticos. Por tal razón, comprender cómo mejorar la rotación mental es fundamental para la educación STEM. La cantidad de personas que se capacitan con éxito para realizar trabajos relacionados con STEM no satisface la creciente demanda de profesionales en la actualidad. Casi la mitad de los estudiantes que comienzan una carrera profesional relacionada STEM no completan el título (Chen, 2013). Y muchos otros abandonan sus estudios relacionados con STEM debido a

habilidades subdesarrolladas (Moen, y otros, 2020). En la academia y la industria, los esfuerzos para mejorar los logros de STEM mediante el desarrollo de la capacidad espacial son continuos, dadas las bondades que presentan en el área académica y profesional (Yu, y otros, 2020).

Agregado a lo anterior, autores como Newcombe y Learmonth (2005), afirman que la rotación mental es susceptible de potenciarse a medida que los individuos utilicen instrumentos apropiados de entrenamiento, pues este le permitirá ejercitar y encontrar diferentes soluciones que reducen el tiempo de ejecución en tareas de rotación mental.

Para medir efectivamente la habilidad cognitiva de rotación mental existen diferentes tipos de pruebas estandarizadas, de acuerdo con Contreras, Tristancho y Vargas (2013) algunos ejemplos son: Primero, la prueba de Rotación Mental de Shepard y Metzler (1971), la cual consiste en comparar dos imágenes tridimensionales que se rotan y determinar si son similares o no. Segundo, Mental Rotation Test (MRT), desarrollada por Vandenberg y Kuse (1978), consiste en una versión de lápiz y papel de la prueba de Shepard y Metzler (1971) que utiliza objetos de tres dimensiones. Tercero, la prueba llamada Tareas de rotación mental de Generis desarrollada por Voyer, Voyer y Bryden (1995), dicha prueba incluye las variantes de Shepard y Metzler (1971) y cuenta con formato para ordenador. Finalmente, Prueba de corte mental (MCT) dicha prueba fue creada por College Entrance Examination Board, dicha prueba consistía en dada una figura seccionada por un plano, hay que determinar el resultado de la sección. Es importante aclarar que estas son solo algunas de las pruebas disponibles para medir efectivamente la habilidad de rotación mental.

Actualmente, la prueba más utilizada es la MRT-A en la cual se manipula sólo un eje para aplicar las diferentes rotaciones en comparación con otras modificaciones de la prueba como MRT-C, MRT-D, donde se manipulan otros ejes para asignar rotaciones más complejas. Las pruebas estandarizadas MRT cuentan con conjuntos redibujados de las figuras presentadas por

Vandenberg y Kuse (1978). Cuando un sujeto desarrolla una prueba de rotación mental, las diversas habilidades espaciales (simetrizar, ubicar, orientar, equilibrar, descomponer/recomponer, transformar, escalar, comparar y navegar) emergen mutuamente conectadas y revelan que cada proceso de rotación mental es un fenómeno complejo, anidado en una actividad conjunta que involucra acciones corporales, procesos cognitivos y un ambiente determinado (Cittàa, y otros, 2019).

Se han encontrado hallazgos de la relación entre la rotación mental y la exploración de objetos, Taintor (2022) indica la importancia de la rotación mental en edades tempranas, en su investigación observó que desde poco después del nacimiento se enfrentan y deben representar cognitivamente objetos en movimiento y rotación en su entorno natural. Ya sea un cuidador o un juguete favorito, los bebés deben aprender a reconocer a las personas y los objetos cuando se ven desde diferentes orientaciones. Teniendo en cuenta que, la exploración manual de objetos por parte de bebés y niños pequeños usan sus manos para manipular, rotar y transferir objetos, podría estar asociada con la capacidad de rotación mental infantil (Möhring & Frick, 2013). Asimismo, se evidencia que la locomoción autoproducida, como el gatear, es relevante para la capacidad visual-cognitiva infantil en general (Campos, y otros, 2000).

El sentido háptico está relacionado con todo lo que implica el sentido del tacto, además, hace referencia a la ciencia que estudia todo lo relativo al tacto y sus sensaciones como medio de control e interacción con máquinas y computadores (Pérez & Santís, 2016), este sentido, permite recibir información del entorno sin requerir de un estímulo visual o auditivo. Teniendo en cuenta esto, los seres humanos pueden obtener información importante de un objeto con solo tocarlo por un breve intervalo de tiempo. Partiendo de esta idea, existen las interfaces hápticas, que son dispositivos que se encargan de reproducir en el usuario lo captado por la sensación de contacto y manipulación de un objeto que se encuentra dentro de un ambiente virtual o en un entorno

remoto, simulando las características esenciales al tacto y sujeción de un objeto real, tales como temperatura, textura, peso, contorno, entre otros (Golledge, Rice, & Jacobson, 2006; Hernantes, Díaz, Borro, & Gil, 2012).

Estudios relacionados con la rotación mental y el sentido háptico como el de Schlegel (2016) los participantes, durante la ejecución de las tareas de entrenamiento se apoyaron con objetos físicos, demostraron que el uso de estos objetos tuvo un impacto positivo en el desarrollo de las habilidades espaciales. Otros autores como Carlson, Peters, Gilbert, y Vance (2015) obtuvieron un incremento significativo en los resultados de la prueba de rotación mental luego de dos semanas de entrenamiento con elementos hápticos. En otro estudio relacionado, el de Yu, y otros (2020) demostraron que la interacción con robots estimula efectivamente el desempeño de tareas relacionadas con las habilidades de razonamiento espacial. La investigación de Brainin, Shamir y Eden (2021) concluyeron que la intervención basada en la manipulación de un robot programable mostró un aumento significativo en la habilidad de rotación mental. Estudios como los de (Frick, Hansen, & Newcombe, 2013; Jamie & Newcombe, 2015) concuerdan en que la manipulación de objetos contribuye en el desarrollo de la habilidad de rotación mental en niños entre los 3 y 8 años. Adicionalmente, Julià y Antolí (2016), encontraron mejoras significativas en los sujetos que participaron en un curso basado en la construcción de robots. La investigación de Zander, Wetzel y Bertel (2016), generó aportes referentes al uso de tareas basadas en interacciones táctiles las cuales mejoraron significativamente la habilidad de rotación mental. Igualmente, los aportes de Burlison, y otros (2018) donde contrastaron objetos tangibles robóticos con un entorno de programación espacial virtual y encontraron beneficios del uso de las dos metodologías para el desarrollo de habilidades espaciales. Finalmente, el estudio de Leo, Sandini y Sciutti (2022) demostraron que las puntuaciones MRT más altas se asociaron con un mejor desempeño en la ejecución de tareas hápticas.

El uso de nuevas tecnologías en las aulas de clase es algo que se ha implementado con mayor rigurosidad desde finales del siglo pasado, generando nuevas interacciones con el conocimiento en general, por ejemplo, para el análisis de fenómenos de la naturaleza se usan programas de diseño, de representación cartesiana o videojuegos, los cuales han permitido comprender los conceptos desde otras perspectivas, brindando una experiencia cada vez más inmersiva. Teniendo en cuenta este contexto, el uso de elementos virtuales para el entrenamiento de la habilidad de rotación mental es un área en la que se han encontrado evidencias de mejoras significativas. Entornos como: ambientes virtuales de aprendizaje, videojuegos, gamificaciones, aplicaciones móviles, ambientes de realidad virtual, entre otros, han tenido un impacto positivo en el desarrollo de esta habilidad.

En el campo de la investigación se han encontrado diferentes intervenciones para desarrollar entrenamientos efectivos de rotación mental, estudios como el de (Chang, Heo, Yeh, & Li, 2018; Díaz & Garzón, 2014) encontraron mejoras significativas por medio de realidad virtual. Los investigadores (Hernández & Hernández, 2017) encontraron beneficios en el uso de videojuegos para el entrenamiento de habilidades espaciales. Por su parte, (Farzeeha, Omar, Mokhtar, & Ali, 2017; Tristancho, Vargas, & Contreras, 2019; Romero, 2020), aprueba el uso de ambientes virtuales como medio para entrenar habilidades espaciales y contribuir en el desarrollo de la resolución de problemas en representaciones tridimensionales.

Aunque las investigaciones mencionadas han sido exitosas para el entrenamiento de esta habilidad cognitiva, se encuentran pocas investigaciones que comparen el rendimiento en tareas de manipulación de objetos físicos y virtuales para lograr el desarrollo de metodologías efectivas que contribuyan en el mejoramiento de la habilidad de la rotación mental. Por lo tanto, sigue siendo un desafío explorar más alternativas que combinen diferentes tecnologías y perspectivas de aprendizaje. Por consiguiente, se evidencian nichos que hacen necesario explorar opciones

que impliquen entrenamientos basados en la manipulación de objetos físicos y virtuales para lograr el desarrollo de metodologías efectivas que contribuyan en el mejoramiento de la habilidad de rotación mental. Teniendo en cuenta esto, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

1.2 Pregunta de investigación

¿En qué medida varía el logro de aprendizaje de la habilidad cognitiva de la rotación mental cuando se interactúa con un ambiente de aprendizaje con actividades basadas en la manipulación de objetos virtuales frente a un ambiente de aprendizaje con actividades que permitan la manipulación de objetos físicos, en estudiantes en etapa operacional formal?

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis 1

Se ha planteado una Hipótesis nula (H0) y una Hipótesis alternativa (H1).

H0: Los participantes que reciben intervención con tareas de entrenamiento que implican la manipulación de objetos físicos, obtendrán puntajes más bajos en la prueba estandarizada de rotación mental (MRT-A), que los participantes que reciben intervención con tareas de entrenamiento que implican la manipulación de objetos virtuales.

H1: Los participantes que reciben intervención con tareas de entrenamiento que implican la manipulación de objetos físicos, obtendrán puntajes más altos en la prueba estandarizada de rotación mental (MRT-A), que los participantes que reciben intervención con tareas de entrenamiento que implican la manipulación de objetos virtuales.

1.3.1 Hipótesis 2

Se ha planteado una Hipótesis nula (H0) y una Hipótesis alternativa (H1).

H0: Los participantes caracterizados por el sexo masculino, obtendrán puntajes más bajos en la prueba estandarizada de rotación mental (MRT-A), en comparación con las participantes caracterizadas por el sexo femenino.

H1: Los participantes caracterizados por el sexo masculino, obtendrán puntajes más altos en la prueba estandarizada de rotación mental (MRT-A), en comparación con las participantes de caracterizadas por el sexo femenino.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Comparar el logro de aprendizaje de la habilidad cognitiva de la rotación mental cuando se interactúa con un ambiente de aprendizaje con actividades basadas en la manipulación de objetos virtuales frente a un ambiente de aprendizaje con actividades que impliquen la manipulación de objetos físicos, en estudiantes en etapa operacional formal.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Identificar la influencia de un ambiente de aprendizaje con actividades basadas en la manipulación de objetos virtuales sobre el logro de aprendizaje de rotación mental.
2. Identificar la influencia de un ambiente de aprendizaje con actividades que impliquen la manipulación de objetos físicos sobre el logro de aprendizaje de rotación mental.
3. Contrastar la influencia de ambiente de aprendizaje con actividades basadas en la manipulación de objetos virtuales frente a un ambiente de aprendizaje con actividades que impliquen la manipulación de objetos físicos sobre el logro de aprendizaje de rotación mental.

Capítulo 2. Marco teórico

El presente proyecto de investigación cuenta con los fundamentos teóricos necesarios para dar claridad en los conceptos básicos que lo sustentan. En primer lugar, se abordan conceptos relacionados con el desarrollo del conocimiento espacial. En segundo lugar, se encuentran las

definiciones sobre imaginería mental, rotación mental, proceso de rotación de figuras, tipos de figuras y la prueba de rotación mental. En tercer lugar, se aborda el concepto de logro de aprendizaje y ambiente de aprendizaje virtual. En cuarto lugar, se toman los conceptos relacionados con la percepción háptica e interfaces de usuario. Para finalizar, se abordan conceptos relacionados con proyecciones ortogonales y sistema diédrico.

Seguido a lo anterior, se exponen los antecedentes que respaldan la investigación para el desarrollo de la habilidad cognitiva de rotación mental, divididos en dos categorías: En la primera, se hace referencia a las investigaciones que hacen uso de interfaces hápticas. Y en la segunda, se hace referencia a estudios relacionados con intervenciones basadas en interfaces de usuario virtuales.

2.1.1 La teoría de Piaget sobre el desarrollo del conocimiento espacial

La teoría del desarrollo cognitivo fue creada por Jean William Fritz Piaget, la cual habla sobre el proceso de evolución de la inteligencia humana en cuanto a su adquisición, construcción y uso. De acuerdo con Linares (2008) dicha teoría se organiza por medio de estructuras, definidas como conjunto de acciones físicas, de operaciones mentales, de conceptos o teorías con los cuales organizamos y adquirimos información sobre el mundo. Asimismo, esta teoría establece cuatro principios de desarrollo: Adaptación (ajuste de estructuras mentales o conductas a la exigencia del ambiente); Organización (conforme el niño va madurando, integra patrones físicos o esquemas mentales a sistemas más complejos); Asimilación (modela la información nueva para que encaje en sus esquemas actuales); por último, Acomodación (proceso de modificación de esquemas actuales). La teoría cuenta con cuatro etapas basadas en intervalos de edad, la sensoriomotora (0 años – 2 años), la preoperacional (2 años – 7 años), la de operaciones concretas (7 años – 11 años) y la de operaciones formales (11 años en adelante), donde se

enmarcan diferencias en la manera como se adoptan los cuatro principios mencionados anteriormente, puesto que, esta teoría, implica cambios cualitativos de los hechos y de habilidades radicales en la organización del conocimiento (Linares, 2008).

Dentro del marco teórico piagetiano, el hecho de como un niño discierne el espacio no es producto simplemente de la percepción, por el contrario, es un constructo que se elabora poco a poco con base en la experiencia, por lo tanto, la interacción con el entorno es fundamental para el sujeto. Los experimentos utilizados para el estudio del conocimiento espacial hechos por Piaget e Inhelder según Alderete (1983) sostenían que el desarrollo espacial se basa en la interacción con el entorno y la práctica. De modo que, mediante juegos y el uso de objetos en su entorno, los niños aprenden el funcionamiento y la manera de manipular tales objetos en el espacio. El desarrollo de las habilidades espaciales descritas en las cuatro etapas fundamentales de la teoría del desarrollo de Piaget se divide de la siguiente manera: Durante la etapa sensoriomotora, los bebés comprenden el espacio y la distancia a través de la manipulación de objetos y el movimiento de su propio cuerpo. En la etapa preoperacional, los niños comienzan a usar símbolos para representar objetos y a entender conceptos como el tamaño y la distancia. En la etapa de operaciones concretas, los niños pueden manipular objetos en su mente y comprender conceptos más abstractos, como el peso y la medida. Por último, en la etapa de operaciones formales, los adolescentes y adultos pueden tener un pensamiento más abstracto y conceptualizar el espacio de manera más compleja.

Basándose en los planteamientos de Piaget (Sorby & Baartmans, 2000; Sorby, 2009), el desarrollo de las habilidades espaciales está dividido en tres etapas. En la primera, se adquieren habilidades topológicas; estas habilidades se caracterizan por la representación bidimensional de los objetos de su entorno, por medio de estas habilidades, los niños reconocen la proximidad de un objeto con otros, su orden en un grupo y su aislamiento o encierro en un entorno más amplio.

Una manera para corroborar el desarrollo de esta habilidad es cuando el niño es capaz de armar rompecabezas. En la segunda etapa de desarrollo, los niños han adquirido la habilidad espacial proyectiva, siendo capaces de visualizar objetos en tres dimensiones (3D) y percibir cómo se verían desde diferentes puntos de vista o cómo se verían si fueran rotados o transformados en el espacio. La mayoría de los niños típicamente han adquirido esta habilidad en la adolescencia con objetos con los que están familiarizados a partir de sus experiencias de la vida cotidiana. Si el objeto no es familiar, muchos estudiantes en la escuela secundaria o incluso en la universidad llegan a tener dificultades para visualizarlos en esta etapa de desarrollo. Finalmente, en la tercera etapa de desarrollo, las personas pueden visualizar los conceptos de área, volumen, distancia, traslación, rotación y reflexión. Dentro de esta, una persona puede combinar conceptos de medición con sus habilidades proyectivas.

De acuerdo con Alderete (1983) los niños hasta los nueve o diez años consiguen establecer correctamente las relaciones de semejanza y proporción, la medición de las distancias y la consideración simultánea de todas las relaciones del plano. A partir de los once años, el niño puede dejar de utilizar como referencia las coordenadas naturales que le proporciona la experiencia, para servirse de coordenadas convencionales abstractas; son, por tanto, las operaciones formales las que capacitan al niño para comprender los mapas y ejes coordenados abstractos que le pide el trabajo escolar.

2.1.2 Imagen mental

El autor Romero (2020) señala que la imagen mental juega un papel importante en una variedad de actividades cognitivas como el aprendizaje, la memoria, el razonamiento y la resolución de problemas, para Tamayo (2014) es un término que hace referencia a las representaciones mentales que dan la experiencia de percepción sin la presencia de un estímulo

sensorial aferente, por lo cual podemos considerarlo un fenómeno subjetivo. Los procesos para la constitución de imágenes mentales (representaciones mentales) obedecen a varios canales no solo el visual, sino también por medio de los sentidos como el olfato, oído, entre otros. El cerebro humano elabora una imagen correspondiente a cada estímulo, que puede o no estar sujeto a lo que ocurre en la realidad (Romero, 2020).

2.1.2.1 Imágenes mentales en relación con las habilidades espaciales.

De acuerdo con Romero (2020) las habilidades espaciales han sido caracterizadas en tres enfoques principales; el primero está orientado en la percepción y posición espacial de su propio cuerpo, el segundo está relacionado con la rotación o giro mental de un objeto 2D y 3D hasta que tenga una posición determinada, y, por último, está la solución de problemas relacionados con el manejo de información viso espacial.

Las imágenes mentales generadas a partir de estímulos visuales tienen un papel importante en la presente investigación, pues es la base de la mayoría de los ejercicios propuestos en el ambiente virtual de aprendizaje, cuyo propósito es apoyar las distintas rutinas de entrenamiento y encontrar los diferentes efectos entre los participantes.

2.1.2.1 Rotación mental (RM)

Los primeros en hablar sobre rotación mental fueron Shepard y Metzler (1971) la definieron como: La habilidad que tiene un individuo para rotar representaciones mentales de objetos multidimensionales. Los conceptos más actuales la definen como, la habilidad espacial que tiene un individuo para rotar mentalmente un objeto e identificar sus rasgos tridimensionales (Chang, 2018). Esta habilidad permite medir la velocidad y precisión de rotación de la representación mental de objetos 2D o 3D (Yu, 2020), dado que las relaciones espaciales de los objetos permanecen sin cambios en el espacio físico (Shepard y Metzler, 1971). Asimismo, Tamayo

(2014) lo define como un proceso que consiste en girar objetos externos mentalmente para predecir el movimiento o siguiente estado del cuerpo. Por su parte, Patiño (2019) define la rotación mental como un proceso cognitivo, el cual otorga al individuo la capacidad de realizar giro y rotación de las imágenes y ubicar un objeto desde diferentes perspectivas por medio de la mente. Asimismo, para desarrollar la RM Newcombe y Learmonth (2009) afirman que la rotación mental es susceptible de potenciarse a medida que los participantes utilicen un instrumento de entrenamiento, pues este le permitirá ejercitar y encontrar diferentes soluciones que reducen el tiempo de ejecución de la tarea.

2.1.2.2 Rotación de figuras

La rotación de figuras es un movimiento que realiza un objeto en base a un punto específico; la forma, tamaño y medida de sus lados no cambian, lo único que cambia es su posición vertical y horizontal (Romero, 2020). En este sentido, en dicho proceso se pueden rotar las figuras en función de un marco de referencia basado en ángulos donde se manipula la posición sin que esto tenga un impacto de sus dimensiones.

2.1.2.3 Figuras semejantes

Las figuras semejantes hacen referencia a representaciones de objetos que sufren cambios en los ángulos de orientación sin que esto afecte su lateralidad. Los autores Guacaneme, Andrade, Perry y Fernández (2003) indican que el reconocimiento de figuras semejantes es un ejercicio que no requiere mayor exigencia, ya que es una habilidad que se construye desde los primeros años de escolaridad porque los estudiantes tienen que realizar representaciones gráficas continuamente para ejemplificar o demostrar sus conocimientos. Desde ese punto de vista, las figuras semejantes reflejan una tarea de representación cotidiana, que se fortalece durante cada etapa de la vida, como consecuencia de las actividades que se llevan a diario (Romero, 2020).

2.1.2.4 Figuras simétricas

En contraposición con las figuras semejantes, las figuras simétricas tienen un impacto en la lateralidad del objeto. En otras palabras, las figuras o cuerpos simétricos cuentan con la particularidad de tener todos sus elementos a igual distancia respecto a un eje o punto, pero en direcciones opuestas (Estrada, Estrada, Santana, & Llópiz, 2009). A modo de ejemplo, se tiene un objeto y se coloca un espejo frente a dicha figura, el reflejo de la figura corresponde en términos de medidas a la figura original, no obstante, su ángulo horizontal se ha modificado 180 grados. Por lo que la figura ya no es la misma. En síntesis, todas las representaciones simétricas de cualquier figura están modificadas 180 grados con respecto a la figura de referencia. Este tipo de figuras se denominan imagen simétrica o en espejo (Shepard y Metzler, 1971).

2.1.2.5 Mental Rotations Test (MRT)

Una prueba de rotación mental (MRT) le supone al participante comparar dos objetos tridimensionales y establecer si son los mismos o no. Esta prueba fue creada por los investigadores Vandenberg y Kuse (1978). La prueba MRT requiere un alto nivel de desarrollo en la habilidad de rotación mental, puesto que, dichas tareas tienen un corto periodo de tiempo para su ejecución y el participante debe seleccionar con la mayor agilidad posible la que a su parecer sea la respuesta correcta.

De acuerdo con Romero (2020) el proceso de ejecución de la prueba MRT es el siguiente: Esta prueba trabaja con tres tipos de ejercicios; el primero pretende encontrar el estado rotacional de una figura inicial respetando su forma y tamaño; el segundo busca identificar características iguales entre dos figuras, manteniendo su forma; y el último identifica la figura simétrica de un objeto inicial, el cual mantiene su forma y tamaño, pero cambia su lateralidad.

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizó una prueba de rotaciones mentales de

Vandenberg & Kuse redibujada: diferentes versiones y factores que afectan el rendimiento. Cerebro y cognición. La cual es clasificada como MRT-A en esta prueba se cuenta con el conjunto de figuras estándar, con cifras de estímulo redibujadas a partir del conjunto original de Vandenberg & Kuse. Dicha prueba, cuenta con 24 conjuntos de problemas e implica una rotación mental alrededor del eje vertical únicamente, por lo cual el nivel de dificultad es relativamente bajo en comparación con las versiones modificadas MRT-C y MRT-D, las cuales cuentan con otras modificaciones que incrementan su dificultad. No obstante, la prueba MRT-A es apropiada para la medición de la habilidad de rotación mental. La aplicación de la prueba consta de tres momentos; en el primero, cuya duración es de tres minutos los participantes deben desarrollar 12 ejercicios; en un segundo momento, cuya duración es de un minuto, los participantes deben voltear la prueba y descansar la mente; por último, en un tercer momento, cuya duración es de tres minutos, los participantes deben desarrollar los 12 ejercicios restantes.

2.1.3 Logro de aprendizaje

El logro de aprendizaje representa los efectos luego de finalizar un proceso de aprendizaje en cualquier actividad académica; dichas actividades pueden incluir acciones como la asistencia a clases, desarrollo de tareas, participación en debates en el aula o en grupos de estudio e incluso realizar indagaciones o proyectos. Lo anterior, guarda relación con un proceso de entrenamiento de la habilidad cognitiva de rotación mental, cuando un sujeto finaliza determinado número de sesiones y se desea comprobar el resultado del proceso. En este sentido, el logro de aprendizaje se mide con relación a lo que se obtuvo al finalizar el proceso, se considera como la realización de mediano o largo plazo para alcanzar un objetivo en la educación (Wood, Bruner, & Ross, 1976).

El logro de aprendizaje es un proceso acumulativo y progresivo, lo que significa que no se puede lograr en un período corto, ya que los resultados del aprendizaje se pueden medir por el rendimiento académico (Romero, 2020). Por ejemplo, si un estudiante obtiene una buena calificación en un examen o completa un curso con éxito, se puede decir que ha logrado un buen logro académico. El rendimiento académico, es la expresión de capacidades y de características psicológicas del estudiante, desarrollado y actualizado a través del proceso de enseñanza-aprendizaje, que posibilita obtener un nivel de funcionamiento y logros académicos a lo largo de un período, los cuales se sintetizan un calificativo final que evalúa el nivel alcanzado (Chadwick, 1979). Por tanto, es claro que el aprendizaje es el resultado de un plan integral que puede medir el rendimiento académico y la actitud de los estudiantes (González, 2003).

2.1.4 Ambiente virtual de aprendizaje

Se entiende por Ambiente Virtual de Aprendizaje (AVA) la relación pedagógica y telemática que establece un usuario con conjuntos de elementos instruccionales, tutoriales y tecnológicos que le posibilitan construir, adquirir y modificar su conocimiento y sus estructuras de conocimiento de manera autónoma y flexible (Merchán & Salazar, 2004). Estos entornos se caracterizan por estar disponibles en la red y son utilizados para complementar la educación presencial o impartir la totalidad de un plan de estudios, permitiendo a un estudiante acceder a materiales educativos como vídeos ilustrativos, bancos de ejercicios, exámenes, etc.

De acuerdo con Merchán y Salazar (2004) los Ambiente Virtuales de Aprendizaje brindan una relación pedagógica que establece un conjunto de acciones intencionadas y procesuales que la caracterizan como acto educativo tendiente a la formación, y que se establecen de manera sincrónica y/o asincrónica mediante el uso de herramientas telemáticas, lo cual le otorga el sentido de virtualidad al ambiente, en cuanto los sujetos se presentan en un estado de

inmaterialidad, acorporalidad y atemporalidad que genera nuevas formas de comunicación e interacción personal entre los individuos e incluso con los conocimientos y los materiales.

El éxito en el aprendizaje en ambientes de aprendizaje está influenciado por diversos factores, tales como la interacción social entre con sus compañeros y profesores; al igual que la presentación de los contenidos educativos y el uso de tecnologías. También juega un papel importante la mediación del docente como guía en el proceso de formación (Ávila, 1999). Por lo tanto, es imprescindible reconocer el uso de tecnologías (dispositivos) para reproducir e interactuar con los contenidos multimediales, ya que estos han logrado potenciar el entorno escolar tradicional, favoreciendo los procesos comunicativos entre el profesor, estudiante, contenidos educativos y medios de información (Pinzón & Hederich, 2008).

2.1.5 Percepción háptica

La percepción háptica definida por Leo (2022) es la capacidad de experimentar y reconocer objetos externos a través del sentido del tacto. Este proceso es posible gracias a la integración de entradas de receptores cutáneos y cinestésicos incrustados en los músculos, articulaciones y tendones. En este sentido, el autor indica que este sistema de percepción hace a los seres humanos muy hábiles en la caracterización e identificación de objetos sin un estímulo visual. A modo de ejemplo, una persona puede identificar con alta precisión objetos con la luz apagada teniendo en cuenta su forma y las disposiciones de los contornos.

En el estudio de Klatzky, Lederman, & Metzler (1985) se pone en evidencia la capacidad del sistema háptico para reconocer objetos presenta una precisión de cerca del 100% cuando se trata de percibir objetos tridimensionales conocidos. Por lo tanto, en la presente investigación se hace uso de este amplio canal de información para el desarrollo de las intervenciones, teniendo en cuenta su algo margen de precisión.

2.1.6 Las interfaces de usuario

Una interfaz de usuario (IU) hace referencia a la manera en que una persona interactúa con una aplicación, juego o dispositivo, entre otros. En el momento que se diseñan, se tienen en cuenta parámetros que faciliten el uso del producto, generalmente se busca que tenga fácil acceso a las diferentes funcionalidades y cuente con controles virtuales o físicos, o ambos (teclados, pantallas, lápices, etc.), que permitan una manipulación óptima.

En el marco de las interfaces, se encuentran las de tipo virtual, en este grupo se encuentran las aplicaciones móviles, videojuegos, aplicaciones de realidad virtual y cualquier elemento que cuente con una pantalla, permitiendo al usuario una navegación por cada sección que incluya; aunque se manipulen en algunos casos por medio de periféricos, sus disposiciones están diseñadas para operar sobre la interfaz virtual.

Además de las interfaces de usuario virtuales como los videojuegos, la realidad virtual y la realidad aumentada, las interfaces de usuario tangibles (TUI) son una herramienta alternativa para el desarrollo de habilidades espaciales, el trabajo con este tipo de interfaces se centra en presentar datos por medio de la manipulación de objetos físicos, permitiendo al usuario interactuar de una manera directa con los estímulos. La construcción de sistemas basados en bloques son fundamentalmente una (TUI), por lo que proporciona una ruta interesante para investigar y entrenar habilidades espaciales (Yu, 2020).

Para Yu, y otros (2022) existen dos maneras en las que se utilizan los cubos para el entrenamiento de habilidades espaciales, en la primera, se denomina juego libre, estas tareas son más de exploración, donde los participantes construyen cualquier modelo sin tener un referente. En el segundo caso, recibe el nombre de construcción estructurada, los participantes construyen una figura de acuerdo con un modelo; ambos casos permiten el desarrollo de diferentes habilidades cognitivas, el primer método invoca la imaginación y la creatividad de un individuo

para desarrollar relaciones integrales sin ningún tipo de pistas, mientras que el segundo método requiere la capacidad de comprender y recordar una relación espacial dada para construir un modelo predefinido. Además, el juego de bloques estructurado se puede utilizar para desarrollar habilidades espaciales en muchos aspectos, como la relación parte-todo, simetría, equilibrio, transformación, medición, etc. Se encuentran investigaciones como las de Newman, Hansen y Arianna (2016) donde se demuestra que el entrenamiento con juegos basados en bloques mejora tanto el rendimiento conductual como la activación cerebral relacionada con el procesamiento espacial, según lo medido por imágenes de resonancia magnética funcional.

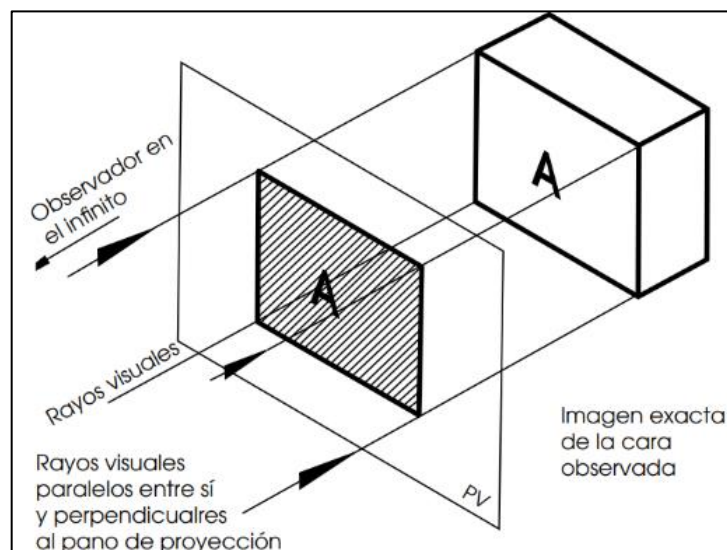
2.1.8 Razonamiento espacial

De acuerdo con Díaz y Garzón (2014), las competencias de rotación mental están relacionadas con las competencias del razonamiento espacial porque ambas implican la capacidad para realizar operaciones mentales que involucren la manipulación y representación de objetos en el espacio. En particular, el razonamiento espacial se refiere a la habilidad de comprender y manipular conceptos espaciales, mientras que la rotación mental se refiere a la capacidad de girar mentalmente objetos en el espacio para visualizar cómo se verían desde diferentes perspectivas. En otras palabras, la rotación mental es una tarea que implica el razonamiento espacial, que se refiere a la capacidad de imaginar mentalmente cómo se vería un objeto a medida que gira en el espacio. Por ejemplo, si a un sujeto se le muestra un cubo desde un cierto ángulo y se le pide que imagine cómo se vería si lo girara 90 grados, realizaría una tarea de rotación mental. La rotación mental es una habilidad importante porque nos permite comprender cómo se verá un objeto desde diferentes ángulos y cómo manipularlo en el espacio. Esta habilidad está relacionada con el razonamiento espacial general y es fundamental para tareas que requieren manipulación mental de objetos en el espacio, como resolver problemas matemáticos o construir objetos en 3D.

2.1.8.1 Proyección ortogonal

Para Romero (2020) la proyección ortogonal es un método de representación gráfica, más específicamente en la métrica cilíndrica u ortogonal que se constituyen en una representación visual de un objeto con profundidad. Otros autores como Estrada, Estrada, Santana y Llopiz (2009) definen la proyección ortogonal como la imagen que se produce al observar un objeto a través de un plano de proyección mirando desde el infinito y en dirección perpendicular al plano de proyección. En la *figura 1* se observa el proceso de representación de un objeto isométrico que ha sido proyectado ortogonalmente en el plano vertical; la sombra proyectada es perpendicular al plano de proyección. En resumen, la proyección ortogonal se refiere a una técnica de dibujo, en la cual se puede representar una de las caras de un objeto tridimensional en un gráfico de dos dimensiones.

Figura 1. Proyección ortogonal de un objeto representado en el plano vertical.



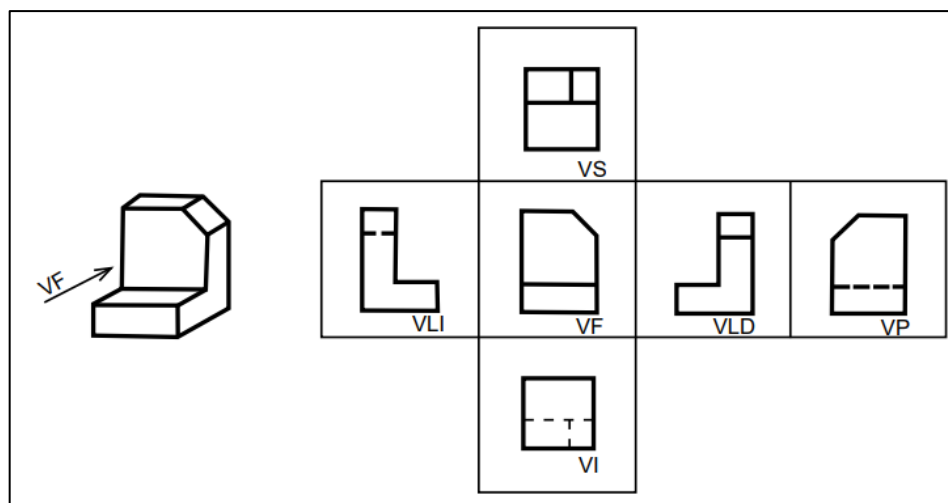
Nota. Adaptado de Dibujo Técnico 1 (p. 109), por J. Estrada, 2009, Compiladores

2.1.8.2 Sistema diédrico

El sistema diédrico tiene relación directa con las proyecciones ortogonales, pues permite la representación de todas las vistas de un objeto tridimensional en diferentes ángulos. El objeto se representa en una proyección en planta, una proyección en alzado y una proyección en perspectiva. Por medio de estas tres perspectivas se logra una representación completa del objeto, por este motivo, es un método muy utilizado en el dibujo técnico. En el sistema diédrico, se realizan proyecciones ortogonales, pero cada proyección representa un eje específico y permite al espectador comprender la forma completa del objeto y el movimiento que lo sigue en tres dimensiones.

De acuerdo con Romero (2020) todo objeto ubicado en el espacio contiene 6 caras o vistas como se denominan en la isometría. En la *figura 2* se pueden identificar las tres más importantes: la primera es conocida como vista lateral o plano vertical (PV), la segunda muestra vista frontal o vista lateral (VLI), y la tercera y última representa vista superior o plano horizontal (PH).

Figura 2. Representación plegada del sistema diédrico de un objeto



Nota. Adaptado de Dibujo Técnico 1 (p. 113), por J. Estrada, 2009, Compiladores

En la *figura 2* se puede observar una representación plegada del objeto que está a la izquierda, dicha representación se basa en el sistema americano o Tercer Diedro, debido a que utiliza el tercer cuadrante como base de sus proyecciones. De acuerdo con Estrada (2009) el ángulo diedro se considera transparente al mirar el objeto a través de los dos planos se tienen las respectivas proyecciones. Dicho sistema establece una determinada posición de las vistas que le es exclusiva. Este sistema es el más adoptado por el sistema de vistas

2.1.7 Estrategia didáctica para la enseñanza

Para el desarrollo de cada módulo del ambiente de aprendizaje fue necesario contar con una estrategia que facilitara la adquisición y aplicación de los conceptos. Teniendo en cuenta esto, se adoptó modelo pedagógico conceptual cuya secuencia didáctica facilitó el desarrollo de las lecciones en los ambientes de aprendizaje, Erazo y Ospina (2013) la explican la secuencia didáctica de la siguiente manera:

- Etapa de Inicio: Esta etapa cuenta con dos fases, Motivación y Encuadre.
 - Motivación: Tiene como propósito vincular al estudiante con el aprendizaje afectivo, argumentando la necesidad de poderlo utilizar. En esta fase se muestra la necesidad de la destreza y propósito de esta por medio de preguntas afectivas (retroalimentación afectiva).
 - Encuadre: Tiene como propósito disponer el ambiente propicio para el alcance del propósito. Se muestran las reglas, los roles y los productos esperados y se hace por medio de preguntas actitudinales (retroalimentación actitudinal).
- Etapa de comprensión que respalda la destreza: Esta etapa cuenta con dos fases, Enunciación y Modelación.

- Enunciación: Tiene como propósito explicar y apropiar a los estudiantes de los instrumentos de conocimiento necesarios para la competencia y se hace por medio de preguntas nocionales, conceptuales o argumentales, aclaraciones y síntesis de las nociones, conceptos o argumentaciones.
- Modelación: El propósito es lograr que los estudiantes comprendan y aprendan la forma de realizar la competencia. Se enseñan procedimientos aplicados a una situación y se hace por medio de preguntas procedimentales, aclaraciones y síntesis sobre el procedimiento.
- Etapa de desarrollo de la destreza: Esta etapa cuenta con dos fases, Simulación y ejercitación.
 - Simulación: el propósito de esta fase es concienciar a los estudiantes de sus aciertos y errores en la aplicación de la estrategia para facilitar el desarrollo de esta. Se hace por medio de consejos de calidad en la aplicación de la estrategia por medio de preguntas reflexivas-corrección, o estímulo de aprobación.
 - Ejercitación: El propósito es generar y regular un ambiente que facilite el desarrollo autónomo de la estrategia.
- Cierre: esta etapa cuenta con dos fases, demostración y síntesis y conclusión.
 - Demostración: El propósito es generar y regular un ambiente que facilite el desarrollo autónomo pero concienzudo de la estrategia, asumiendo una actitud de autoexigencia y rigor.
 - Síntesis y conclusión: el propósito es sintetizar, las actitudes y acciones que determinaron la utilización de las enseñanzas, evaluando la calidad del producto para garantizar la transferencia. Se hace por medio de un resumen de procedimientos y conclusiones.

2.2 Estado del arte de la investigación

En la elaboración de este estado del arte se efectuó una revisión de la información relacionada con el problema en cuestión, con el objetivo de recopilar la información más actual y relevante sobre el tema de investigación. Para desarrollar esta tarea, se usaron diferentes referentes, tomados de bases de datos de revistas indexadas, libros, conferencias, informes y trabajos de tesis con enfoque investigativo. Se han consultado una amplia variedad de fuentes y se han seleccionado las más acordes con el problema de investigación. A continuación, se describen los elementos más importantes de cada fuente consultada:

2.2.1 Antecedentes referentes al uso de interfaces hápticas para mejorar la habilidad de rotación mental

Los autores Gleeson y Provancher (2013) centraron su investigación en una interfaz háptica diseñada para la mano, la cual ofrecía información táctil de tipo direccional. En dicha investigación se realizaron tres experimentos que se describen a continuación:

1. Interpretación intuitiva de los usuarios sobre los estímulos rotados.
2. Rotación mental de los estímulos hápticos sobre un solo eje.
3. Estímulos hápticos sobre varios ejes y efectos de la mano específica, poses y rotaciones articulares.

En los tres experimentos, participaron quince voluntarios, diez fueron hombres y cinco mujeres, con una edad media de 25,9 años. Dos participantes escribían con la mano izquierda y los demás con la mano derecha. Los investigadores llegaron a la conclusión de que los estímulos hápticos son adecuados para el uso de aplicaciones móviles o portátiles. No obstante, se debe tener en cuenta que los estímulos rotados no son interpretados de manera natural, ni universal por los participantes, por lo tanto, es necesario incrementar el tiempo de entrenamiento.

Los resultados de este estudio tienen gran importancia en el campo de investigación de la rotación mental, ya que proporciona información sobre el uso de interfaces hápticas para mejorar las habilidades espaciales. Esto indica que los estímulos hápticos son adecuados para el uso en aplicaciones móviles o portátiles, pero se requiere un mayor tiempo de entrenamiento para que los estímulos rotados sean interpretados de manera natural y universal por los participantes.

Otra investigación relacionada, llevada a cabo por Frick, Hansen y Newcombe (2013) se evaluó la habilidad de rotación mental en niños menores de cinco años, en este caso el experimento se basó en un rompecabezas que les permitió a los participantes interactuar con diferentes figuras y manipularlas en diferentes orientaciones para cumplir una serie de retos. Dentro de los retos se encontraba una comparación de actividades con elementos bidimensionales frente a otros tridimensionales. En la experimentación participaron 20 niños (10 niñas), divididos en tres grupos conformados a partir de la edad (tres, cuatro y cinco años). Las investigadoras demostraron que existe una clara tendencia de desarrollo con un aumento considerable en las habilidades de rotación mental entre los 3 y 5 años (Frick, Hansen, & Newcombe, 2013).

Los hallazgos mostraron que existe una clara tendencia de desarrollo en las habilidades de rotación mental entre los 3 y 5 años. Este estudio es importante en el campo de investigación de la rotación mental ya que proporciona información sobre el desarrollo de esta habilidad en niños menores de cinco años y su relación con la interacción con objetos tridimensionales.

Continuando en trabajos basados en la manipulación de objetos, en un estudio realizado por Jamie y Newcombe (2015) se investigó el vínculo entre las experiencias de juego y el rendimiento espacial en una muestra amplia y diversa, tomando en cuenta la capacidad cognitiva general. Se reclutaron a 1100 participantes con edades entre 4 y 7 años, con una edad promedio de 5.48 años y una desviación estándar de 0.95. Los participantes realizaron ejercicios prácticos con rompecabezas, bloques y juegos de mesa. Los resultados mostraron que los niños obtuvieron

mejores puntajes que las niñas, además, los niños de familias de mayor nivel socioeconómico obtuvieron mejores resultados que los de familias de menor nivel socioeconómico. Los investigadores también confirmaron que el juego espacial se relaciona positivamente con la habilidad espacial, siempre y cuando se controlen otros aspectos de la habilidad.

Este estudio tiene una importancia significativa en el campo de investigación de la rotación mental, dado que proporciona una evidencia empírica del vínculo entre las experiencias de juego y el rendimiento espacial en una muestra amplia y diversa, lo que permite inferir que el juego puede ser una herramienta efectiva para mejorar la habilidad espacial en niños. Además, el estudio muestra la relación entre el nivel socioeconómico y el rendimiento espacial, proporcionando una comprensión más profunda de las diferencias en el rendimiento espacial entre grupos socioeconómicos diferentes. En general, este estudio aporta una evidencia importante para el desarrollo de programas y herramientas de juego para mejorar la habilidad espacial en niños.

Otros escritores del tema, como lo son Carne y Antolí (2015) desarrollaron una investigación donde por medio del uso de la robótica educativa querían comprobar el desarrollo de habilidades espaciales en estudiantes de 12 años. Para lograr ese objetivo, diseñaron un curso de robótica para alumnos de sexto grado, se dividieron en dos grupos, el primero, grupo experimental (GE) y el segundo, grupo control (GC). En GE los participantes tomaron un curso sobre robótica educativa y GC no recibió el curso. Se llevaron a cabo pretest y posttest para los dos grupos. Los resultados mostraron que los cambios positivos en las habilidades espaciales de los participantes del curso de robótica (GE) fueron mayores que los cambios aparentes en los estudiantes que no tomaron el curso (CG). Esta mejora fue estadísticamente significativa. Los resultados también mostraron que el desempeño general de los estudiantes dependía de las herramientas utilizadas para evaluar sus habilidades espaciales.

Los resultados proporcionan evidencia de que la robótica educativa puede ser una herramienta eficaz para mejorar las habilidades espaciales en estudiantes jóvenes. Además, el estudio también sugiere que el desempeño general depende de las herramientas utilizadas para evaluar las habilidades espaciales. Esto es importante porque sugiere que diferentes métodos de evaluación podrían tener un impacto en la medición de las habilidades espaciales y, por lo tanto, en la comprensión de cómo se desarrollan estas habilidades en estudiantes jóvenes.

Continuando con el uso de robots para el desarrollo de habilidades espaciales, Brainin, Shamir y Eden (2021) se enfocaron su investigación en examinar la contribución de un robot programable en una experimentación para promover la habilidad espacial (relaciones espaciales, memoria visual, rotación mental) de niños en edad preescolar. (Brainin, 2021). La muestra fue de 84 niños con edades entre los 5 y 7 años (39 niños y 45 niñas), que fueron distribuidos en 3 grupos definidos como: Robots programables, intervención tradicional, grupo de control, cada grupo contó con 28 integrantes.

El estudio constó de tres fases: pretest, intervención y postest. Durante pretest, se evaluó individualmente a cada niño en un ambiente tranquilo, utilizando pruebas de habilidades espaciales, memoria visual y rotación mental. La fase de intervención consistió en 10 sesiones en parejas para los niños del grupo experimental (con y sin robot programable) cada sesión tenía una duración de 30 minutos. El grupo de control continuó con sus actividades regulares en el jardín de infancia. Finalmente, en el postest, se volvieron a aplicar las mismas pruebas de evaluación utilizadas en la fase previa a la intervención a todos los niños individualmente.

Los autores concluyeron que la intervención del robot programable mostró una mejora significativamente mayor en las relaciones espaciales y la rotación mental en comparación con la intervención tradicional y el grupo de control. No obstante, los autores manifestaron que el robot no contribuyó de manera significativa a mejorar la memoria visual.

Estas evidencias, tienen gran importancia en el campo de la investigación de la rotación mental dado que proporciona evidencia empírica sobre la efectividad de utilizar robots programables como herramienta de intervención para mejorar las habilidades espaciales en niños. El hecho de que se haya encontrado una mejora significativamente mayor en las relaciones espaciales y la rotación mental en comparación con una intervención tradicional sugiere que esta tecnología puede ser una herramienta valiosa para la promoción de habilidades espaciales en esta población. Sin embargo, también es importante señalar que los resultados del estudio sugieren que el robot no tuvo un impacto significativo en la mejora de la memoria visual, lo que sugiere que es necesaria una investigación adicional en este ámbito para determinar el alcance y las limitaciones de esta tecnología en el desarrollo de habilidades espaciales en niños.

En esta misma línea, en un estudio creado por Yu, Liu, Zhang, Zhao, Yu y Shi (2020) trabajaron en un robot que permitiera potenciar las habilidades espaciales de los participantes. Para lograr dicha meta, utilizaron robots modulares que permitían cambiar su forma y funcionalidad, para adaptarse a diferentes entornos y situaciones.

Para la experimentación, veinticuatro voluntarios con agudeza visual y auditiva normal o corregida a normal participaron en este estudio de usuarios. La edad promedio de los participantes fue de 24 años. Ningún participante tenía experiencia en la interacción o el uso de los robots reconfigurables o similares.

Entre los resultados más destacados, se encontró que el uso de los robots tiene una relación positiva significativa con la rotación mental, una medida de capacidad espacial, ampliamente utilizada; en segundo lugar, se encontró que la interacción con los robots estimula efectivamente el desempeño de tareas relacionadas con las habilidades de razonamiento espacial de acuerdo con información entregada por datos capturados por medio de electroencefalogramas.

Los hallazgos de este estudio tienen gran importancia en el campo de investigación de la rotación mental, ya que proporciona una nueva herramienta tecnológica para mejorar las habilidades espaciales. El uso de robots modulares permitió adaptar la forma y funcionalidad de los robots a diferentes entornos y situaciones, lo que permitió obtener resultados positivos en la relación entre el uso de los robots y la rotación mental. Además, se encontró que la interacción con los robots estimula efectivamente el desempeño de tareas relacionadas con las habilidades de razonamiento espacial, lo que permite obtener una mayor comprensión de cómo la tecnología puede ser utilizada para mejorar el rendimiento en tareas relacionadas con la rotación mental.

Otra tecnología que brindó buenos resultados proviene del estudio desarrollado por Fabrizio Leo, Julio Sandini, Alessandra Sciutti (2022) en el cual desarrollaron un dispositivo háptico llamado iCube, el cual cuenta con diferentes sensores que le permiten medir variables como: orientación en el espacio, así como la ubicación de los puntos de contacto en sus caras. Los participantes por medio de unos puntos que fueron puestos en las caras del cubo tenían que explorar las características y cumplir diferentes actividades. En el experimento participaron 20 personas (10 hombres y 10 mujeres con una edad promedio de 29.9 ± 4.6 DS). Los resultados mostraron que las puntuaciones MRT más altas se asociaron con un mejor desempeño en la tarea con iCube, tanto en términos de precisión como de velocidad de exploración, y se identificaron estrategias de exploración asociadas con un mejor desempeño (Leo, 2022).

En conjunto, los hallazgos del estudio proporcionan información valiosa sobre cómo la interacción con el dispositivo háptico iCube afecta el rendimiento en tareas relacionadas con la rotación mental. Esto tiene implicaciones importantes para el campo de la investigación de la rotación mental, ya que sugiere que este tipo de herramientas tecnológicas pueden ser utilizadas para mejorar las habilidades espaciales y potenciar el razonamiento espacial en diferentes grupos de población.

Para finalizar, en un estudio más profundo, Schlegel, Konuthula, Alexander, Blackwood y Tse (2016) investigaron por medio del análisis de neuroimagen las áreas de activación del cerebro mientras desarrollaban actividades de rotación mental y rotación de figuras físicas, para determinar el papel de la red motora durante la ejecución de dicha habilidad espacial. En su experimento, los investigadores efectuaron una variación de la prueba clásica de Shepard y Metzler (1971), en dicha prueba se compararon los efectos por medio de resonancias magnéticas en cada uno de los procedimientos. La muestra que se tuvo para la investigación fue de 24 participantes diestros (11 mujeres y 13 hombres, con una media de edad de 21 años). Los resultados permitieron evidenciar que, la red motora apoyó el procesamiento de información relacionada con la rotación mental. Schlegel, y otros (2016) encontraron que la red motora apoyó un procesamiento de información robusto relacionado directamente a la rotación mental y que este procesamiento se integró dinámicamente con una red neuronal distribuida por toda la corteza subyacente al espacio de trabajo mental. Estos hallazgos apoyan un modelo del espacio de trabajo mental como consistente en una red central flexible que puede dinámicamente contratar subredes específicas de dominio para funciones específicas, al igual que un contratista general emplearía especialistas según sea necesario para trabajos específicos.

De acuerdo con lo anterior, los autores hacen hincapié en cómo el experimento tuvo un impacto directo sobre los paradigmas tradicionales, acerca de las regiones cerebrales que intervienen cuando desarrollan ciertas tareas, en otras palabras Schlegel (2016) señala que el procesamiento de la información que favorece la rotación mental implica una ruptura de la modularidad anatómica defendida por los modelos tradicionales de memoria que se derivan de métodos de localización funcional que simplemente miden los niveles medios de la señal BOLD (Blood Oxygenation Level Dependent) de forma aislada y no son sensibles a los patrones distribuidos de procesamiento de la información.

El estudio mencionado es importante en el campo de la investigación de la rotación mental debido a que proporciona información valiosa sobre las áreas de activación del cerebro durante tareas de rotación mental y rotación de figuras físicas. El estudio utilizó técnicas de neuroimagen para comparar los efectos de las tareas en el cerebro de los participantes, y encontró que la red motora apoyó el procesamiento de información relacionado con la rotación mental. Además, los hallazgos apoyan un modelo del espacio de trabajo mental como una red central flexible que puede contratar subredes específicas de dominio para funciones específicas. También señala que estos hallazgos son importantes ya que aportan una nueva perspectiva sobre las regiones cerebrales que intervienen cuando se desarrollan ciertas tareas y rompen con los paradigmas tradicionales de localización funcional.

2.2.2 Antecedentes referentes al uso de interfaces de usuario virtuales para el desarrollo de la habilidad de rotación mental

Los autores Díaz y Garzón (2014) realizaron una intervención educativa basada en realidad virtual (RV) para establecer diferencias en el razonamiento espacial en los diferentes grupos experimentales. La población elegida fueron 76 estudiantes divididos en dos grupos con una edad promedio de 13.5 años. Los investigadores desarrollaron una aplicación que permitía observar diferentes figuras en 3D, así como poder manipularlas. Los resultados más concluyentes de la investigación mostraron que al utilizar realidad aumentada se desarrolla mayor habilidad en el razonamiento espacial, lo que genera más capacidad para realizar operaciones de transformación, decodificación y representación mental de objetos ubicados en el espacio abstracto (Díaz y Garzón, 2014).

Los resultados del estudio sugieren que el uso de realidad virtual mejora la habilidad en el razonamiento espacial, lo que genera una mayor capacidad para realizar operaciones de

transformación, decodificación y representación mental de objetos ubicados en el espacio abstracto. Este estudio es importante en el campo de la investigación de rotación mental, ya que proporciona evidencias de cómo la tecnología de realidad virtual puede ser utilizada para mejorar el razonamiento espacial y la capacidad de rotación mental en los estudiantes.

El estudio realizado por Chang, Heo, Yeh, Han y Li (2018), se convierte en un segundo referente, al tomar en consideración el uso de realidad virtual. En este caso los investigadores examinaron si los diferentes grados de experiencia inmersiva e interactiva marcaron una diferencia en las percepciones de los usuarios y la intención de adoptar un nuevo sistema de entrenamiento de rotación mental basado en realidad virtual (C. Chang et al., 2018). Los investigadores utilizaron la tecnología de la realidad virtual (RV) para el desarrollo de aplicaciones con diferentes niveles de inmersión e interactividad. Asimismo, tuvieron en cuenta la variable sexo para establecer posibles diferencias. Los resultados de la investigación establecieron que: las percepciones positivas de los usuarios y la intención de usar el novedoso sistema de rotación mental se amplificaron cuando se proporcionaron mejores experiencias inmersivas e interactivas simultáneamente, o cuando se ofrecieron al mismo tiempo experiencias inmersivas e interactivas inferiores (Chang, 2018). En cuanto a los resultados por sexo, bajo un marco inmersivo, indican que las mujeres lograron mejores estados de disfrute, confirmación, satisfacción e intención de uso a diferencia de los participantes del sexo masculino. Finalmente, los autores mencionan que la investigación hizo aportes relacionados con la percepción e intención de uso de la tecnología educativa, con un enfoque en realidad virtual.

En general, el estudio realizado por Chang, Heo, Yeh, Han y Li (2018) aporta información valiosa sobre la percepción e intención de uso de la tecnología educativa con un enfoque en realidad virtual. Los hallazgos de esta investigación son valiosos porque respaldan el uso de tecnologías educativas inmersivas e interactivas para mejorar la percepción y la intención de uso

en el ámbito educativo, especialmente en el campo de la rotación mental. Además, el estudio también proporciona una comprensión más profunda de cómo las diferencias de sexo pueden afectar la percepción e intención de uso de estas tecnologías.

En la misma línea, Hernández y Hernández (2017) desarrollaron un videojuego llamado Robot In Troubles donde los participantes tenían que cumplir una serie de retos basados en navegación y tareas específicas, dicho ambiente articuló el desarrollo de habilidades espaciales con la resolución de problemas. Los participantes de la experimentación fueron 217 (87 mujeres y 130 hombres) entre 14 y 18 años. Los resultados de la investigación mostraron que: El ambiente favorece la flexibilidad de pensamiento en un ambiente inmersivo en el que el usuario a través de la experimentación y exploración del entorno entrena las habilidades espaciales (Hernández y Hernández, 2017).

En el estudio, los investigadores incorporaron una variable denominada estilo cognitivo, lo que permitió un análisis más detallado de los grupos. Descubrieron que había diferencias significativas en las interacciones de los participantes clasificados por su estilo cognitivo, con el grupo caracterizado como independiente de campo (IC) mostrando mejores resultados en las habilidades espaciales. Estos hallazgos son valiosos para el presente estudio, ya que respaldan el uso de entornos tecnológicos como herramientas para fomentar el pensamiento creativo y mejorar las habilidades espaciales y la resolución de problemas en tres dimensiones.

Otro estudio que utilizó interfaces virtuales para el entrenamiento de la habilidad cognitiva de la rotación mental fue el que efectuaron Zander, Wetzelb y Bertelb (2016), el cual tenía como objetivo investigar si el uso de una aplicación para rotar objetos por medio de la interfaz de una Tablet mejora el rendimiento de las tareas de rotación mental típicas y si el uso de gestos se asocia con una mayor motivación intrínseca, menos esfuerzo mental y mayor velocidad y eficiencia mental. Los participantes del estudio fueron cincuenta y un estudiantes de tercer grado

de primaria con veinticuatro hombres y veintisiete mujeres con una edad promedio de 9,08 años, divididos en dos grupos, uno con actividades virtuales y otro grupo con actividades en papel dichas actividades fueron alternadas en los grupos. Los resultados del estudio demostraron que las interacciones basadas en el tacto mejoran el rendimiento en las tareas de rotación mental. No obstante, estos resultados sólo aplican para los participantes que primero desarrollaron actividades en papel y luego de manera virtual.

En general, esta investigación, proporciona información valiosa sobre la actividad cerebral durante tareas de rotación mental con estímulos virtuales, y puede ayudar a entender mejor las diferencias en la capacidad de rotación mental entre hombres y mujeres. Esto puede ser de gran utilidad en la investigación ya que proporciona un conocimiento previo sobre el tema y puede ayudar a establecer un contexto para los hallazgos.

El siguiente estudio de Triviño y Velandia (2016) establecieron las diferencias en la actividad cerebral durante tareas de rotación mental con estímulos virtuales, para llevar a cabo esta tarea desarrollaron un software con objetos en 3D basados en el test de rotación mental de Shepard y Metzler (1971), según los autores cada estímulo está conformado por dos figuras tridimensionales iguales o especulares formadas por el mismo número de cubos; su diseño considera elementos como sombra y profundidad, para mejorar la experiencia de percepción . Los participantes de esta investigación fueron 10 (5 mujeres y 5 hombres con una edad promedio de 30.2). Los resultados más destacados según los autores son: Primero, se confirma que en las tareas de rotación mental hay activación del lóbulo parietal tanto en el grupo de hombres como en el de mujeres. Segundo, aunque en general hay diferencias en la actividad eléctrica de hombres y mujeres para todos los ángulos de rotación mental, solamente es significativa esta diferencia para estímulos que tienen ángulos de rotación de 100 grados. Tercero, en el grupo de hombres hay predominancia de la actividad eléctrica en el lóbulo parietal derecho, mientras que

en el grupo de mujeres no existe lateralización. Cuarto, para el grupo de hombres y el grupo de mujeres el ángulo de rotación mental que muestra mayor activación es el de 100° . Finalmente, el grupo de hombres muestra mayor potencial eléctrico en todos los ángulos de rotación mental frente al grupo de mujeres.

Esta investigación es importante debido a que proporciona información sobre estudios anteriores relacionados con la actividad cerebral durante tareas de rotación mental con estímulos virtuales. El estudio mencionado desarrolló un software con objetos en 3D basado en la prueba de rotación mental de Shepard y Metzler, y analizó la actividad cerebral de los participantes durante la ejecución de tareas de rotación mental.

En general, este estudio proporciona información valiosa sobre la actividad cerebral durante tareas de rotación mental con estímulos virtuales, y puede ayudar a entender mejor las diferencias en la capacidad de rotación mental entre hombres y mujeres. Esto puede ser de gran utilidad en la presente investigación ya que permite tener un conocimiento previo sobre el tema y puede ayudar a establecer un contexto más amplio del tema.

En los estudios relacionados con los ambientes de aprendizaje para el desarrollo de habilidades espaciales, se encuentra el que desarrollaron Farzeeha, Omar, Mokhtar y Ali (2017) el cual tuvo como objetivo identificar la eficacia del entorno de aprendizaje virtual en mejorar las habilidades de rotación mental de los estudiantes. Un enfoque cuantitativo fue utilizado y los datos fueron analizados mediante estadísticas descriptivas e inferenciales.

También se investigó el tema de las diferencias de sexo en las habilidades de visualización. Los resultados del estudio indican que existe una mejora significativa en las habilidades de rotación mental de los estudiantes que estaban expuestos al entorno de aprendizaje virtual. Además, se encontró que no existen diferencias significativas entre la capacidad de visualización de los estudiantes masculinos y femeninos, especialmente en la rotación mental.

En conclusión, este estudio sugiere que el uso de cursos en la enseñanza del dibujo de ingeniería puede actuar como un catalizador para mejorar la productividad y la calidad del dibujo de ingeniería. Indicando que el entorno virtual de aprendizaje podría ser una herramienta efectiva para mejorar habilidades mentales en estudiantes.

Para efectos del presente estudio, el trabajo de Farzeeha, Omar, Mokhtar y Ali (2017) es importante en la presente investigación ya que proporciona información importante sobre el tema de los ambientes de aprendizaje virtual y su eficacia en mejorar las habilidades de rotación mental en los estudiantes. El estudio mencionado utilizó un enfoque cuantitativo y analizó tanto las habilidades de rotación mental como las diferencias de sexo en las habilidades de visualización. Los resultados indican que existe una mejora significativa en las habilidades de rotación mental de los estudiantes expuestos al entorno de aprendizaje virtual y no existen diferencias significativas entre la capacidad de visualización de los estudiantes masculinos y femeninos. En conclusión, el estudio sugiere que el uso de entornos virtuales de aprendizaje puede ser una herramienta efectiva para mejorar habilidades mentales en estudiantes.

En la misma línea de investigación, Romero (2020), por medio de un ambiente virtual de aprendizaje basado en la web, logró demostrar el impacto positivo que tienen este tipo de entornos en el desarrollo de habilidades espaciales. En la investigación explica como estos ambientes disminuyen la brecha entre los estudiantes y los conocimientos que requieren, por medio de la interacción y la posibilidad de navegar en los contenidos de manera no lineal y repetir las sesiones.

La investigación consta de un ambiente virtual de aprendizaje donde se buscaba mejorar el resultado del logro en la rotación mental, por medio de un entrenamiento de habilidades basado en la rotación mental. Asimismo, el investigador tuvo en cuenta las variables de sexo y estilo cognitivo. Los participantes de la experimentación fueron 197 estudiantes de secundaria con una

media de edad de 16,42 años de los cuales 99 hombres y 98 mujeres. Los resultados de la investigación demostraron que, implementar el ambiente virtual de aprendizaje «Razonamiento Espacial» si promueve competencias en solución de problemas de rotación mental en la población heterogénea (Romero, 2020).

La investigación mencionada anteriormente, es importante para el presente trabajo ya que proporciona un contexto para su estudio y se pone en evidencia la relación que existen en su objetivo y metodología utilizada. Específicamente, se menciona que se utilizó un ambiente virtual de aprendizaje para mejorar el resultado del logro en la rotación mental, y que se tuvo en cuenta las variables de sexo y estilo cognitivo. También se proporciona información sobre los participantes de la experimentación y los resultados obtenidos, los cuales indican que el ambiente virtual de aprendizaje promueve competencias en solución de problemas de rotación mental en una población heterogénea.

Además de ser una importante referencia para el presente trabajo, el texto mencionado también es relevante para el campo de la educación y la formación ya que proporciona evidencias sobre la eficacia del uso de ambientes virtuales de aprendizaje en mejorar habilidades espaciales, especialmente en lo que se refiere a la rotación mental.

Por último, un estudio que compara el uso de tareas virtuales con las hápticas en el desarrollo de habilidades espaciales se encuentra el realizado por Carlson, y otros (2022), el cual fue desarrollado para el promover el aprendizaje de tareas de montaje. En el experimento contó con 65 participantes que fueron asignados de manera aleatoria en grupos para desarrollar las tareas de entrenamiento. Los grupos fueron asignados como: grupo con tareas hápticas y grupo con tareas virtuales. Se desarrollaron varias tareas de entrenamiento que constaban en desarrollar una serie de rompecabezas con una figura propuesta tanto en la parte virtual como en la parte háptica. Los resultados del experimento demostraron que la capacidad espacial, medida mediante una prueba

de rotación mental, se correlaciona con la cantidad de ensamblajes que pudieron completar en el entrenamiento. Esto significa que, en los dos casos hubo un incremento del desarrollo de las habilidades espaciales, teniendo predominancia el entrenamiento háptico luego de dos semanas de entrenamiento.

En el contexto del presente estudio, la investigación llevada a cabo por Carlson y otros en el año (2022) tiene un papel fundamental. Sus aportes son cruciales ya que demuestran que el uso de tareas hápticas y virtuales son herramientas efectivas para el desarrollo de habilidades espaciales. Entre estas habilidades, destaca la capacidad de rotación mental, la cual se refiere a la habilidad de visualizar mentalmente cómo un objeto se movería al ser rotado en el espacio. Los resultados de esta investigación son importantes ya que proporcionan evidencias sólidas sobre la eficacia de las tareas hápticas y virtuales en el desarrollo de habilidades espaciales, especialmente en lo que se refiere a la rotación mental. Por lo tanto, esta investigación tiene un gran valor para el campo de la educación y la formación, ya que permite implementar estrategias pedagógicas más efectivas para mejorar las habilidades espaciales de los estudiantes.

Capítulo 3. Descripción del ambiente de aprendizaje Mental Cubes Play

Para la presente investigación el ambiente virtual de aprendizaje se desarrolló en una página web, la cual facilita el acceso desde cualquier dispositivo (PC, MAC, Android, iPad, etc.). Esta página fue construida utilizando contenidos propios, los cuales fueron diseñados especialmente para apoyar la solución de problemas de rotación mental en los participantes. La página está disponible en la red con la dirección: <https://mentalcubes.com/>

Dicha página cuenta con diferentes módulos en función del grupo experimental que le corresponde a cada participante, a continuación, se representa la estructura general del ambiente virtual por medio de la siguiente tabla:

Tabla 1. Distribución general del ambiente de aprendizaje mentalcubes.com

Grupo háptico		Grupo Virtual	
Inicio			
Grupo háptico (Practica del material de apoyo)		Grupo Virtual (Practica del material de apoyo)	
Lección 1 – Grupo háptico		Lección 1 – Grupo virtual	
Lección 2 – Grupo háptico		Lección 2 – Grupo virtual	
Lección 3 – Grupo háptico		Lección 3 – Grupo virtual	
Lección 4 – Grupo háptico		Lección 4 – Grupo virtual	
Lección 5 – Grupo háptico		Lección 5 – Grupo virtual	
Lección 6 – Grupo háptico		Lección 6 – Grupo virtual	
Contacto			

Es importante aclarar que las figuras de rotación mental y de proyección ortogonal en 2D y 3D utilizadas en la página, fueron diseñadas bajo la licencia educativa del programa Fusión 360 de Autodesk. Asimismo, se utilizó la plataforma Genially para elaborar las presentaciones y las herramientas de Google para el desarrollo de los videos y cuestionarios. Todos los materiales de entrenamiento fueron incluidos en la página <https://mentalcubes.com/>

3.1 Material de entrenamiento Mental Cubes Play

Mental Cubes Play (MCP) es el nombre de un concepto creado por el investigador, el cual fue diseñado para servir como insumo para la práctica de actividades que favorezcan el logro de aprendizaje de la habilidad cognitiva de rotación mental. En concepto en sí mismo, se basa en un conjunto de cubos que se pueden representar en diferentes entornos, sean físicos o virtuales, con

el propósito de permitir la construcción de figuras tridimensionales. En la presente investigación se desarrollaron dos representaciones de MCP con las cuales los participantes pudieron utilizar en las diferentes intervenciones de acuerdo con el grupo asignado.

3.1.1 Mental Cubes Play para grupo háptico

Para el grupo háptico se desarrolló una versión de Mental Cubes Play Físico (MCPf), el cual se basa en un conjunto de bloques que facilita la manipulación y construcción de figuras tridimensionales. Para crear las figuras se diseñaron varios modelos en el programa Fusión 360, no obstante, el diseño definitivo se puede observar en la *figura 3*. Para la impresión de las figuras se utilizó una impresora 3D de referencia Ender 3 v2, los resultados pueden observarse en la *figura 4*. El objetivo del diseño de estos bloques fue facilitar la conexión de las caras de un cubo 3D con otros del mismo tipo, teniendo en cuenta que cada cubo 3D tiene tres muescas macho y tres muescas hembra las cuales facilitan la conexión de diferentes maneras (ver *figura 5*).

Figura 3. Modelo 3D figura de Mental Cubes Play Físico

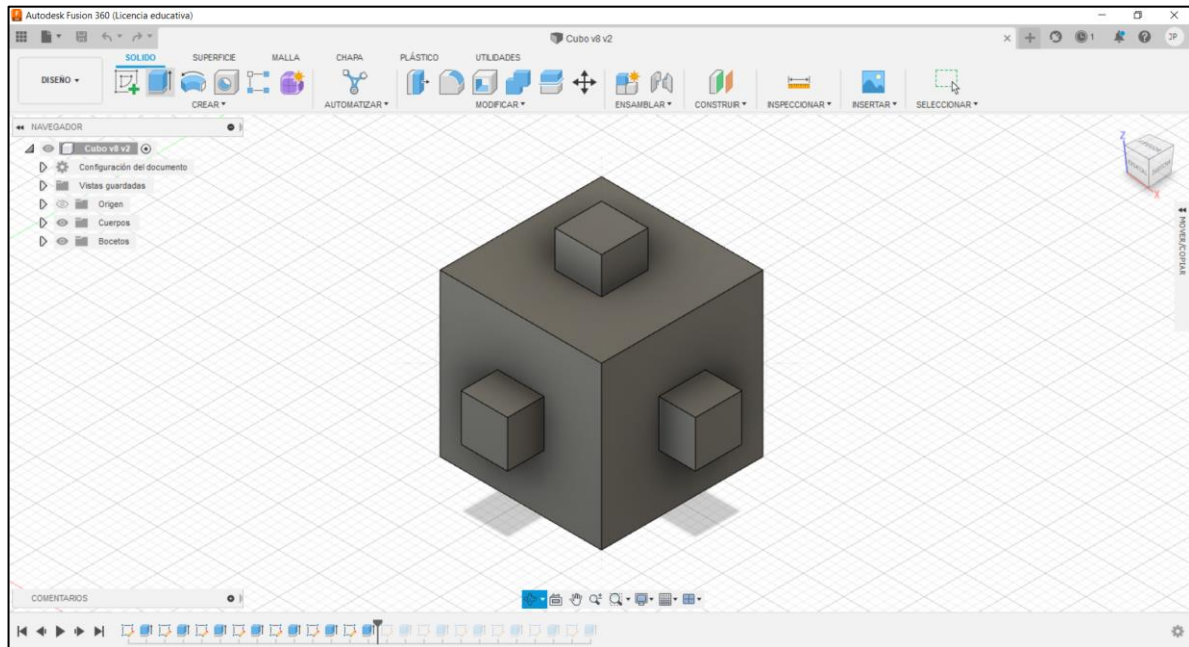
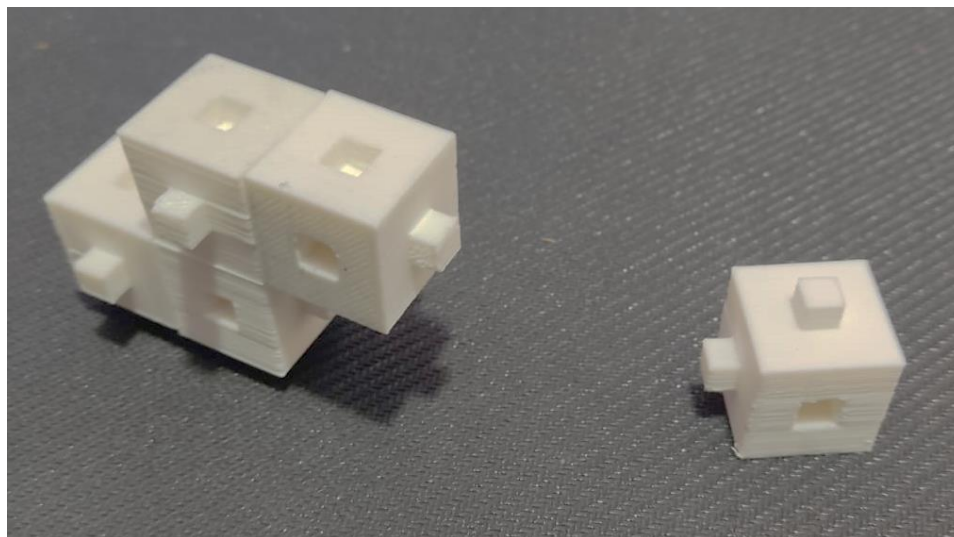


Figura 4. Proceso de impresión de las figuras 3D



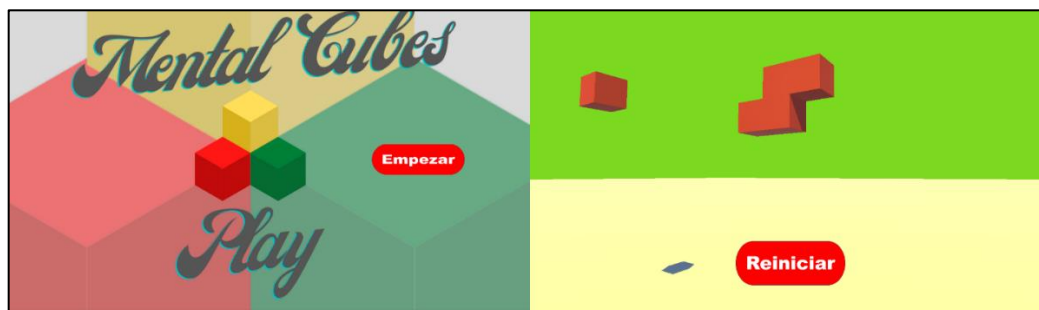
Figura 5. Figuras 3D ensambladas.



3.1.2 Mental Cubes Play para grupo virtual

Para el grupo virtual se desarrolló una versión de Mental Cubes Play Virtual (MCPv), el cual se basa en un conjunto de bloques que facilita la manipulación y construcción de figuras tridimensionales. Para lograr esto, se desarrolló una aplicación 3D por medio del motor de videojuegos Unity en la versión 2020.3.3f1 con una licencia Educativa, el diseño definitivo se puede observar en la *figura 7*. Teniendo en cuenta los equipos disponibles en el lugar de aplicación de la presente investigación, MCPv fue diseñado para operar por medio del ratón y teclado. MCPv se encuentra anclado en el ambiente de aprendizaje del grupo virtual, en la página <https://mentalcubes.com/actividades-virtuales/> también se encuentra anclado en las lecciones que requieren su uso.

Figura 6. Diseño definitivo de MCPv



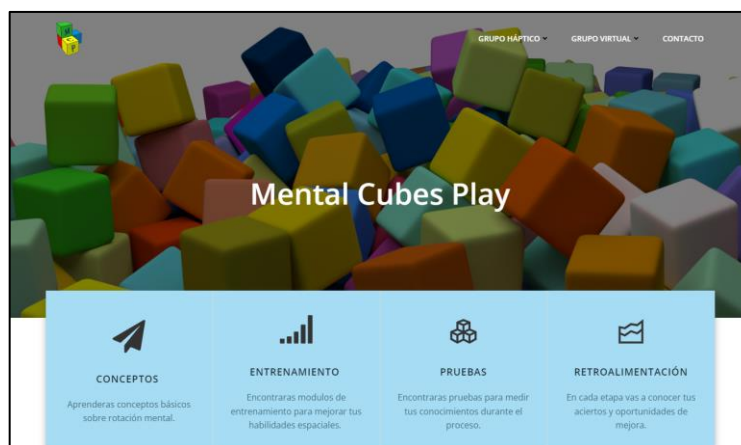
3.2 Distribución general del ambiente de aprendizaje

De acuerdo con la distribución presentada en la *tabla 1*, la página web mentalcubes.com contiene los dos ambientes de aprendizaje los cuales fueron agrupados estratégicamente para optimizar los recursos de la página. En los siguientes puntos se exponen los contenidos de la página web; los ambientes de aprendizaje están representados por medio de la *tabla 2*.

3.2.1 Página de Inicio

En este apartado los participantes recibieron información general acerca del programa de entrenamiento, asimismo reciben información del desarrollador de la página, en la *figura 3* se puede observar una vista previa de la página:

Figura 7. Página de inicio mentalcubes.com



3.2.2 Secuencia didáctica de las lecciones

Las lecciones disponibles en los ambientes de aprendizaje contaron con cinco momentos que son: Etapa de inicio, Construcción de conceptos, Modelación, Ejercitación y Evaluación, a continuación, se describe cada uno:

1. En la etapa de inicio se desarrolló un texto introductorio a los participantes con el propósito de motivar y establecer el camino que deben seguir para el desarrollo de las actividades.
2. En la etapa de Construcción de conceptos los participantes reciben los conocimientos necesarios para el desarrollo del tema y se presentan ejemplos de las figuras y ejercicios que debe desarrollar cada participante a lo largo de la lección, en esta parte se apoya con una presentación.
3. En la etapa de Modelación por medio de un vídeo los participantes reciben los conceptos necesarios para el desarrollo del tema y se presentan ejemplos de las figuras y ejercicios que debe desarrollar el individuo a lo largo de la lección.
4. En la etapa de Ejercitación los participantes cuentan con una serie de retos que deben desarrollar para aplicar los conceptos que han trabajado, dicho retos son de selección múltiple y ofrecen una retroalimentación inmediata.
5. En la evaluación los participantes aplicaran una prueba que les permitirá medir su nivel de apropiación. Una vez finalicen la prueba, habrá la posibilidad de corregir los ejercicios, esta parte es importante, porque permite sintetizar lo aprendido y establecer conclusiones de acuerdo con el proceso individual.

3.2.3 Contenido de las lecciones grupo háptico

En esta sección, los participantes pertenecientes al grupo experimental háptico contaron con las cinco etapas mencionadas en la sección 3.2.2 (Etapa de inicio, Construcción de conceptos,

Modelación, Ejercitación y Evaluación), estructuradas linealmente en el ambiente de aprendizaje correspondiente. En dichas etapas trabajaron material audio visual, desarrollaron múltiples ejercicios y presentaron varias pruebas para lograr la apropiación de los conocimientos. Por medio de la siguiente tabla se presentan los contenidos vistos en cada lección:

Tabla 2. Contenido temático del ambiente de aprendizaje grupo háptico. (Nota: Continúa en la siguiente página).

Lección	Contenido temático	Herramientas	Ejercicios	Tiempo
0	Practica Mental Cubes Play	Cubos físicos impresos en 3D	Construcción de figuras 3D.	2 horas
1	<ul style="list-style-type: none"> • Líneas continuas y discontinuas • Proyecciones Isométricas • Proyecciones Ortogonales 	Apoyo visual: color	<ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva isométrica a partir de vistas. • Perspectiva ortogonal a partir de isométricos. 	2 horas
2	<ul style="list-style-type: none"> • Líneas continuas y discontinuas • Proyecciones Isométricas • Proyecciones Ortogonales 	Apoyo visual: escala de grises	<ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva isométrica a partir de vistas. • Perspectiva ortogonal a partir de isométricos. 	2 horas
3	<ul style="list-style-type: none"> • Figuras semejantes. • Figuras congruentes. • Figuras simétricas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo visual: escala de grises. • Cubos físicos impresos en 3D 	<ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva isométrica a partir de vistas. • Perspectiva ortogonal a partir de isométricos. 	2 horas
4	Rotación de figuras (nivel 1): <ul style="list-style-type: none"> • Comparación de figuras. • Secuencia de rotaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo visual: escala de grises. • Cubos físicos impresos en 3D 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección múltiple. • Verdadero o Falso. • Identificación de secuencia. 	2 horas

Tabla 2. Continuación.

Lección	Contenido temático	Herramientas	Ejercicios	Tiempo
5	Rotación de figuras (nivel 2): <ul style="list-style-type: none"> • Comparación de figuras. • Secuencia de rotaciones. • Vistas de figuras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo visual: escala de grises. • Cubos físicos impresos en 3D 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección múltiple. • Verdadero o Falso. • Identificación de secuencia. • Figura 3D a perspectiva ortogonal. • Perspectiva ortogonal a figura 3D. 	3 horas
6	Rotación de figuras (nivel 3): <ul style="list-style-type: none"> • Comparación de figuras. • Secuencia de rotaciones (horizontal.) • Vistas de figuras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo visual: escala de grises. • Cubos físicos impresos en 3D 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección múltiple. • Verdadero o Falso. • Identificación de secuencia. • Figura 3D a perspectiva ortogonal. • Perspectiva ortogonal a figura 3D. 	3 horas

3.2.4 Contenido de las lecciones grupo virtual

En esta sección, los participantes pertenecientes al grupo experimental virtual contaron con las cinco etapas mencionadas en la sección 3.2.2 (Etapa de inicio, Construcción de conceptos, Modelación, Ejercitación y Evaluación), estructuradas linealmente en el ambiente de aprendizaje correspondiente. En dichas etapas trabajaron material audio visual, desarrollaron múltiples ejercicios y presentaron varias pruebas para lograr la apropiación de los conocimientos. Por medio de la siguiente tabla se presentan los contenidos vistos en cada lección:

Tabla 3. Contenido temático de ambiente de aprendizaje grupo virtual. (Nota: Continúa en la siguiente página).

Lección	Contenido temático	Herramientas	Ejercicios	Tiempo
0	Practica Mental Cubes Play	Aplicación virtual Mental Cubes Play	Construcción de figuras 3D.	4 horas
1	<ul style="list-style-type: none"> • Líneas continuas y discontinuas • Proyecciones Isométricas • Proyecciones Ortogonales 	Apoyo visual: color	<ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva isométrica a partir de vistas. • Perspectiva ortogonal a partir de isométricos. 	2 horas
2	<ul style="list-style-type: none"> • Líneas continuas y discontinuas • Proyecciones Isométricas • Proyecciones Ortogonales 	Apoyo visual: escala de grises	<ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva isométrica a partir de vistas. • Perspectiva ortogonal a partir de isométricos. 	2 horas
3	<ul style="list-style-type: none"> • Figuras semejantes. • Figuras congruentes. • Figuras simétricas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo visual: escala de grises. • Aplicación virtual Mental Cubes Play 	<ul style="list-style-type: none"> • Perspectiva isométrica a partir de vistas. • Perspectiva ortogonal a partir de isométricos. 	2 horas

Tabla 3. Continuación.

Lección	Contenido temático	Herramientas	Ejercicios	Tiempo
4	Rotación de figuras (nivel 1): <ul style="list-style-type: none"> • Comparación de figuras. • Secuencia de rotaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo visual: escala de grises. • Aplicación virtual Mental Cubes Play 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección múltiple. • Verdadero o Falso. • Identificación de secuencia. 	2 horas
5	Rotación de figuras (nivel 2): <ul style="list-style-type: none"> • Comparación de figuras. • Secuencia de rotaciones. • Vistas de figuras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo visual: escala de grises. • Aplicación virtual Mental Cubes Play 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección múltiple. • Verdadero o Falso. • Identificación de secuencia. • Figura 3D a perspectiva ortogonal. • Perspectiva ortogonal a figura 3D. 	3 horas
6	Rotación de figuras (nivel 3): <ul style="list-style-type: none"> • Comparación de figuras. • Secuencia de rotaciones (horizontal.) • Vistas de figuras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Apoyo visual: escala de grises. • Aplicación virtual Mental Cubes Play 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección múltiple. • Verdadero o Falso. • Identificación de secuencia. • Figura 3D a perspectiva ortogonal. • Perspectiva ortogonal a figura 3D. 	3 horas

3.2.5 Página de Contacto

La página de contacto es un canal directo entre el participante y el investigador. Existen dos posibilidades de contacto, en la primera, por medio del correo contacto@mentalcubes.com; el segundo, por medio de un formulario que estaba dentro de la página, donde era posible adjuntar

archivos, agregar datos de contacto y registrar un mensaje. El propósito de este espacio fue solucionar dudas referentes al procedimiento y el tiempo de ejecución para cada intervención. en la *figura 4* se puede observar una vista previa de la página:

Figura 8. Página de Contacto mentalcubes.com

Comunícate por correo electrónico: contacto@mentalcubes.com

Nombre *
Ejemplo: Juan

Correo electrónico *
Ej.: john@doe.com

Número de teléfono
Ejemplo: +1 3004005000

Mensaje
Introduce tu mensaje...
0 / 100

Subir archivo
Elegir archivo Ningún archivo seleccionado

Consent *
 Si, acepto la política de privacidad y los términos y condiciones.

Enviar mensaje

Capítulo 4. Metodología

En el marco de la investigación se llevó a cabo una intervención educativa basada en dos ambientes de aprendizaje que buscan desarrollar las habilidades relacionadas con la rotación mental en la población objetivo. Teniendo en cuenta lo anterior, y de acuerdo con los planteamientos de Hernández, Fernández y Baptista (2014) se realizó un diseño experimental con preprueba-posprueba y grupo control. Se cuenta con tres grupos, dos que reciben intervención; el primero, Grupo con apoyo de tarea háptica; el segundo, Grupo con apoyo de tarea virtual y Grupo control. A continuación, se muestra el diagrama del diseño seleccionado:

Tabla 4. Tabla del diseño experimental

Grupos	Pretest	Tratamiento	Postest
RG ₁	O1	X1	O2
RG ₂	O3	X2	O4
RG ₃	O5	—	O5

Donde:

R1, R2 y R3 corresponden a los grupos conformados aleatoriamente.

X1 corresponde a la intervención de un ambiente de aprendizaje con apoyo de tarea háptica.

X2 corresponde a la intervención de un ambiente de aprendizaje con apoyo de tarea virtual.

— indica que el grupo control no recibió ninguna intervención.

O1, O3 Y O5 corresponden al pretest con una prueba estándar de rotación mental (MRT-A).

O2, O4 Y O5 corresponden al postest con una prueba estándar de rotación mental (MRT-A).

4.1 Población y muestra

Este proyecto de investigación fue aplicado en el Liceo Mayor Andino, un colegio ubicado en la ciudad de Bogotá D.C en la localidad de Kennedy. La experimentación contó con una muestra de 90 participantes del sexo masculino y femenino, organizados mediante un muestreo aleatorio con quienes se aplicó un ambiente de aprendizaje específico para estudiar el logro de aprendizaje en la rotación mental. En las siguientes tablas se presentan los datos básicos de los participantes:

Tabla 5. Descripción de la muestra poblacional (Sexo)

Sexo	Grupo			Muestra	
	Grupo control	Grupo virtual	Grupo háptico	Parcial	Total
Masculino	19	18	14	51	90
Femenino	11	12	16	39	

Tabla 6. Descripción de la población (Edad)

Edad	
N	90
Media	13,71
Desviación	0,585
Varianza	0,343
Rango	2
Mínimo	13
Máximo	15

Tabla 7. Descripción de la población (Edades por grupo)

Grupo	N	Edad media	Desviación estándar
Grupo control	30	13,77	0,626
Grupo virtual	30	13,87	0,571
Grupo háptico	30	13,5	0,509

4.2 Variables.

- Dependiente: Logro de aprendizaje en la habilidad de rotación mental medido mediante la calificación final en el curso.
- Independiente: Ambiente de aprendizaje con dos variantes, en la primera se establecen las tareas de entrenamiento por medio de la manipulación de objetos físicos, en el segundo, se establecen las tareas de entrenamiento por medio de la manipulación de objetos virtuales.
- Variable moderadora: Sexo (masculino/femenino), para investigar si existe alguna diferencia en el logro de aprendizaje entre hombres y mujeres en función del ambiente de aprendizaje utilizado.

- La variable covariable: Puntaje en una prueba de rotación mental al inicio de la experimentación, para controlar el logro de aprendizaje previo de los estudiantes.

4.3 Instrumento MRT-A

El instrumento utilizado para medir efectivamente la habilidad cognitiva de la rotación mental fue una prueba de rotaciones mentales de Vandenberg & Kuse redibujada: diferentes versiones y factores que afectan el rendimiento. Cerebro y cognición. Desarrollada y revisada por Peters, Laeng, Latham, Jackson, Zaiyouna y Richardson (1995), la cual fue suministrada directamente por el PhD Michael Peters bajo un contrato de confidencialidad para evitar que la prueba pierda validez en caso de hacerse pública.

4.4 Medidas y procedimiento

Los estudiantes fueron asignados aleatoriamente a uno de los tres grupos de enseñanza. El grupo con apoyo de tarea háptica desarrolló las actividades del ambiente de aprendizaje correspondiente, apoyándose de Mental Cubes Play Físico (MCPf) basado en bloques impresos en 3D; el grupo con apoyo de tarea virtual desarrolló las actividades del ambiente de aprendizaje correspondiente, apoyándose de la aplicación virtual 3D Mental Cubes Play Virtual (MCPv). Se registró un pretest con la prueba MRT-A antes de iniciar la intervención y se midió el logro académico mediante una prueba MRT-A al final en el curso en los tres grupos. En cuanto al grupo control, solo recibió el pretest y postest, se tomó esta decisión debido a que se buscaba examinar específicamente el efecto de las intervenciones de apoyo (hápticas y el virtuales) en el desarrollo del logro de aprendizaje de rotación mental, y se consideró que un grupo control sin intervención sería una forma adecuada de comparar los resultados. Se tuvo en cuenta la posibilidad de que los participantes del grupo control puedan sentirse desmotivados o no dedicar tanto esfuerzo a las evaluaciones debido a la falta de intervención, y se tomaron medidas para

garantizar que los participantes del grupo control fueran similares en términos de edad, nivel de educación y experiencia previa en los participantes de los grupos de tratamiento. Además, se consideró que el uso de pretest y posttest ayudaría a minimizar cualquier posible fuente de sesgo o confusión.

4.6 Desarrollo de la investigación

En la siguiente tabla se presenta una descripción de la metodología trabajada durante toda la etapa experimental. En ella se evidencian los momentos que describen la manera en que se desarrolló cada intervención. Conjuntamente, presenta las herramientas aplicadas, los tiempos de preparación y ejecución.

Tabla 8. Descripción de la metodología trabajada. (Nota. Continúa en la siguiente página)

Momento	Prueba	Descripción	Tiempo
Fase 0	Diseño y creación de los ambientes virtuales de aprendizaje.	<p>Los ambientes de aprendizaje están soportados en la página web mentalcubes.com dicha página fue creada desde cero y está almacenada en los servidores de Hostgator.</p> <p>Los materiales multimedia presentes en los ambientes de aprendizaje fueron desarrollados en Genially, YouTube y Canva.</p> <p>La aplicación 3D del grupo virtual se desarrolló por medio del motor de Unity, cada Script fue programado por medio del lenguaje C#.</p> <p>Las figuras 3D físicas del grupo háptico fueron desarrolladas en Fusion 360 e construidas por medio de una impresora 3D de referencia Ender 3 v2.</p>	3 meses

Tabla 8. Continuación. (Nota. Continúa en la siguiente página)

Momento	Prueba	Descripción	Tiempo
Fase 0	Practica Mental Cubes Play	En esta fase del estudio, los participantes de los grupos que recibieron el tratamiento con los ambientes de aprendizaje realizaron una práctica previa antes de iniciar las lecciones. Esta práctica se basó en el uso de "Mental cubes Play" tanto en su versión física como virtual, de acuerdo con el grupo al que habían sido asignados. Los participantes construyeron figuras del juego Tetris utilizando la herramienta asignada. Sin embargo, es importante señalar que los tiempos asignados para la práctica no fueron simétricos en los grupos, ya que los participantes del grupo virtual requirieron un mayor tiempo para dominar la herramienta en comparación con los del grupo háptico.	Grupo virtual: 4 horas Grupo háptico: 2 horas
Fase 1	Pretest	Para el pretest se utilizó una prueba de rotaciones mentales de Vandenberg & Kuse redibujada: diferentes versiones y factores que afectan el rendimiento. Denominada MRT-A la cual tuvo un tiempo de aplicación de 7 minutos, tres minutos para el responder los primeros 12 ejercicios; un minuto para descansar la mente y tres minutos para resolver los siguientes 12 ejercicios. Estos tiempos fueron entregados en el manual de aplicación de la prueba por Michael Peters autor principal de la prueba validada.	1 sesión de 30 minutos

Tabla 8. Continuación. (Nota. Continúa en la siguiente página)

Momento	Prueba	Descripción	Tiempo
<p>Fase 2</p>	<p>Aplicación 1 del ambiente virtual de aprendizaje.</p>	<p>En los dos grupos experimentales se llevó a cabo la misma secuencia, la cual se describe, a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inicio: Se presentó un texto que establece un contexto y orienta a la persona para llevar a cabo la lección. 2. Construcción de conceptos: Por medio de una presentación se explica el tema de líneas continuas y discontinuas. También se explicó el tema de proyecciones isométricas y ortogonales. 3. Modelación: A través de un video se hace un repaso de los contenidos del punto anterior, mostrando a los participantes particularidades especiales de cada punto. 4. Ejercitación: Mediante una presentación se mostraron a los participantes ejercicios de selección múltiple, donde una vez respondida la pregunta aparecía un mensaje de retroalimentación indicando un acierto o error. 5. Evaluación: Finalmente, los participantes a través de un formulario demostraron los conocimientos con preguntas de selección múltiple. Una vez finalizada la prueba se mostraba la retroalimentación y los participantes tenían la opción de analizar los ejercicios y corregirlos. <p>Nota: se debe tener en cuenta que en esta lección se usó un apoyo visual, el cual consistía en el uso de color en las imágenes disponibles en la lección.</p>	<p>1 sesión de 2 horas</p>

Tabla 8. Continuación. (Nota. Continúa en la siguiente página)

Momento	Prueba	Descripción	Tiempo
Fase 2	Aplicación 2 del ambiente virtual de aprendizaje.	<p>En los dos grupos experimentales se llevó a cabo la misma secuencia, la cual se describe, a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inicio: Se presentó un texto que establece un contexto y orienta a la persona para llevar a cabo la lección. 2. Construcción de conceptos: Por medio de una presentación se explica el tema de líneas continuas y discontinuas. También se explicó el tema de proyecciones isométricas y ortogonales. 3. Modelación: A través de un video se hace un repaso de los contenidos del punto anterior, mostrando a los participantes particularidades especiales de cada punto. 4. Ejercitación: Mediante una presentación se mostraron a los participantes ejercicios de selección múltiple, donde una vez respondida la pregunta aparecía un mensaje de retroalimentación indicando un acierto o error. 5. Evaluación: Finalmente, los participantes a través de un formulario demostraron los conocimientos con preguntas de selección múltiple. Una vez finalizada la prueba se mostraba la retroalimentación y los participantes tenían la opción de analizar los ejercicios y corregirlos. <p>Nota: se debe tener en cuenta que desde esta lección se retiró el apoyo visual disponible en la lección 1, el cual consistía en el uso de color en las imágenes disponibles en las lecciones. En las lecciones posteriores se usará una escala de grises para la representación de las figuras.</p>	1 sesión de 2 horas

Tabla 8. Continuación. (Nota. Continúa en la siguiente página)

Momento	Prueba	Descripción	Tiempo
Fase 2	Aplicación 3 del ambiente virtual de aprendizaje.	<p>En los dos grupos experimentales se llevó a cabo la misma secuencia, la cual se describe, a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inicio: Se presentó un texto que establece un contexto y orienta a la persona para llevar a cabo la lección. 2. Construcción de conceptos: Por medio de una presentación se explica el tema de Figuras semejantes, Figuras congruentes y Figuras simétricas. 3. Modelación: A través de un video se hace un repaso de los contenidos del punto anterior, mostrando a los participantes particularidades especiales de cada punto. 4. Ejercitación: Mediante una presentación se mostraron a los participantes ejercicios de selección múltiple, donde una vez respondida la pregunta aparecía un mensaje de retroalimentación indicando un acierto o error. 5. Evaluación: Finalmente, los participantes a través de un formulario demostraron los conocimientos con preguntas de selección múltiple. Una vez finalizada la prueba se mostraba la retroalimentación y los participantes tenían la opción de analizar los ejercicios y corregirlos. 	1 sesión de 2 horas

Tabla 8. Continuación. (Nota. Continúa en la siguiente página)

Momento	Prueba	Descripción	Tiempo
Fase 2	Aplicación 4 del ambiente virtual de aprendizaje.	<p>En los dos grupos experimentales se llevó a cabo la misma secuencia, la cual se describe, a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inicio: Se presentó un texto que establece un contexto y orienta a la persona para llevar a cabo la lección. 2. Construcción de conceptos: Por medio de una presentación se explica el tema de Rotación de figuras (nivel 1): Comparación de figuras y Secuencia de rotaciones. 3. Modelación: A través de un video se hace un repaso de los contenidos del punto anterior, mostrando a los participantes particularidades especiales de cada punto. 4. Ejercitación: Mediante una presentación se mostraron a los participantes ejercicios de selección múltiple, donde una vez respondida la pregunta aparecía un mensaje de retroalimentación indicando un acierto o error. 5. Evaluación: Finalmente, los participantes a través de un formulario demostraron los conocimientos con preguntas de selección múltiple. Una vez finalizada la prueba se mostraba la retroalimentación y los participantes tenían la opción de analizar los ejercicios y corregirlos. 	1 sesión de 2 horas

Tabla 8. Continuación. (Nota. Continúa en la siguiente página)

Momento	Prueba	Descripción	Tiempo
Fase 2	Aplicación 5 del ambiente virtual de aprendizaje.	<p>En los dos grupos experimentales se llevó a cabo la misma secuencia, la cual se describe, a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inicio: Se presentó un texto que establece un contexto y orienta a la persona para llevar a cabo la lección. 2. Construcción de conceptos: Por medio de una presentación se explica el tema de Rotación de figuras (nivel 2): Comparación de figuras, Secuencia de rotaciones y Vistas de figuras. 3. Modelación: A través de un video se hace un repaso de los contenidos del punto anterior, mostrando a los participantes particularidades especiales de cada punto. 4. Ejercitación: Mediante una presentación se mostraron a los participantes ejercicios de selección múltiple, donde una vez respondida la pregunta aparecía un mensaje de retroalimentación indicando un acierto o error. 5. Evaluación: Finalmente, los participantes a través de un formulario demostraron los conocimientos con preguntas de selección múltiple. Una vez finalizada la prueba se mostraba la retroalimentación y los participantes tenían la opción de analizar los ejercicios y corregirlos. 	1 sesión de 3 horas

Tabla 8. Continuación. (Nota. Continúa en la siguiente página)

Momento	Prueba	Descripción	Tiempo
Fase 2	Aplicación 6 del ambiente virtual de aprendizaje.	<p>En los dos grupos experimentales se llevó a cabo la misma secuencia, la cual se describe, a continuación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Inicio: Se presentó un texto que establece un contexto y orienta a la persona para llevar a cabo la lección. 2. Construcción de conceptos: Por medio de una presentación se explica el tema de Rotación de figuras (nivel 3): Comparación de figuras, Secuencia de rotaciones y Vistas de figuras. 3. Modelación: A través de un video se hace un repaso de los contenidos del punto anterior, mostrando a los participantes particularidades especiales de cada punto. 4. Ejercitación: Mediante una presentación se mostraron a los participantes ejercicios de selección múltiple, donde una vez respondida la pregunta aparecía un mensaje de retroalimentación indicando un acierto o error. 5. Evaluación: Finalmente, los participantes a través de un formulario demostraron los conocimientos con preguntas de selección múltiple. Una vez finalizada la prueba se mostraba la retroalimentación y los participantes tenían la opción de analizar los ejercicios y corregirlos. 6. Nota: La dificultad de las lecciones 4, 5 y 6 varía principalmente en el ángulo de rotación en que se presentan las figuras, teniendo en cuenta que Shepard y Metzler (1971) indican que si el ángulo de rotación es mayor habrá un nivel de dificultad mayor, el cual se materializa en términos de tiempo. 	1 sesión de 3 horas

Tabla 8. Continuación. (Nota. Continúa en la siguiente página)

Momento	Prueba	Descripción	Tiempo
Fase 3	Postest	Para el postest se utilizó una prueba de rotaciones mentales de Vandenberg & Kuse redibujada: diferentes versiones y factores que afectan el rendimiento. Denominada MRT-A la cual tuvo un tiempo de aplicación de 7 minutos, tres minutos para el responder los primeros 12 ejercicios; un minuto para descansar la mente y tres minutos para resolver los siguientes 12 ejercicios. Estos tiempos fueron entregados en el manual de aplicación de la prueba por Michael Peters autor principal de la prueba validada.	1 sesión de 30 minutos
Fase 4	Análisis de datos	<p>La recopilación y ordenamiento de todos los datos adquiridos durante el proceso de entrenamiento se realizó con el fin de trabajarlos en el software SPSS versión 26. A través de este análisis, se identificaron los aspectos relevantes para la investigación actual.</p> <p>Comparar el logro de aprendizaje de la habilidad cognitiva de la rotación mental cuando se interactúa con un ambiente de aprendizaje con actividades basadas en la manipulación de objetos virtuales frente a un ambiente de aprendizaje con actividades que impliquen la manipulación de objetos físicos, en estudiantes en etapa operacional formal.</p>	1 semana
Fase 5	Informe final	Elaboración del documento que da reporte a los hallazgos encontrados durante la aplicación de los ambientes virtuales de aprendizaje para establecer cambios en el logro de aprendizaje de la habilidad cognitiva de la rotación mental.	4 semanas

Capítulo 5. Resultados

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos a través de la investigación llevada a cabo. Se describen y analizan los datos recolectados y se utilizan gráficos y tablas para ilustrar los hallazgos. Además, se discuten estos resultados en relación con las preguntas de investigación y los objetivos planteados. Es esencial leer este capítulo para entender los hallazgos y conclusiones de la investigación.

5.1 Condiciones iniciales

Para determinar y categorizar el sexo de los participantes, se utilizó un cuestionario que recolectó datos personales de los participantes. Los resultados mostraron que 51 (56.7%) de los participantes eran del sexo masculino y 39 (43.3%) eran del sexo femenino. A continuación, se presenta una tabla que resume esta información:

Tabla 9. Resultados de clasificación del sexo entre los participantes.

		Sexo			
		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Masculino	51	56,7	56,7	56,7
	Femenino	39	43,3	43,3	100,0
	Total	90	100,0	100,0	

5.2 Logro previo

Para determinar el logro previo de la habilidad de rotación mental se aplicó la prueba MRT-A antes de aplicar los ambientes de aprendizaje en grupos correspondientes. Los resultados de la prueba tuvieron una media de 5.11 puntos de veinticuatro posibles; una desviación estándar de 3.189; el rango de los puntajes estuvo entre 0 y 15 puntos. A continuación, se presenta la tabla con los estadísticos más relevantes:

Tabla 10. Estadísticos logro previo.

Estadísticos		
Pretest		
N	Válido	90
	Perdidos	0
Media		5,11
Desv. Desviación		3,189
Rango		15
Mínimo		0
Máximo		15

5.2 Análisis del efecto del ambiente virtual de aprendizaje

Con el objetivo de comparar la relación entre el ambiente de aprendizaje y el logro de aprendizaje, se realizó un análisis de varianza ANCOVA para comparar el logro académico en la rotación mental entre los tres grupos de enseñanza, controlando el efecto del puntaje por medio del pretest. Para este estudio se tuvieron en cuenta las siguientes variables; i) logro final de aprendizaje (*variable dependiente*), ii) El ambiente de aprendizaje con las dos variaciones (*Variable independiente*), iii) Logro inicial de aprendizaje (*Covariable*) y iv) Sexo de los participantes (Masculino y femenino) para comparación de grupos.

5.2.1 Ambiente virtual de aprendizaje

El ambiente de aprendizaje contó con seis sesiones de entrenamiento donde hubo un rango de preguntas de 9 a 17 con temas relacionados a: proyecciones, tipos de figuras y análisis de rotaciones. Para el análisis de consistencia o confiabilidad de los instrumentos se utilizó el coeficiente de Alfa de Cronbach, el cual se refiere a la consistencia o estabilidad de una medida. Una definición técnica de confiabilidad que ayuda a resolver tanto problemas teóricos como prácticos es aquella que parte de la investigación de qué tanto error de medición existe en un instrumento de medición, considerando tanto la varianza sistemática como la varianza por el azar

(Kerlinger y Lee, 2002). De acuerdo con Oviedo y Campo (2005) los valores de alfa de Cronbach entre 0,70 y 0,90 indican una buena consistencia interna. En la siguiente tabla se evidencia un Alfa de Cronbach $r=0,703$, mostrando fiabilidad positiva de la muestra para la categoría del logro de aprendizaje obtenido durante el entrenamiento de rotación mental, donde $N=6$ corresponde desde la prueba 1 hasta la 6.

Tabla 11. Prueba de Fiabilidad del instrumento de entrenamiento.

Estadísticas de fiabilidad	
Alfa de Cronbach	N de elementos
,703	6

En relación con el factor del aprendizaje durante la capacitación en rotación mental, se obtuvo un promedio general de 8.26 sobre 9 (todos los valores de las pruebas se escalaron a 9). Los estadísticos descriptivos de cada lección se pueden observar en la siguiente gráfica:

Tabla 12. Logro de aprendizaje durante el entrenamiento de rotación mental.

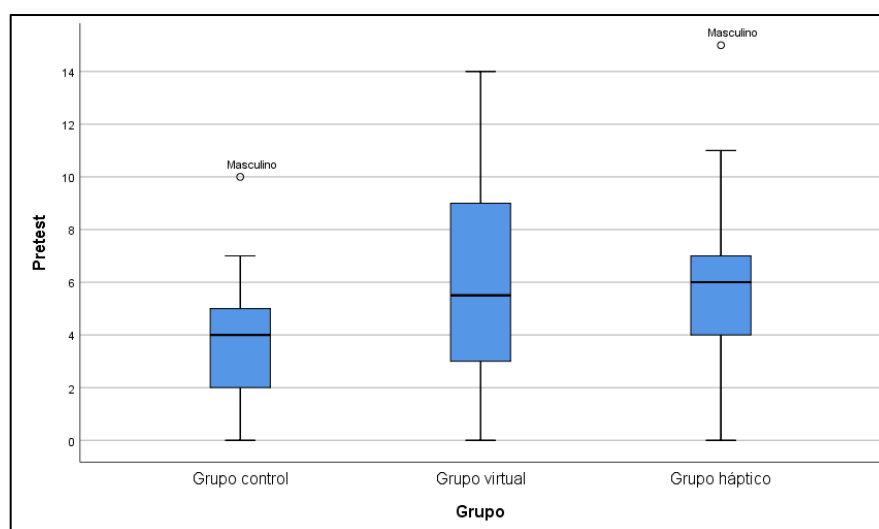
Estadísticos descriptivos						
	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Prueba_1	60	4	5	9	8,35	1,273
Prueba_2	60	5	4	9	7,83	1,196
Prueba_3	60	4	5	9	8,35	1,022
Prueba_4	60	3	6	9	8,45	1,064
Prueba_5	60	6	3	9	8,00	1,426
Prueba_6	60	2	7	9	8,58	,591
N válido (por lista)	60					

5.2.2 Logro de aprendizaje

En general, los datos muestran que al utilizar un ambiente virtual de aprendizaje se obtienen puntajes más elevados en comparación con los resultados de la evaluación inicial de rotación

mental. Por medio de los siguientes diagramas de cajas y las tablas descriptivas para el Pretest y Postest se puede observar la diferencia en el logro de aprendizaje en los diferentes grupos y por sexo, teniendo un nivel más alto el grupo con actividades hápticas, seguido del grupo con actividades virtuales y finalmente el grupo control, a continuación, se presenta el diagrama y la tabla que representan dicha información:

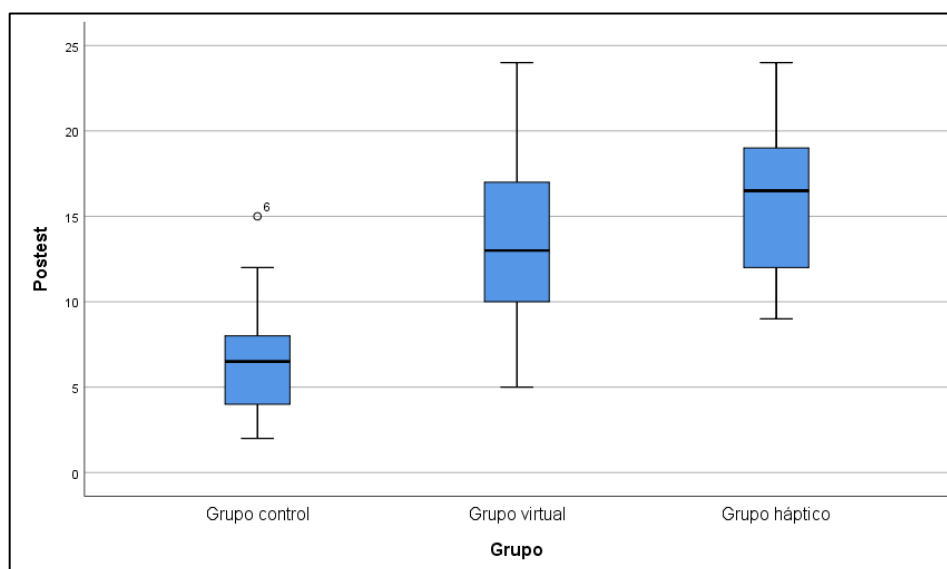
Figura 9. Diagrama de cajas para la variable dependiente (Pretest)



Nota: Para evaluar el logro de aprendizaje se utilizó una prueba MRT-A validada, la cual facilitó el proceso de evaluación a lo largo de la investigación.

Los diagramas de cajas de Pretest muestran el estado inicial del logro de aprendizaje de todos los grupos, se puede observar que el grupo control tiene una media menor en comparación con los demás grupos $\bar{X}= 4.033$ y $\sigma = 2.173$; por su parte el grupo virtual cuenta con una media de $\bar{X}= 5.6$ y $\sigma = 3.802$; finalmente, el grupo háptico cuenta con una media de $\bar{X}= 5.7$ y $\sigma = 3.196$. Aunque la media entre el grupo háptico es similar la desviación del grupo virtual es mayor. Hay que tener en cuenta que la prueba estadística ANCOVA tiene en cuenta estos datos para controlar el efecto del Pretest.

Figura 10. Diagrama de cajas para la variable dependiente (Postest)



Nota: Para evaluar el logro de aprendizaje se utilizó una prueba MRT-A validada, la cual facilitó el proceso de evaluación a lo largo de la investigación.

Los diagramas de cajas de Postest muestran el estado final del logro de aprendizaje en todos los grupos, se puede observar una gran diferencia entre los grupos dado el efecto de la intervención. Para el grupo control se obtuvo una $\bar{X}= 6,6$ y $\sigma = 3,069$; en el grupo virtual se obtuvo una $\bar{X}= 13,23$ y $\sigma = 5,144$; por último, en el grupo háptico una $\bar{X}= 16,1$ y $\sigma = 4,641$. Estos resultados muestran diferencias importantes entre los grupos, las cuales analizarán más adelante. A continuación, se presentan las tablas que representan los datos de los grupos divididos por Grupo y sexo para Pretest y Postest:

Tabla 13. Estadísticos descriptivos variable dependiente (Pretest)

Grupo	Grupo control	Género		Pretest				
				Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Rango
			Masculino	4.632	2.290	10	0	10
			Femenino	3.000	1.549	7	2	5
	Grupo virtual	Género	Masculino	6.889	4.042	14	0	14
			Femenino	3.667	2.462	9	1	8
	Grupo háptico	Género	Masculino	7.000	3.742	15	0	15
			Femenino	4.562	2.159	9	1	8

Tabla 14. Estadísticos descriptivos variable dependiente (Postest)

Grupo	Grupo control	Género		Postest				
				Media	Desviación estándar	Máximo	Mínimo	Rango
			Masculino	7.421	3.097	15	2	13
			Femenino	5.182	2.562	10	2	8
	Grupo virtual	Género	Masculino	15.444	4.985	24	5	19
			Femenino	9.917	3.370	17	6	11
	Grupo háptico	Género	Masculino	19.071	4.066	24	12	12
			Femenino	13.500	3.445	20	9	11

En la tabla anterior se pueden observar una diferencia importante entre los diferentes grupos del Pretest con el Postest. Se puede observar que los grupos de sexo masculino tienen una media más alta en comparación con las del sexo femenino. No obstante, el factor de crecimiento en el logro de aprendizaje en ambos sexos es importante, teniendo una ventaja el sexo masculino.

5.2.3 Análisis de varianza ANCOVA

Para comparar el logro de aprendizaje de la habilidad cognitiva de la rotación mental entre los tres grupos de enseñanza, controlando el efecto del puntaje por medio del pretest. Los resultados se presentarán como una tabla de análisis de varianza y se harán comparaciones múltiples entre los grupos usando una prueba post-hoc. Para lograr esto fue necesario que los datos cumplieran los siguientes supuestos:

5.2.3.1 Supuesto de normalidad

De acuerdo con Mertler, Vannatta (2017) las distribuciones de puntajes en la variable dependiente deben ser normales en las poblaciones de las cuales se tomaron muestras de los datos. A continuación, se presenta la tabla de la prueba de normalidad hecha para la variable dependiente (Postest) y los grupos que corresponden a la variable independiente:

Tabla 15. Prueba de normalidad variable dependiente

Pruebas de normalidad							
Grupo	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk			Sig.
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.	
Postest	Grupo control	,124	30	,200*	,950	30	,166
	Grupo virtual	,102	30	,200*	,963	30	,368
	Grupo háptico	,178	30	,016	,937	30	,075

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: teniendo en cuenta que la cantidad de participantes por grupo es inferior a 50 se procede a utilizar la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.

Para la prueba de normalidad se tiene en cuenta la siguiente condición, si el valor p es menor que el nivel de significación establecido (0.05), se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos no son normales. Si el valor p es mayor que el nivel de significación, no se tiene suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula y se concluye que los datos son normales.

En el caso presentado en la *Tabla 15* se observa que todos los valores corresponden al valor p (sig.) son superiores a 0.05, por lo cual se concluye que los datos siguen una distribución normal.

5.2.3.2 Supuesto de homogeneidad de varianzas

De acuerdo con Mertler, Vannatta (2017) las distribuciones de puntajes en la variable dependiente deben tener varianzas iguales. A continuación, en la siguiente tabla se presenta la prueba de homogeneidad de varianzas hecha para la variable dependiente (Postest) y los grupos que corresponden a la variable independiente y sexo:

Tabla 16. Supuesto de homogeneidad de varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
Postest	Se basa en la media	1,608	5	84	,167
	Se basa en la mediana	1,359	5	84	,248
	Se basa en la mediana y con gl ajustado	1,359	5	73,851	,250
	Se basa en la media recortada	1,663	5	84	,153

Prueba la hipótesis nula de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

a. Variable dependiente: Postest

b. Diseño : Intersección + Grupo + Género + Grupo * Género

Para la prueba de homogeneidad de varianzas se tiene en cuenta la siguiente condición, si el valor p es menor que el nivel de significación establecido (0.05), se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos no tienen varianzas iguales. Si el valor p es mayor que el nivel de significación, no se tiene suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula. Para este caso se concluye que los datos tienen varianzas iguales.

5.2.3.3 Supuesto de la relación lineal entre la variable dependiente y la covariable

Para cumplir con este supuesto Rodríguez, Palacios, Moreno, Rivas y Talavera (2013) se hace un análisis de regresión lineal simple entre la covariable (X) la respuesta (Y). La regresión debe ser significativa, es decir, con $p < 0.05$. Teniendo en cuenta esta información en la siguiente tabla se muestran los resultados:

Tabla 17. Supuesto de la relación lineal entre la variable dependiente y la covariable

ANOVA ^a						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	1340,154	1	1340,154	67,398	,000 ^b
	Residuo	1749,802	88	19,884		
	Total	3089,956	89			

a. Variable dependiente: Postest
b. Predictores: (Constante), Pretest

Teniendo en cuenta, que el grado de significancia es $p < 0.05$ se concluye que el supuesto se cumple.

5.2.3.4 Supuesto de independencia entre la covariable y el tratamiento

Para cumplir con este supuesto Rodríguez, Palacios, Moreno, Rivas y Talavera (2013) recomiendan usar una prueba ANOVA en el que la covariable (X) sea declarada variable dependiente y los tratamientos sean declarados como variables independientes. La prueba de F debe resultar no significativa. Teniendo en cuenta esta información en la siguientes tabla se muestran los resultados:

Tabla 18. Supuesto de independencia entre la covariable y el tratamiento

ANOVA						
Pretest		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
	Entre grupos	52,422	2	26,211	2,675	,075
	Dentro de grupos	852,467	87	9,798		
	Total	904,889	89			

Teniendo en cuenta los resultados de la prueba, el valor de significancia es de 0.075 por lo cual se afirma que no es significativo. De ahí, se concluye que el supuesto de independencia entre la covariable y el tratamiento es correcto.

5.2.3.5 Supuesto de homogeneidad de las pendientes de regresión

Para cumplir con este supuesto Rodríguez, Palacios, Moreno, Rivas y Talavera (2013) indican que las pendientes de todos los grupos de tratamiento deben ser iguales o aproximadamente iguales; es decir, no hay interacción entre las variables de estudio y las covariables. Este supuesto se prueba verificando que la interacción del tratamiento por la covariable no sea significativa. Teniendo en cuenta esta información en la siguiente tabla se muestran los resultados:

Tabla 19. Supuesto de homogeneidad de las pendientes de regresión

Pruebas de efectos inter-sujetos						
Variable dependiente: Postest						
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	2245,623 ^a	5	449,125	44,682	,000	,727
Intersección	1095,462	1	1095,462	108,984	,000	,565
Grupo	192,771	2	96,386	9,589	,000	,186
Pretest	643,779	1	643,779	64,048	,000	,433
Grupo * Pretest	,886	2	,443	,044	,957	,001
Error	844,333	84	10,052			
Total	16002,000	90				
Total corregido	3089,956	89				

a. R al cuadrado = ,727 (R al cuadrado ajustada = ,710)

Para el análisis de este supuesto en la tabla anterior aparece un valor en fila de Grupo*Pretest muestra que su grado de significancia es mayor a 0.05 por lo cual se infiere que no es significativo, dando como resultado que el supuesto se cumpla.

5.2.3.6 Prueba de varianza ANCOVA

Teniendo en cuenta que todos los supuestos especificados por Rodríguez, Palacios, Moreno, Rivas y Talavera (2013) se han cumplido se procede a efectuar la prueba de varianza por medio de SPSS, la siguiente tabla resumen los resultados:

Tabla 20. Factores inter-sujetos

Factores inter-sujetos			
		Etiqueta de valor	N
Grupo	1	Grupo control	30
	2	Grupo virtual	30
	3	Grupo háptico	30
Género	1	Masculino	51
	2	Femenino	39

Tabla 21. Estadísticos descriptivos organizados por Grupo y Sexo.

Estadísticos descriptivos				
Variable dependiente: Postest				
Grupo	Género	Media	Desv. Desviación	N
Grupo control	Masculino	7,42	3,097	19
	Femenino	5,18	2,562	11
	Total	6,60	3,069	30
Grupo virtual	Masculino	15,44	4,985	18
	Femenino	9,92	3,370	12
	Total	13,23	5,144	30
Grupo háptico	Masculino	19,07	4,066	14
	Femenino	13,50	3,445	16
	Total	16,10	4,641	30
Total	Masculino	13,45	6,348	51
	Femenino	10,05	4,645	39
	Total	11,98	5,892	90

Nota: esta tabla representa los valores de la media, la desviación estándar y la cantidad de participantes por grupos de la variable dependiente postest; organizado por medio de los grupos y sexo.

Tabla 22. Estadísticos descriptivos organizados por Sexo y Grupo.

Estadísticos descriptivos				
Variable dependiente: Postest				
Género	Grupo	Media	Desv. Desviación	N
Masculino	Grupo control	7,42	3,097	19
	Grupo virtual	15,44	4,985	18
	Grupo háptico	19,07	4,066	14
	Total	13,45	6,348	51
Femenino	Grupo control	5,18	2,562	11
	Grupo virtual	9,92	3,370	12
	Grupo háptico	13,50	3,445	16
	Total	10,05	4,645	39
Total	Grupo control	6,60	3,069	30
	Grupo virtual	13,23	5,144	30
	Grupo háptico	16,10	4,641	30
	Total	11,98	5,892	90

Nota: esta tabla representa los valores de la media, la desviación estándar y la cantidad de participantes por grupos para la variable dependiente postest; organizado por medio de los sexos y grupo.

Tabla 23. Prueba de igualdad de varianzas

Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error^a			
Variable dependiente: Postest			
F	gl1	gl2	Sig.
1,730	5	84	,137

Prueba la hipótesis nula de que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.

a. Diseño : Intersección + Pretest + Grupo + Género + Grupo * Género

Nota: el valor p es no es significativo. Se cumple el supuesto de igualdad de varianzas.

5.2.3.7 Pruebas de efectos inter-sujetos

Los resultados del ANCOVA se muestran en la *Tabla 24*. Los datos muestran que el modelo resultante tiene un alto nivel de predicción de las variables dependientes examinadas. El logro de aprendizaje tiene un alto nivel de explicación de su varianza, la cual alcanza a predecir el 75,5% de la varianza total. A continuación, se procede a realizar la interpretación de los resultados principales del ANCOVA.

Tabla 24. Resultados de la prueba ANCOVA

Pruebas de efectos inter-sujetos						
Variable dependiente: Postest						
Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	Eta parcial al cuadrado
Modelo corregido	2383,646 ^a	6	397,274	46,685	,000	,771
Intersección	1298,707	1	1298,707	152,614	,000	,648
Pretest	472,248	1	472,248	55,495	,000	,401
Grupo	950,463	2	475,232	55,846	,000	,574
Género	111,949	1	111,949	13,155	,000	,137
Grupo * Género	27,448	2	13,724	1,613	,206	,037
Error	706,309	83	8,510			
Total	16002,000	90				
Total corregido	3089,956	89				

a. R al cuadrado = ,771 (R al cuadrado ajustada = ,755)

En resumen, se llevó a cabo un análisis de covarianza de 3×2 para evaluar el impacto del ambiente de aprendizaje y el sexo en la variable postest. Los datos procesados se presentaron en la tabla anterior. Los resultados del estudio indicaron que la variable independiente Grupo (Control, Háptico y Virtual) tuvo un efecto significativo en los resultados, con diferentes grados de importancia. Este efecto fue medido por un valor de $F(2, 83) = 55.495$; $p < .001$; $\eta^2 = .574$. Además, se observó que también hubo un efecto significativo para la variable sexo, con diferentes grados de importancia medido por un valor de $F(1, 83) = 13.155$; $p < .001$; $\eta^2 = .137$.

Por último, se encontró que la prueba pretest también tuvo un efecto significativo con diferentes grados de importancia, medido por un valor de $F(1, 83) = 55.495$; $p < .001$; $\eta^2 = .401$.

5.2.3.8 Comparaciones múltiples

Continuando con el estudio univariado, el análisis post hoc se presenta las comparaciones múltiples donde indican las posibles diferencias entre los estilos cognitivos (ver tabla 25)

Tabla 25. Comparación por parejas con ajuste Bonferroni

Comparaciones por parejas						
Variable dependiente: Postest						
(I) Grupo	(J) Grupo	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig. ^b	95% de intervalo de confianza para diferencia ^b	
					Límite inferior	Límite superior
Grupo control	Grupo virtual	-5,191 [*]	,791	,000	-7,125	-3,257
	Grupo háptico	-8,387 [*]	,798	,000	-10,336	-6,438
Grupo virtual	Grupo control	5,191 [*]	,791	,000	3,257	7,125
	Grupo háptico	-3,196 [*]	,764	,000	-5,062	-1,330
Grupo háptico	Grupo control	8,387 [*]	,798	,000	6,438	10,336
	Grupo virtual	3,196 [*]	,764	,000	1,330	5,062

Se basa en medias marginales estimadas

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel ,05.

b. Ajuste para varias comparaciones: Bonferroni.

Tabla 26. Estimaciones por Grupo

Estimaciones				
Variable dependiente: Postest				
Grupo	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Grupo control	7,354 ^a	,570	6,220	8,489
Grupo virtual	12,545 ^a	,544	11,463	13,627
Grupo háptico	15,741 ^a	,539	14,669	16,813

a. Las covariables que aparecen en el modelo se evalúan en los valores siguientes: Pretest = 5,11.

Tabla 27. Estimaciones por sexo

Estimaciones				
Variable dependiente: Postest				
Género	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
Masculino	13,115 ^a	,428	12,264	13,967
Femenino	10,645 ^a	,496	9,658	11,632

a. Las covariables que aparecen en el modelo se evalúan en los valores siguientes: Pretest = 5,11.

Se realizó la prueba post hoc de Bonferroni para determinar qué grupos tenían diferencias significativas. Los resultados revelan que los grupos háptico, virtual y control tienen puntajes de postest significativamente diferentes. De acuerdo con *tabla 26* de estimaciones por grupo, el grupo háptico tuvo el puntaje más alto con $\bar{X} = 15.741$ $\sigma = .539$; en segundo lugar, el Grupo Virtual con un puntaje de $\bar{X} = 12,545$ $\sigma = .544$; por último, el grupo control con un puntaje de $\bar{X} = 7.354$ y $\sigma = .570$. Los resultados por sexo presentados en la *tabla 27* mostraron una diferencia significativa entre hombres y mujeres con los siguientes puntajes: Sexo masculino $\bar{X} = 13.115$ y $\sigma = .428$ y sexo femenino $\bar{X} = 10.645$ $\sigma = .496$.

5.2.3.9 Diferencia entre pretest y postest

Para determinar la diferencia entre la prueba realizada antes de la intervención y la que se hizo posteriormente a la intervención se hizo una prueba T para muestras relacionadas, teniendo en cuenta que se aplicó a la misma población, los resultados se muestran a continuación:

En relación con la comparación de Medias entre el logro previo y el logro de aprendizaje final, la siguiente tabla muestra en sus resultados un promedio de 5,11 con una desviación estándar de 3,189 para el logro previo, y para el logro final de aprendizaje se encuentra con un promedio de 11,98 con una desviación estándar de 5,892.

Tabla 28. Estadística de muestras emparejadas Pretest-Postest

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	Pretest	5,11	90	3,189	,336
	Postest	11,98	90	5,892	,621

En relación con lo anterior (ver tabla 28), se aplicó una prueba T para muestras relacionadas con el fin de identificar las posibles diferencias significativas entre el logro previo y el logro final de aprendizaje.

Tabla 29. Prueba t para muestras relacionadas Pretest - Postest

Prueba de muestras emparejadas								
	Diferencias emparejadas							
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Pretest - Postest	-6,867	4,488	,473	-7,807	-5,927	-14,516	89	,000

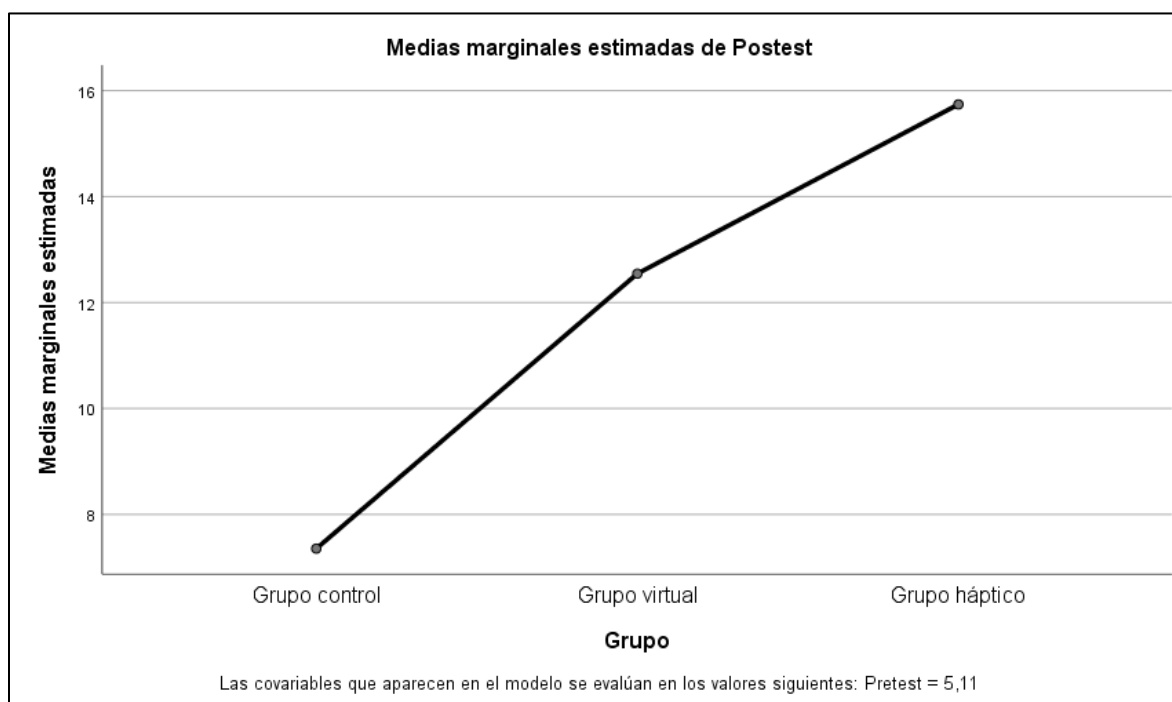
La tabla anterior (ver tabla 29) se evidencian diferencias significativas ($p < 0.001$) entre las variables Pretest y Postest, lo que sugiere que la intervención implementada tuvo un impacto positivo en el logro de aprendizaje de la habilidad de rotación mental.

5.2.3.10 Análisis gráficos.

La gráfica presentada a continuación (*ver Figura 11*) ilustra las medidas marginales de la variable dependiente logro de aprendizaje para cada uno de los grupos experimentales, luego de recibir la intervención en los grupos virtual (grupo con actividades de entrenamiento basadas en la manipulación de objetos virtuales) y háptico (grupo con actividades de entrenamiento basadas en la manipulación de objetos físicos), se debe tener en cuenta que el grupo Control no recibió ningún tipo de intervención.

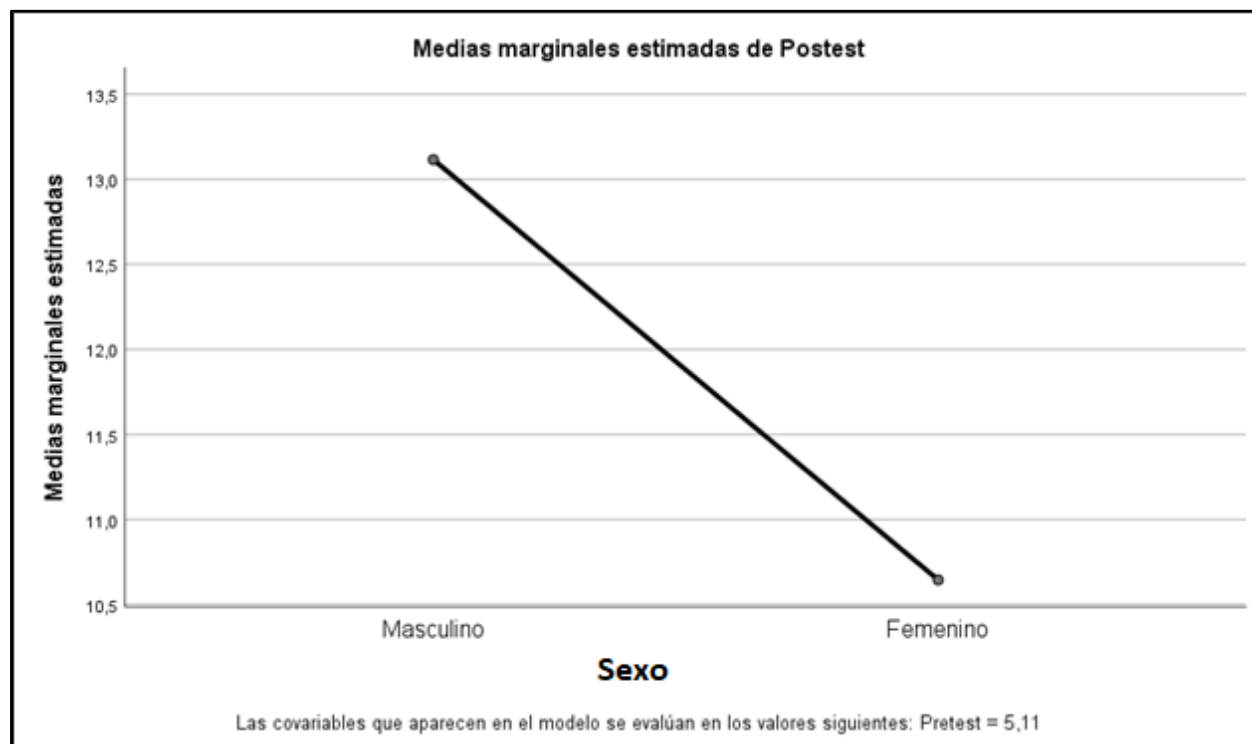
En la gráfica (*ver Figura 11*) se observa que después de la intervención el grupo que obtuvo el puntaje más alto fue el Háptico con una media de $\bar{X} = 15.741$ y una desviación estándar de $\sigma = .539$; en segundo lugar, el grupo virtual tuvo un puntaje alto con una media de $\bar{X} = 12,545$ y una desviación estándar de $\sigma = .544$; por último, el grupo control tuvo una media de $\bar{X} = 7.354$ y una desviación estándar de $\sigma = .570$.

Figura 11. Medias marginales del postest por Grupos



La gráfica presentada a continuación (*ver Figura 12*) ilustra las medidas marginales de la variable dependiente logro de aprendizaje para los grupos caracterizados por el sexo masculino-femenino, luego de recibir la intervención.

Figura 12. Medias marginales por sexo

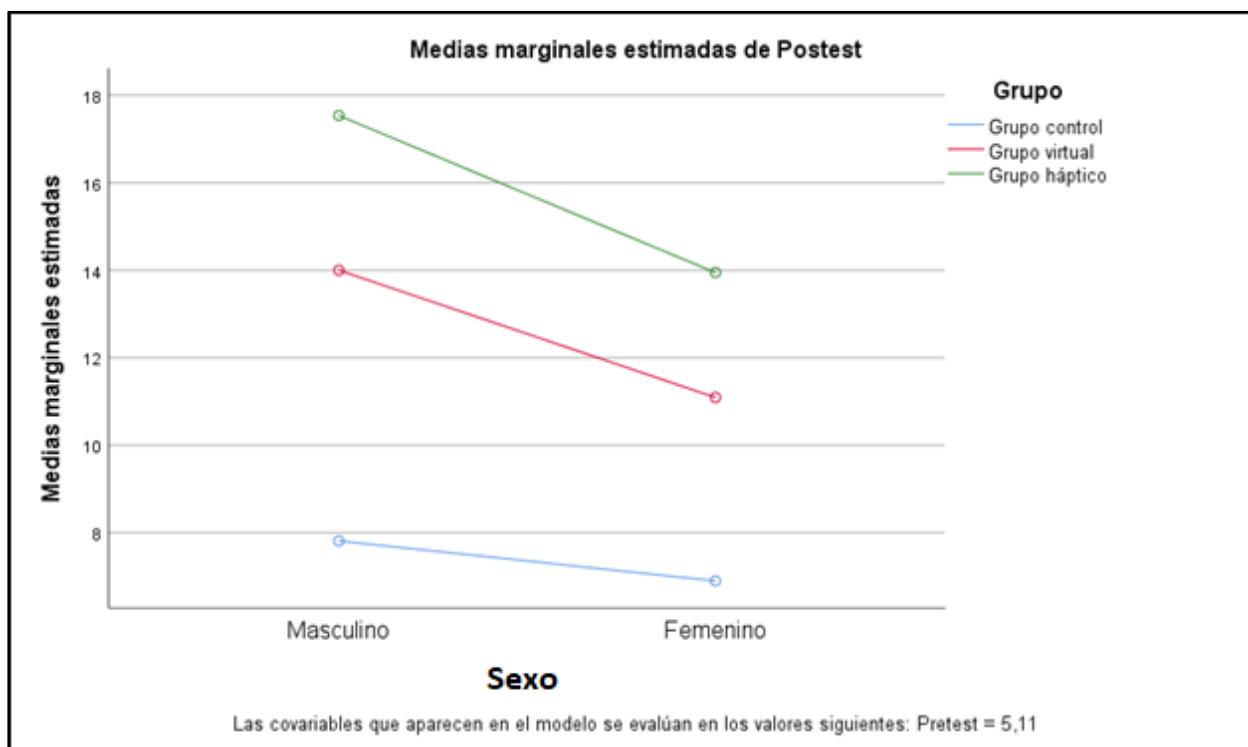


En la gráfica anterior (*ver Figura 12*) se observa que después de la intervención el grupo caracterizado por el sexo masculino obtuvo el puntaje más alto con una media de $\bar{X} = 13,115$ y una desviación estándar de $\sigma = .428$; en segundo lugar, el grupo caracterizado por el sexo femenino tuvo un puntaje bajo en comparación con el sexo masculino con una media de $\bar{X} = 10,645$ y una desviación estándar de $\sigma = .496$.

La gráfica presentada a continuación (*ver Figura 13*) ilustra las medidas marginales de la variable dependiente logro de aprendizaje para cada uno de los grupos experimentales y el sexo, luego de recibir la intervención en los grupos virtual (grupo con actividades de entrenamiento basadas en la manipulación de objetos virtuales) y háptico (grupo con actividades de entrenamiento basadas en la manipulación de objetos físicos), se debe tener en cuenta que el grupo control no recibió ningún tipo de intervención.

La línea de color verde representa las medias de la variable logro de aprendizaje para el Grupo experimental háptico, la línea de color rojo representa las medias de la variable logro de aprendizaje para el Grupo experimental virtual, mientras que la línea de color azul representa las medias de la variable logro de aprendizaje para el Grupo experimental control. Los valores de dichas líneas están agrupados por los grupos caracterizados por sexo masculino-femenino.

Figura 13. Marginales estimadas del logro de aprendizaje en presencia del ambiente de aprendizaje.



En la gráfica anterior (*ver Figura 13*) se observa que después de la intervención el grupo que obtuvo el puntaje más alto fue el Háptico perteneciente al sexo masculino con una media de $\bar{X}=19.07$ y una desviación estándar de $\sigma = 4.066$; en segundo lugar, el grupo Virtual perteneciente al sexo masculino con una media de $\bar{X}= 15,44$ y una desviación estándar de $\sigma = 4.985$; en tercer lugar, el grupo el Háptico perteneciente al sexo femenino con una media de $\bar{X}= 13.5$ y una desviación estándar de $\sigma = 3.445$; en cuarto lugar, el grupo el Virtual perteneciente al sexo femenino con una media de $\bar{X}= 9.92$ y una desviación estándar de $\sigma = 3.37$; el grupo control perteneciente al sexo masculino con una media de $\bar{X}= 7,42$ y una desviación estándar de $\sigma = 3,097$; por último, el grupo control perteneciente al sexo femenino con una media de $\bar{X}= 5,18$ y una desviación estándar de $\sigma = 2,562$.

Capítulo 6. Discusión y conclusiones

El propósito de esta investigación consistió en comparar el logro de aprendizaje de la habilidad cognitiva de la rotación mental en adolescentes de 13 a 15 años, después de interactuar con dos ambientes de aprendizaje diferentes; en un caso con actividades basadas en la manipulación de objetos físicos (armar figuras tridimensionales físicas) y en otro caso con actividades basadas en la manipulación de objetos virtuales (armar figuras tridimensionales virtuales). Se analizó el rendimiento de los adolescentes en función del sexo, masculino - femenino, en la etapa operacional formal.

Un análisis de varianza univariado ANCOVA fue utilizado para evaluar el efecto de los ambientes de aprendizaje, en sus diferentes versiones, sobre la variable dependiente del estudio. De este modo, el análisis univariado reveló que el resultado del logro final de aprendizaje de los

participantes estuvo influenciado de manera positiva. Asimismo, el sexo tuvo un papel diferencial en cada uno de los grupos.

6.1. Respuesta a la pregunta de investigación

Desde el primer capítulo se mencionó que las actividades de entrenamiento relacionadas con elementos hápticos y virtuales, como armar rompecabezas tridimensionales y jugar juegos de estrategia en línea, han demostrado su contribución en el desarrollo de habilidades espaciales, principalmente la rotación mental. Con base en esta premisa, se realizó una investigación para comparar el logro de aprendizaje de la habilidad cognitiva de la rotación mental en adolescentes de 13 a 15 años, después de interactuar con dos ambientes de aprendizaje diferentes: uno basado en actividades hápticas y otro basado en actividades virtuales. La pregunta de investigación se formuló de la siguiente manera: ¿En qué medida varía el logro de aprendizaje de la habilidad cognitiva de la rotación mental cuando se interactúa con un ambiente de aprendizaje con actividades basadas en la manipulación de objetos virtuales frente a un ambiente de aprendizaje con actividades que permitan la manipulación de objetos físicos, en estudiantes en etapa operacional formal?

Considerando lo anterior, el diseño del ambiente virtual de aprendizaje como una herramienta para facilitar el contenido y la implementación de entrenamientos en actividades relacionadas con la rotación mental, permitió a los participantes resolver problemas basados en rotación mental de manera más eficaz en términos de tiempo y precisión, lo que tiene relación con los planteamientos de (Romero, 2020; Newcombe y Learmonth, 2005) que indican que la rotación mental es lo suficientemente flexible para desarrollarse a medida que los individuos utilicen instrumentos de entrenamiento apropiados, pues estos les permitirán ejercitar y encontrar diferentes soluciones que disminuyen el tiempo de ejecución en tareas de rotación mental.

En relación con la comparación de medias entre el logro previo y el logro de aprendizaje final, el promedio del logro previo fue 5,11 con una desviación estándar de 3,189 y para el logro final de aprendizaje el promedio fue de 11,98 con una desviación estándar de 5,892 (*ver tabla 28*). En correspondencia con esto, al aplicar la prueba T para muestras relacionadas con el propósito de identificar las posibles diferencias significativas entre el logro previo y el logro final de aprendizaje, se muestra una diferencia significativa con $p < 0,001$ (*ver tabla 29*). Teniendo en cuenta los resultados mencionados anteriormente, se observa que el uso del ambiente de aprendizaje Mental Cubes Play en los grupos que recibieron intervención, contribuyó de manera efectiva con el desarrollo de la habilidad cognitiva de rotación mental, esto confirma los planteamientos hechos por Farzeeha, Omar, Mokhtar y Ali (2017), Tristancho, Vargas (2019) y Romero (2020), donde confirman los beneficios del uso de ambientes virtuales como medio para entrenar habilidades espaciales y contribuir en el desarrollo de la resolución de problemas en representaciones tridimensionales.

6.1.2 Ambiente virtual de aprendizaje y logro de aprendizaje.

A partir de los hallazgos obtenidos en esta investigación, a continuación, se expone la influencia que tuvo el Ambiente Virtual de Aprendizaje en los grupos que recibieron intervención, específicamente en los grupos basados en actividades virtuales y actividades hápticas, en comparación con el grupo control, que no recibió intervención alguna en el estudio.

Inicialmente se conformaron de manera aleatoria los tres grupos de la investigación mencionados en el párrafo anterior (cada grupo contó con una muestra de 30 participantes) con el propósito de garantizar que cualquier diferencia en los resultados entre grupos se deba a la variable de interés y no a diferencias preexistentes entre individuos de diferentes grupos. Los resultados presentados en la tabla de estadísticos descriptivos organizados por grupo experimental (*ver tabla 21*) presenta un logro de aprendizaje superior en el grupo háptico con una

media de 16,1 y una desviación estándar de 4,641, estos resultados ponen en evidencia que la manipulación de objetos físicos otorga elementos más efectivos para el desarrollo de habilidades relacionadas con la rotación mental en un corto plazo, lo que valida los resultados de Frick, Hansen, & Newcombe, 2013; Jamie & Newcombe, 2015; Schlegel, 2016; Yu, y otros, 2020) que demostraron que la manipulación de objetos físicos como medio de entrenamiento lograron un impacto positivo en el desarrollo de las habilidades espaciales, asimismo, los planteamientos de Brainin, Shamir y Eden (2021) que la intervención basada en la manipulación de objetos mostró un aumento significativo en la habilidad de rotación mental; en segundo lugar, se encuentra el grupo virtual con una media de 13,23 y desviación estándar de 5,144, estos resultados representan un incremento importante en logro de aprendizaje de rotación mental, no obstante, dichos resultados son inferiores a los obtenidos por el grupo háptico, posiblemente la facilidad y rapidez para manipular los objetos en el grupo háptico permitió que los participantes lograran mejores combinaciones de las figuras y una cantidad mayor de ángulos de visualización de los objetos que debían armar durante el entrenamiento, sin embargo, los resultados fueron positivos y concuerdan con los hallazgos de Hernández y Hernández (2017), Díaz y Garzón (2014), Chang, Heo, Yeh, Han y Li (2018), Zander, Wetzelb y Bertelb (2016) y Triviño y Velandia (2016) donde lograron resultados positivos sobre el desarrollo de habilidades de rotación mental usando interfaces virtuales como medio de entrenamiento; finalmente, el grupo control con una media de 6,6 y desviación estándar de 3,069, los resultados del grupo control son razonables teniendo en cuenta que no recibieron ninguna intervención, sin embargo, al estar en contacto con la prueba inicial (Pretest MRT-A) y recibir comentarios de las personas que recibieron la intervención, los resultados de la prueba final (Postest) tienen un pequeño incremento. Para establecer una línea de base y comparar los resultados de los grupos de tratamiento, se utilizó un grupo control que no recibió ninguna intervención adicional. Se tomó esta decisión debido a que se buscaba examinar

específicamente el efecto de las intervenciones de apoyo (hápticas y el virtuales) en el desarrollo del logro de aprendizaje de rotación mental, y se consideró que un grupo control sin intervención sería una forma adecuada de comparar los resultados. Se tuvo en cuenta la posibilidad de que los participantes del grupo control puedan sentirse desmotivados o no dedicar tanto esfuerzo a las evaluaciones debido a la falta de intervención, y se tomaron medidas para garantizar que los participantes del grupo control fueran similares en términos de edad, nivel de educación y experiencia previa en los participantes de los grupos de tratamiento. Además, se consideró que el uso de pretest y posttest ayudaría a minimizar cualquier posible fuente de sesgo o confusión.

En los resultados inter-sujetos (*ver tabla 24*) se observa un efecto significativo para la variable grupo, con diferentes grados de importancia medido por un valor de $F(2, 83) = 55.495$; $p < .001$; $\eta^2 = .574$. Los resultados de la prueba ANCOVA indican que hay una diferencia significativa en el criterio de evaluación entre los grupos en estudio ($F = 55.495$, $p < .001$). Además, el coeficiente de determinación (η^2) es de .574, lo que indica que el 57.4% de la variabilidad en los resultados puede ser explicada por las diferencias entre los grupos. Es importante tener en cuenta que los grupos son comparados con 2 grados de libertad ($df = 2, 83$). También, estos resultados indican que el valor de $F = 55.495$ indica que la varianza entre los grupos es significativamente mayor que la varianza dentro de los grupos, lo que sugiere que las diferencias entre los grupos son reales y no debidas al azar.

Lo resultados de la prueba ANCOVA también se relacionan con lo presentado en la de comparación de parejas (*tabla 25*), donde se observan diferencias significativas en todos los grupos lo que confirma los planteamientos hechos por Carlson, Peters, Gilbert y Vance (2015) en la intervención los puntajes MRT más elevados corresponden al grupo que recibió entrenamiento con actividades basadas en interacción háptica frente a un grupo que recibió entrenamiento con actividades basadas en la interacción virtual luego de dos semanas de intervención. En general,

las dos intervenciones de la presente investigación tuvieron un efecto positivo que indica que el entrenamiento de rotación mental basado en un ambiente virtual de aprendizaje se encarga de desarrollar destrezas cognitivas, mejorando y afinando su capacidad mientras los participantes se involucran con el instrumento de rotación espacial, lo anterior coincide con los hallazgos de Romero (2020), Hernández y Hernández (2017), Farzeeha, Omar, Mokhtar y Ali (2017) y Díaz (2014) los cuales coinciden que los ambientes de aprendizaje que impliquen contenidos para el entrenamiento del logro de aprendizaje de rotación mental permiten un desarrollo efectivo en un tiempo relativamente corto.

6.1.3 Logro de aprendizaje y sexo.

En este estudio, se investigó el desarrollo de la rotación mental en adolescentes entre los 13 y 15 años. A diferencia de otros estudios previos que se centraban en niños entre los 3 y 9 años o de 16 años en adelante, estudios que obtuvieron resultados positivos de dicha habilidad cognitiva. Se utilizó un rango de edad diferente partiendo de los planteamientos de Piaget descritos por Alderete (1983) que sugiere que, a partir de los once años, el niño puede dejar de utilizar como referencia las coordenadas naturales que le proporciona la experiencia, para servirse de coordenadas convencionales abstractas; son, por tanto, las operaciones formales las que capacitan al niño para comprender representaciones gráficas y ejes coordenados abstractos con mayor facilidad.

Los resultados presentados en la tabla de estadísticos descriptivos organizados por Grupo (*ver tabla 22*) muestran un resumen detallado de los puntajes obtenidos en el logro de aprendizaje final organizado por sexo, ahí se observa que los participantes del sexo masculino obtuvieron una media más alta que el femenino. La media total de participantes del sexo masculino fue de 13,45 con una desviación estándar de 6,348 en una muestra de 51; las participantes del sexo femenino

obtuvieron una media de 10,05 con una desviación estándar 4,645 en una muestra de 39, lo que indica que el sexo masculino desarrolla las habilidades de rotación mental a una velocidad superior al de las mujeres, sobre esta apreciación Jamie y Newcombe (2015) sugieren que hay una diferencia entre los juegos de niñas y niños, en particular, las niñas juegan menos con juguetes que impliquen manipulaciones espaciales que los niños, y que esta diferencia podría estar relacionada con las ventajas espaciales de los niños. Es decir, se sugiere que la menor exposición de las niñas a juguetes que impliquen manipulaciones espaciales podría ser un factor que contribuye a que los niños tengan mejores habilidades espaciales.

Continuando con los resultados de la tabla de efectos de inter-sujetos (*ver tabla 24*) presenta que hay diferencias significativas entre hombres y mujeres, se observó que hubo un efecto significativo para la variable sexo, con diferentes grados de importancia medido por un valor de $F(1, 83) = 13.155$; $p < .001$; $\eta^2 = .137$, estos resultados indican que hay una diferencia entre sexo masculino-femenino, y que esta diferencia no es debida al azar, ya que el valor p es menor a $.001$, lo que indica un nivel de significancia estadística muy bajo. El coeficiente de determinación $\eta^2 = .137$ indica que el 13.7% de la variabilidad en los resultados puede ser explicada por las diferencias entre los grupos. Aunque es un valor bajo, pero todavía significativo, ya que el valor p es menor a $.001$, lo que sugiere que las diferencias entre el sexo masculino-femenino son importantes y no son debidas al azar.

Complementando los resultados mencionados en el párrafo anterior, en la tabla de estadísticos descriptivos organizados por Grupo (*ver tabla 21*) se observan diferencias en cada grupo teniendo predominancia el sexo masculino en los puntajes de Posttest, lo cual se describe en la tabla de media marginales (*ver figura 12*), donde se observa que de acuerdo con la variable dependiente logro de aprendizaje y teniendo en cuenta el sexo de los participantes, al trabajar con el ambiente virtual de aprendizaje presentan puntajes MRT más altos en la rotación mental en los dos sexos,

no obstante, los participantes del sexo masculino tienen una ventaja importante en el logro de aprendizaje final. Por último, en el gráfico de medias marginales por sexo (*ver figura 12*) se observan las diferencias en los diferentes grupos de investigación (Grupo con actividades hápticas, Grupo con actividades virtuales y Grupo control) la variable dependiente logro de aprendizaje en la rotación mental en relación con el sexo y los ambientes de aprendizaje asignados a los participantes, se evidencia un avance en predominancia con el sexo masculino en todos los grupos. Los resultados indican que existen diferencias en el logro del aprendizaje de la rotación mental en relación con el sexo masculino. Al aplicar un ambiente virtual de aprendizaje Mental Cubes Play y analizar la información (*ver capítulo 5*), se descubrió que el sexo masculino tiene una mayor tendencia a lograr el aprendizaje en comparación con el sexo femenino. Esto respalda las afirmaciones de algunos investigadores como (Jamie & Newcombe, 2015; Vandenberg y Kuse, 1978; Triviño y Velandia, 2016; Romero, 2020) quienes argumentan que los hombres tienen un mejor rendimiento y logro de aprendizaje en tareas de rotación mental en comparación con las mujeres. En contraste con Farzeeha, y otros (2017) la investigación sugiere que no hay desigualdades en el desempeño en problemas relacionados con la rotación entre sexos masculino y femenino, siempre y cuando se les brinde el mismo entrenamiento en habilidades de rotación mental y razonamiento espacial.

6.2 Hipótesis

6.2.1 Hipótesis 1

En el primer caso se rechaza la hipótesis nula y se asume la hipótesis alternativa teniendo en cuenta los hallazgos de la investigación, la hipótesis aceptada es:

H1: Los participantes que reciben intervención con tareas de entrenamiento que implican la manipulación de objetos físicos, obtendrán puntajes más altos en la prueba estandarizada de

rotación mental (MRT-A), que los participantes que reciben intervención con tareas de entrenamiento que implican la manipulación de objetos virtuales.

Dentro del proceso metodológico propuesto, se llevó a cabo la validación de los datos mediante el análisis univariado. Esto permitió observar las diferencias existentes entre los diferentes grupos estudiados. Teniendo en cuenta los resultados de la investigación se encontró una relación positiva entre los ambientes de aprendizaje del grupo con actividades virtuales y el grupo con actividades hápticas sobre la variable dependiente logro de aprendizaje, no obstante, el grupo con actividades hápticas tuvo un resultado significativamente superior a los otros grupos. Dichos resultados concuerdan con los planteamientos hechos por Brainin, Shamir y Eden (2021) y Carlson, Peters, Gilbert y Vance (2015), donde los entrenamientos con actividades basadas en la manipulación de objetos físicos tienen predominancia sobre otros métodos basados en educación tradicional y elementos virtuales.

6.2.2 Hipótesis 2

En el segundo caso se rechaza la hipótesis nula y se asume la hipótesis alternativa teniendo en cuenta los hallazgos de la investigación, la hipótesis aceptada es:

H1: Los participantes caracterizados por el sexo masculino, obtendrán puntajes más altos en la prueba estandarizada de rotación mental (MRT-A), en comparación con las participantes de caracterizadas por el sexo femenino.

Dentro del proceso metodológico propuesto, se llevó a cabo la validación de los datos mediante el análisis univariado. Esto permitió observar las diferencias existentes entre los participantes de sexo masculino y femenino del grupo estudiado. Teniendo en cuenta los resultados de la investigación se encontró una relación positiva entre el sexo masculino y femenino, no obstante, el grupo del sexo masculino tuvo un resultado significativamente superior

a los otros grupos, lo que valida a Romero (2020), Jamie y Newcombe (2015), Triviño y Velandia (2016), Vandenberg y Kuse (1978) quienes argumentan que los hombres tienen un mejor rendimiento y logro de aprendizaje en tareas de rotación mental en comparación con las mujeres.

6.3 Conclusiones

Tomando como base los hallazgos obtenidos en el estudio y su relación con los objetivos específicos planteados, es importante continuar con la presentación y desarrollo de las conclusiones. Estas inferencias fueron obtenidas a través de un análisis minucioso de las variables investigadas, ya que es esencial comprender la influencia de cada una de ellas en los resultados obtenidos. Es importante tener en cuenta que estas deducciones son esenciales para entender los hallazgos del estudio y para poder tomar decisiones basadas en ellas. Además, estas conclusiones también pueden ser utilizadas para guiar futuras investigaciones en el mismo o en campos relacionados.

En este orden de ideas, los resultados de esta investigación sugieren que los contenidos y la distribución del ambiente virtual de aprendizaje favoreció el logro de aprendizaje de rotación mental, a través del análisis de los resultados obtenidos en la prueba estandarizada MRT-A (Postest), se observó una mejoría significativa en el logro de aprendizaje final de los participantes que recibieron esta intervención. Estos resultados proporcionan información valiosa para mejorar la enseñanza en ambientes virtuales de aprendizaje y promover el aprendizaje efectivo en los estudiantes Romero (2020), Hernández y Hernández (2017), Díaz y Garzón (2014), Chang, Heo, Yeh, Han y Li (2018), Farzeeha, Omar, Mokhtar y Ali (2017), los cuales validan el uso de ambientes de aprendizaje para el entrenamiento de la habilidad cognitiva de rotación mental.

También se concluye que, el grupo con mayor predominancia en el puntaje del logro de aprendizaje final fue el de grupo háptico, la intervención que implicó la manipulación de objetos

físicos para la solución de los ejercicios del ambiente de aprendizaje permitió un desarrollo más rápido de la habilidad cognitiva de la rotación mental en comparación con los otros grupos (Grupo de actividades virtuales y control) lo que coincide con los hallazgos de Brainin, Shamir y Eden (2021) y Carlson, Peters, Gilbert y Vance (2015) donde las actividades basadas en la manipulación de objetos físicos tienen predominancia con otras metodologías basadas en educación tradicional y elementos virtuales respectivamente. Asimismo, los resultados de Yu, Liu, Zhang, Zhao, Yu y Shi (2020), Frick, Hansen y Newcombe (2013), Fabrizio Leo, Julio Sandini, Alessandra Sciutti (2022), Jamie y Newcombe (2015) y Gleeson y Provancher (2013), las investigaciones sustentan que el uso de estrategias basadas en la manipulación de objetos físicos propicia un desarrollo efectivo de habilidades espaciales, particularmente la rotación mental.

Por otra parte, el grupo experimental virtual tuvo una mejora significativa en el logro de aprendizaje después de la intervención, que implicó la manipulación de objetos virtuales para la solución de los ejercicios del ambiente de aprendizaje permitió un desarrollo significativo de la habilidad cognitiva de la rotación mental, lo cual se relaciona con los hallazgos de Carlson, Peters, Gilbert y Vance (2015) donde el grupo con actividades virtuales tiene resultados positivos pero no logra superar el grupo basado en la manipulación de objetos físicos, indicando que este tipo de métodos puede requerir un mayor tiempo de entrenamiento para el desarrollo de la habilidad de rotación mental, posiblemente la facilidad y rapidez para manipular los objetos en el grupo háptico permitió que los participantes logaran mejores combinaciones de las figuras y una cantidad mayor de ángulos de visualización de los objetos que debían armar durante el entrenamiento. Los resultados del grupo experimental virtual concuerdan con los obtenidos por Romero (2020), Jamie y Newcombe (2015), Triviño y Velandia (2016), Hernández y Hernández (2017), Díaz y Garzón (2014), Chang, Heo, Yeh, Han y Li (2018), Farzeeha, Omar, Mokhtar y

Ali (2017), en los cuales, por medio intervenciones basadas en ambientes de aprendizaje basado en herramientas de entrenamiento virtuales lograron favorecer el logro de aprendizaje contribuyendo en el desempeño en la solución de tareas de tipo rotacional.

En cuanto al sexo masculino y femenino, los resultados del logro de aprendizaje indican que los ejercicios similares a los utilizados en la presente investigación permitieron a los participantes entrenarse para encontrar otras alternativas de solución en el menor tiempo posible. Además, se observó una mayor progresión y logro en el sexo masculino al solucionar problemas de tipo rotacional. Estos resultados sugieren que el tipo de ejercicios utilizados en esta investigación son eficaces para mejorar el aprendizaje en ambos sexos, pero especialmente en el sexo masculino. Lo que concuerda con las investigaciones hechas por Romero (2020), Jamie y Newcombe (2015), Triviño y Velandia (2016), Vandenberg y Kuse (1978) quienes argumentan que los hombres tienen un mejor rendimiento y logro de aprendizaje en tareas de rotación mental en comparación con las mujeres.

6.4 Limitaciones.

- En esta investigación solo se evaluó la habilidad cognitiva de rotación mental en estudiantes de educación básica, por lo que los resultados no pueden ser aplicados a otras edades o niveles educativos.
- Teniendo en cuenta el tamaño de la muestra con la que se contó en la presente investigación ($N = 90$), los resultados obtenidos pueden no ser generalizables.
- El grupo virtual tuvo únicamente de interactuar con la interfaz de entrenamiento únicamente con el ratón y el teclado, este aspecto es importante a tener en cuenta porque se hizo complicado para algunos participantes, lo que requirió un mayor tiempo de entrenamiento previo para obtener buenos resultados en la manipulación de la herramienta.

- Una posible limitación del presente estudio es que el grupo control no recibió ninguna intervención adicional. Aunque se consideró que un grupo control sin intervención sería una forma adecuada de comparar los resultados de los grupos de tratamiento, esta decisión podría haber afectado los resultados debido a factores externos no controlados en el estudio. Por ejemplo, los participantes del grupo control podrían haberse sentido desmotivados o no haber dedicado tanto esfuerzo a las evaluaciones como los participantes de los grupos de tratamiento. Sin embargo, se tomaron medidas para garantizar que los participantes del grupo control fueran similares en términos de edad, nivel de educación y experiencia previa en dibujo técnico a los participantes de los grupos de tratamiento, y se utilizó un pretest y postest para minimizar cualquier posible fuente de sesgo o confusión.

6.5 Recomendaciones para trabajos futuros.

- Cabe destacar que, los resultados obtenidos deben ser interpretados con precaución ya que se basan en una muestra específica y podrían variar si se realiza la investigación en una población diferente. En cualquier caso, estos hallazgos pueden ser útiles para diseñar programas de entrenamiento y mejorar la enseñanza de habilidades de resolución de problemas en el futuro.
- Se recomienda realizar investigaciones con un enfoque más específico en los diferentes aspectos de las habilidades espaciales para ampliar comprender mejor estos procesos cognitivos.
- La evaluación del desempeño se realizó mediante un único instrumento (MRT-A), por lo que se sugiere complementar con otras técnicas para una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos.

- Se recomienda llevar a cabo investigaciones longitudinales para evaluar cómo la intervención háptica y virtual afecta el desarrollo de la habilidad cognitiva de rotación mental a largo plazo.

Bibliografía

- Alderete, E. O. (1983). La teoría de Piaget sobre el desarrollo del conocimiento espacial. *Estudios de Psicología*, 93-108.
- Association), A. (. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association (7th ed.)*. Washington, D.C: American Psychological Association.
- Ávila, R. (1999). Factores asociados al logro educativo. *Alegría de Enseñar*, 32-38.
- Bishop, J. (1978). Developing students' spatial ability. *Science Teacher*, 20-23.
- Brainin, E., Shamir, A., & Eden, S. (2021). Robot programming intervention for promoting spatial relations, mental rotation and visual memory of kindergarten children. *Journal of Research on Technology in Education*.
- Burleson, W., Harlow, D., Nilsen, K., Perlin, K., Freed, N., Jensen, C., . . . Muldner, K. (2018). Active Learning Environments with Robotic Tangibles: Children's Physical and Virtual Spatial Programming Experiences. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 96-106.
- Campos, J., Anderson, D., Barbu-Roth, M., Hubbard, E., Hertenstein, M., & Witherington, D. (2000). Viajar a pie amplía la mente. *Infancia*, 149-219.
- Carlson, P., Peters, S., Gilbert, J., & Vance, A. (2015). Virtual Training: Learning Transfer of Assembly Tasks. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 770-782.
- Chadwick, C. (1979). *Los adolescentes ante el estudio—causas y consecuencias del rendimiento académico*. Madrid: Fundamentos.

- Chang, C., Heo, J., Yeh, S., & Li, M. (2018). The Effects of Immersion and Interactivity on College Students. *IEEE Access*, 66590-66599.
- Chen, X. (2013). STEM attrition: College students' paths into and out of STEM fields. *Institute of Education Sciences*.
- Città, G., Gentil, M., Allegra, M., Arrigó, M., Conti, D., Ottaviano, S., . . . Sciortino, M. (2019). The effects of mental rotation on computational thinking. *Computers & Education*.
- Contreras, L., Tristancho, J., & Vargas, L. (2013). Evaluación de factores de entorno que afectan el desarrollo de habilidades espaciales en estudiantes de primer semestre en Ingeniería Industrial. *Revista Academia y Virtualidad* , 17-32.
- Díaz, J., & Garzón, J. (2014). Propuesta de una actividad escolar basada en realidad aumentada para el desarrollo del razonamiento espacial, hacia la enseñanza de proyecciones ortogonales. (*Tesis de maestría*). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Erazo, J., & Ospina, L. (2013). Una estrategia didáctica para la enseñanza de ecuaciones lineales con una incógnita en el marco de la pedagogía conceptual. *VII CIBEM*.
- Estrada, J., Estrada, A., Santana, H., & Llópiz, L. (2009). *Dibujo Técnico I*. Culiacán: Compiladores.
- Farzeeha, D., Omar, M., Mokhtar, M., & Ali, M. (2017). Enhancing students' mental rotation skills in engineering drawing by using virtual learning environment Geometric Thinking View project Engineering Drawing Skills Improvement View project. *Man in india*, 161-170.
- Frick, A., Hansen, M., & Newcombe, N. (2013). Development of mental rotation in 3- to 5-year-old children. *Cognitive Development*, 386-399.

- Gleeson, B., & Provancher, W. (2013). Mental Rotation of Tactile Stimuli: Using Directional Haptic Cues in Mobile Devices. *IEEE Transactions on Haptics*, 330-339.
- Golledge, R., Rice, M., & Jacobson, R. (2006). Multimodal interfaces for representing and accessing geospatial information. *Frontiers of Geographic Information Technology*.
- González, J. (2003). El rendimiento escolar. una análisis de las variables que lo condicionan. *Revista galego-portuguesa de psicoloxía e educación*.
- Guacaneme, E., Andrade, L., Perry, P., & Fernández, F. (2003). *¿CONFÍA EN SUS CONOCIMIENTOS GEOMETRICOS PARA CONSTRUIR FIGURAS SEMEJANTES?* Bogotá: Universidad de los Andes Colombia.
- Halpern, D. (2000). Sex differences in cognitive abilities, 3rd ed. *Lawrence Erlbaum Associates Publishers*.
- Harris, J., Díaz, I., & Newcombe, N. (2013). Comprensión de las transformaciones espaciales: similitudes y diferencias entre la rotación mental y el plegado mental. *Procesamiento cognitivo*, 105-115.
- Heil, M. (2013). Spatial ability: An overview and future directions. *Spatial cognition VII*, 1-24.
- Hernández, J., & Hernández, W. (2017). Potencial creativo, habilidades espaciales, logro de aprendizaje y estilo Cognitivo: Relaciones y diferencias a partir de la interacción con un ambiente de aprendizaje basado en el videojuego. (*Tesis de maestría*). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. México D.F: Mc Graw Hill.
- Hernantes, J., Díaz, I., Borro, D., & Gil, J. (2012). Effective Haptic Rendering Method for Complex Interactions. *Haptics Rendering and Applications*.

- Jamie, J., & Newcombe, N. (2015). Building Blocks for Developing Spatial Skills: Evidence From a Large, Representative U.S. Sample. *Psychological Science*.
- Julià, C., & Antolí, J. (2016). Spatial ability learning through educational robotics. *International Journal of Technology and Design Education*, 185-203.
- Kerlinger, F., & Lee, H. (2002). *Investigación del Comportamiento. Métodos de Investigación en Ciencias Sociales*. México D.F: MCGRAW-HILL.
- Klatzky, R., Lederman, S., & Metzler, V. (1985). Identifying objects by touch: An "expert system". *Perception y Psychophysics*, 299-302.
- Kyttälä, M., & Hautamäki, J. (2006). Spatial skills and mathematics. In J. I. D. Campbell (Ed.). *Handbook of mathematical cognition*, 177-195.
- Leo, F., Sandini, G., & Sciutti, A. (2022). Mental Rotation Skill Shapes Haptic Exploration Strategies. *IEEE Transactions on Haptics*.
- Linares, A. (2008). Desarrollo cognitivo: las teorías de Piaget y Vygotsky. (*Master en paidopsiquiatría*). Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Merchán, C., & Salazar, C. (2004). Elementos Favorables para el Diseño de Ambientes Virtuales de Aprendizaje. *Revista Cuestiones de la escuela de Ciencias Sociales, Humanidades y Artes UNAB*, 45-59.
- Mertler, C., & Vannatta, R. (2017). *Advanced and Multivariate Statistical Methods Practical Application and Interpretation*. New York: Routledge.
- Moen, K., Beck, M., Saltzman, S., Cowan, T., Burleigh, L., & Butler, L. (2020). Strengthening spatial reasoning: elucidating the attentional and neural mechanisms associated with mental rotation skill development. *Springer Open*.

- Möhring, W., & Frick, A. (2013). Retocar la rotación mental: Efectos de la experiencia manual en la rotación de objetos mentales de bebés de 6 meses de edad. *Desarrollo infantil*, 1554-1565.
- Newcombe, N., & Learmonth, A. (2005). Development of Spatial Competence. In P. Shah & A. Miyake (Eds.). *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking* , 213-256.
- Newman, S., Hansen, T., & Arianna, G. (2016). An fMRI Study of the Impact of Block Building and Board Games on Spatial Ability. *Frontiers in Psychology*.
- Oviedo, H., & Campo, A. (2005). Aproximación al uso del coeficiente alfa de Cronbach. *Revista Colombiana de Psiquiatría*.
- Patiño, F. (2019). La Rotación Mental como herramienta para evaluar la influencia de la formación como fisioterapeuta en las competencias espaciotemporales. *Iberoamericana Corporación Universitaria*.
- Pérez, V., & Santís, M. (2016). Interfaces Hápticas: sistemas cinestésicos vs. sistemas táctiles. *Revista EIA*.
- Piaget, J. (1952). *The Origins of Intelligence in Children*. Nueva York: Nueva York: International Universities Press.
- Pinzón, J., & Hederich, C. (2008). Caracterización de algunos factores asociados al nivel de logro en la educación virtual. *Umbral Científico*, 141-159.
- Rodríguez, M., Palacios, L., Moreno, J., Rivas, R., & Talavera, J. (2013). Investigación clínica XIX del juicio clínico al análisis de covarianza. *Temas de actualidad*.
- Romero, J. (2020). Logro de aprendizaje en tareas de rotación mental en grupo heterogéneo de estudiantes, caracterizados con estilos cognitivos específicos (dependencia, intermedio e independencia de campo). (*Tesis de maestría*). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.

- Shepard, R., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 701-703.
- Sorby, S. (2009). Educational Research in Developing 3-D Spatial Skills for Engineering Students. *International Journal of Science Education*, 459-480.
- Sorby, S., & Baartmans, B. (2000). Spatial visualization and success in engineering: A review and analysis. *International Journal of Engineering Education*, 1486-1503.
- Taintor, A., LaMarr, T., Ruiz, W., Márquez, M., Elam, E., Carnahan, A., & Seegers, A. (2022). *INFANT AND TODDLER CARE AND DEVELOPMENT*. Libretexts.
- Tamayo, N. (2014). Imaginería mental: neurofisiología e implicaciones en psiquiatría. . *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 40-46.
- Tristancho, J. A., Vargas, L., & Contreras, L. (2019). Desarrollo de habilidades espaciales en estudiantes de ingeniería mediante CAD especializado. *Scientia et Technica*, 57-66.
- Triviño, J., & Velandia, J. (2016). Estudio de la actividad cerebral en la rotación mental en hombres y mujeres por medio de EGG. (*Tesis de maestría*). Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá.
- Valiente, A., & Galdeano, C. (2014). Habilidades espaciales y competencias en Ingeniería Química. *Educación química*.
- Vandenberg, S., & Kuse, A. (1978). Mental Rotations, a Group Test of Three-Dimensional Spatial Visualization. *Perceptual and Motor Skills*, 599-604.
- Wood, D., Bruner, J., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 89-100.

Yu, M., Yong-Jin, L., Zhang, Y., Guozhen, Z., Chun, Y., & Shi, Y. (2020). Interactions With Reconfigurable Modular Robots Enhance Spatial Reasoning Performance. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, 300-310.

Zander, S., Wetzel, S., & Bertel, S. (2016). Rotate it! – Effects of touch-based gestures on elementary school students' solving of mental rotation tasks. *Computers & Education*, 158-169.