



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

ANÁLISIS DE PREFERENCIAS DE GESTOS DE MANOS EN VR PARA NIÑOS DE  
ENSEÑANZA BÁSICA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS, MENCIÓN  
COMPUTACIÓN

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN COMPUTACIÓN

MAXIMILIANO ALBERTO EDWARDS CAÑAS

PROFESOR GUÍA:  
JOSÉ A. PINO URTUBIA  
NELSON BALOIAN TATARYAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
CLAUDIA LÓPEZ MONCADA  
SANDRA DE LA FUENTE GONZÁLEZ  
SERGIO F. OCHOA DELORENZI

SANTIAGO DE CHILE  
2021

# Resumen

Realidad Virtual representa un avance en la tecnología que, entre otras cosas, ha logrado mejorar diversos aspectos del aprendizaje en niños, como aumentar el compromiso y la motivación de los niños con la enseñanza. Además se han creado nuevas tecnologías como el Leap Motion Controller para capturar los movimientos de la mano con una precisión de menos de 1 mm y un *frame rate* de 100 fps, facilitando el uso de esta tecnología e impulsando desarrollos que requieran del seguimiento de manos. Así se crea un contexto ideal para el desarrollo de investigaciones en múltiples áreas que requieren del uso de gestos de manos en VR.

Una de ellas, relacionada a la disciplina de HCI, es el análisis de los gestos sin contacto para realizar interacciones en un ambiente de VR. Esta es un área que necesita mayor investigación y análisis basados en la experiencia de los usuarios [Johnson-Glenberg, 2018]. Es así que la presente investigación busca establecer y analizar distintos gestos sujetos a acciones o tareas concretas que habilitan la interacción del usuario. En este análisis se realiza una comparación de los gestos según su precisión al ser usado, tomando en cuenta la realización efectiva de la acción y los errores cometidos por parte de los usuarios, y por otro lado la necesidad de visitar los tutoriales para recordar el gesto. Por último, se incluye una componente basada en la opinión de los usuarios en el análisis al evaluar la preferencia de uso de cada gesto.

Tomando en consideración el contexto de pandemia por Covid-19, se logró contar con veintidós niños de primero y segundo básico. Con los cuales fue posible obtener resultados favorables para validar esta investigación, al presentar una clara preferencia entre dos gestos posibles para cada una de las siguientes tres acciones definidas: selección, desplazamiento e inspección de un objeto. Preferencia que se obtiene al revisar los indicadores anteriormente mencionados. De esta manera, se logra generar un primer lineamiento sobre los gestos más adecuados para usar en distintas acciones para niños de enseñanza básica, dentro del contexto del aprendizaje de inglés como un segundo idioma. Sin embargo, es pertinente continuar realizando el experimento con más participantes para así asegurar resultados concluyentes, que además permitan eventualmente enriquecer la investigación con la posibilidad de realizar análisis estadísticos basados en subgrupos de los participantes.

Si bien todavía es posible evaluar más gestos y acciones, estos resultados permiten obtener una guía inicial para nuevos desarrollos de aplicaciones que utilicen gestos sin contacto en VR. Conjuntamente se proporcionan gestos evaluados con niños de enseñanza básica y sometidos a una metodología comparativa para asegurar un correcto desempeño de la tarea que realizan. En efecto, la metodología utilizada posibilita la evaluación de nuevos gestos y acciones para profundizar el análisis y los resultados obtenidos.

*Para mi Abu.*

# Agradecimientos

A mis padres, Macarena Cañas y Alberto Edwards, por darme todas las oportunidades y nunca limitarme a la hora de perseguir mis sueños. A mi hermana, Antonia Edwards, por estar siempre presente y ser un apoyo constante. A mi tía, Valeria Cañas, y mis primos, María José y Lorenzo, por el cariño incondicional entregado.

A mis amigos por acompañarme durante toda la vida y en especial ahora para las siguientes etapas que se avecinan. Particularmente agradecer a Martín Valdevenito, Alberto Stead y Gerardo Sepúlveda por impulsarme y llenarme de ánimos para seguir adelante.

A mis profesores guías de la tesis, Nelson Baloian y José A. Pino, por confiar en mí y por la gran disposición que me brindaron en todo momento. Gracias por permitirme desarrollar esta tesis libremente.

A Scout, por darme un estilo de vida en sintonía con la naturaleza y la vida en comunidad que me representa. Particularmente agradecer a Raimundo De La Fuente y Antonia Márquez por las alegrías y aventuras vividas recorriendo Chile.

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Motivación . . . . .	2
1.2. Problema . . . . .	3
1.3. Preguntas de Investigación . . . . .	3
1.4. Hipótesis . . . . .	4
1.5. Objetivos . . . . .	5
<b>2. Marco Teórico y Trabajos Relacionados</b>	<b>6</b>
2.1. Aprendizaje con VR . . . . .	6
2.2. Aplicaciones Similares . . . . .	8
2.3. Diseños de HCI en VR . . . . .	9
2.4. Tecnologías Disponibles . . . . .	10
2.5. Clasificación de Gestos de Manos . . . . .	11
<b>3. Definición de Gestos</b>	<b>13</b>
3.1. Presentación de la Solución . . . . .	13
3.2. Definición de Escenas . . . . .	14
3.3. Definición de Acciones . . . . .	15
3.4. Definición de Gestos . . . . .	16
3.4.1. Acción: Selección de objetos . . . . .	16
3.4.2. Acción: Desplazamiento de objetos . . . . .	17
3.4.3. Acción: Inspección de objetos . . . . .	18
3.4.4. Resumen de los gestos a evaluar . . . . .	19
<b>4. Desarrollo de la aplicación</b>	<b>20</b>
4.1. Consideraciones previas . . . . .	20
4.2. Descripción general . . . . .	21
4.3. Navegación por acción . . . . .	22
4.4. Estructuras en común . . . . .	24
4.4.1. Objetos . . . . .	24
4.4.2. Tutoriales . . . . .	25
4.4.3. Escenas . . . . .	27
4.5. Experimentación . . . . .	28
4.5.1. Pre-Test . . . . .	28
4.5.2. Test . . . . .	29
4.5.3. Post-Test . . . . .	29

4.6. Validación de usabilidad . . . . .	29
4.7. Selección de Participantes . . . . .	30
<b>5. Análisis de Resultados</b>	<b>32</b>
5.1. Resultados . . . . .	32
5.2. Visitas adicionales al tutorial por gesto . . . . .	34
5.3. Aciertos y Errores por gesto . . . . .	35
5.4. Tiempo y Cantidad de ejecuciones por gesto . . . . .	36
5.5. Prueba t-Student por acción . . . . .	38
5.6. Motivación de uso entre gestos por cada acción . . . . .	41
5.7. Resumen de preferencias . . . . .	42
5.8. Discusión . . . . .	43
<b>6. Conclusión</b>	<b>46</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>49</b>

# Índice de Tablas

2.1. Taxonomía para gestos. Basada en [Jahani and Kavakli, 2017], [Erazo and Pino, 2018] y [Wu et al., 2019]. . . . .	12
3.1. Resumen de gestos a evaluar. . . . .	19
5.1. Resultados por indicador de cada participante. . . . .	33
5.2. Resumen de resultados p-valor por acción para distintos indicadores. . . . .	39
5.3. Resumen de resultados por indicador. . . . .	43

# Índice de Figuras

3.1.	1.1	Gesto de abrir y cerrar los dedos de la mano. . . . .	16
3.2.	1.2	Apuntar al objeto con el dedo índice. . . . .	17
3.3.	2.1	Desplazar objeto siguiendo el camino de la mano. . . . .	17
3.4.	2.2	Desplazar objeto según dirección de flechas seleccionadas. . . . .	18
3.5.	3.1	Rotar objeto siguiendo el giro de la mano. . . . .	18
3.6.	3.2	Rotar objeto según dirección de flechas seleccionadas. . . . .	19
4.1.		Visor y LMC. . . . .	21
4.2.		Navegación por cada acción. . . . .	22
4.3.		Vista del menú de acceso a los tutoriales de gestos para una acción. . . . .	23
4.4.		Cubos y esferas interactivables. . . . .	24
4.5.		Plato, tetera y sartén interactivables. . . . .	25
4.6.		Vaca, pato y oveja interactivables. . . . .	25
4.7.		Tutorial para seleccionar un objeto. . . . .	26
4.8.		Tutorial para rotar un objeto. . . . .	26
4.9.		Vista superior de la cocina. . . . .	27
4.10.		Vista superior de la granja. . . . .	28
4.11.		Participantes interactuando con el dispositivo. . . . .	31
5.1.		Promedio de visitas a los tutoriales. . . . .	34
5.2.		Precisión promedio de cada gesto por acción. . . . .	36
5.3.		Tiempo vs. precisión por cada gesto. . . . .	37
5.4.		Cantidad promedio de gestos para realizar la acción. . . . .	38
5.5.		Histograma de visitas al tutorial promedio por gesto. . . . .	40
5.6.		Histograma de precisión promedio por gesto. . . . .	40
5.7.		Histograma de cantidad promedio de gestos para realizar cada acción. . . . .	41
5.8.		Promedio de evaluación de cada gesto. . . . .	41
5.9.		Preferencia de los usuarios por cada acción. . . . .	42



# Capítulo 1

## Introducción

Realidad Virtual (VR por sus siglas en inglés) se puede definir como la tecnología que logra una inmersión del usuario en un mundo virtual generado por un computador al reemplazar el mundo real que lo rodea [Orlosky et al., 2017]. VR se ha usado como herramienta para distintos ámbitos de desarrollo, uno de ellos ha sido el apoyar el aprendizaje en niños generando un impacto positivo al mejorar distintos aspectos de la enseñanza que se han evaluado en diversas investigaciones realizadas hasta la fecha. Sin embargo, el análisis de la interacción que tienen los niños, en base a gestos con esta tecnología, ha sido postergado al no haber investigaciones vigentes [Johnson-Glenberg, 2018].

En cuanto a los avances en aprendizaje, existen estudios sobre la mejora que significa usar VR en la retención y memoria del aprendizaje con respecto a metodologías tradicionales de enseñanza [Papanastasiou et al., 2018]. Además, el uso del contexto asociado al conocimiento durante la enseñanza se ve reflejado en la posibilidad de incluir aspectos culturales al momento de enseñar un idioma, como es el caso de aprender japonés en torno a las principales costumbres de cortesía de su cultura [Cheng et al., 2017]. Por otra parte, se puede aprovechar la movilidad física inherente a la interacción apoyada con VR para facilitar la asimilación de nuevos conocimientos, como se describe en [Schmidt et al., 2019]. Por último, se ha investigado que el uso de VR contribuye a evitar el aburrimiento o desentendimiento al momento de aprender vocabulario en un segundo idioma, al presentar una estrategia que permite el uso del contexto de las palabras a estudiar aumentando el compromiso del alumno con el aprendizaje [Dalim et al., 2020].

En vista que la incorporación del uso de VR en la enseñanza provee mejoras para la adquisición de nuevos conocimientos, podemos preguntarnos por los gestos que habilitan una satisfactoria interacción al usar esta tecnología. En efecto, VR ha posibilitado el uso de gestos naturales para la interacción con el computador, entendiendo los gestos naturales como aquellos que generan una sensación más próxima a la realización de gestos en el mundo real [Li et al., 2019]. Esto se traduce en una amplia gama de gestos nuevos para usar e implementar en esta tecnología emergente. Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar y comparar la usabilidad y motivación que genera cada gesto en niños que quieran aprender vocabulario en inglés, como segundo idioma, de forma innovadora.

Es así que la elección de gestos para VR corresponde al siguiente paso para seguir desarrollando e investigando nuevos avances con respecto a esta emergente tecnología. En consecuencia, se conduce al refinamiento de la Interacción Humano-Computador (HCI por sus siglas en inglés), específicamente para gestos sin contacto (touchless gestures), al evaluar cuáles gestos suponen una mejor interacción con las aplicaciones basadas en VR, tanto en usabilidad como en motivación para el usuario dentro del contexto de esta investigación. Si bien existen evaluaciones iniciales para distintos gestos en VR [Jahani and Kavakli, 2017], estas no se han realizado en el contexto anteriormente descrito, ni tampoco se han realizado comparaciones entre los distintos gestos. Es por eso que se busca sentar las bases para la priorización de touchless gestures al momento de desarrollar aplicaciones que utilizan VR.

Al tomar en cuenta todas estas ventajas que presenta el uso de VR en la educación, podemos preguntarnos por el aprendizaje en Chile, particularmente en relación al nivel del vocabulario en inglés de niños en enseñanza básica de nuestro país. Se percibe que sólo tres de cada diez estudiantes de tercero medio alcanzan un nivel básico o intermedio que se debería haber logrado mientras cursaba octavo básico [age, 2019]. Por lo que fomentar la enseñanza de vocabulario con VR constituye un paso importante en la mejora de estas estadísticas al considerar que la adquisición de nuevo vocabulario corresponde a la primera parte de la enseñanza de una lengua extranjera [Mcgraw et al., 2009].

## 1.1. Motivación

Para que una aplicación cumpla su objetivo, cualquiera que sea, debe ser “usable” permitiendo que los usuarios puedan sacar provecho de ella a un costo de tiempo y recursos comparativamente bajos. Esto es especialmente cierto en aplicaciones orientadas al aprendizaje [Baloian et al., 2008]. Es por eso que se recomienda que el diseño de nuevas aplicaciones gire en torno a la experiencia del usuario con el sistema. De esta forma, se pueden conocer las preferencias de los usuarios al desarrollar distintas acciones para poder incorporarlas al diseño y lograr una interacción lo más natural posible. Para lo anterior, es necesario estudiar los diferentes gestos en VR a usar en la educación de niños para poder entregarles una mejor experiencia de usuario, en términos de motivación y usabilidad, al reducir errores y facilitar el reconocimiento de los gestos. Se trata de generar lineamientos para la elección de gestos para futuras aplicaciones de VR que apoyen la educación de menores en distintos ámbitos.

Según varios autores, la interacción con gestos en VR sigue presentando dificultades. Por una parte, la realización de una tarea o acción puede ser completada usando más de un gesto posible. Lo que genera una dificultad sujeto a la complejidad y diferencias de ejecución de los distintos usuarios para describir una tarea [Jahani and Kavakli, 2017]. Por otra parte, los gestos en VR toman un mayor tiempo de ejecución que el uso del mouse, por lo que es necesario tener en consideración el cansancio que cada gesto puede producir en el usuario y buscar la forma de minimizarlo [Cabral et al., 2005]. Por último, se reconoce que falta delimitar y analizar los gestos en 3D al ser un área que necesita mayor investigación y lineamientos de diseño que estén basados en evidencia [LaViola Jr et al., 2017]. Esto justifica la necesidad de esta investigación para proporcionar lineamientos del uso de gestos para distintas acciones.

Para realizar un aporte real en el aprendizaje de niños, es necesario buscar un contexto

dentro de la enseñanza en el cual el uso de gestos sirva como una herramienta habilitadora para una interacción efectiva. Considerando lo anterior, este estudio se enmarca en el aprendizaje de vocabulario en inglés, contexto en el cual se estima que los gestos aportan real valor al aprendizaje [Baloian et al., 2013], sin desmedro de su aplicabilidad en otras áreas de la enseñanza.

Saber inglés corresponde a una ventaja comparativa indispensable en el mundo actual, particularmente al proporcionar oportunidades laborales, mayor conocimiento y posibilidad de interactuar con gran parte del mundo de manera fluida y natural [oxf, 2020]. Además, el aprendizaje de un segundo idioma potencia la creatividad y flexibilidad de mente [Ford, 2014]. En definitiva, al enseñar inglés se está aportando directamente en la formación y futuro profesional de cada niño, como también ampliar sus horizontes y participación con el resto del mundo. Lo anterior es la motivación suficiente para utilizar el aprendizaje de este idioma como escenario de prueba en la realización de la investigación.

Por último, siempre estará presente el impulso incansable por aumentar el conocimiento en el campo científico de touchless gestures en HCI. De esta forma, es interesante ser parte de los avances científicos que contribuyan al uso de esta tecnología y permitir seguir ahondando en estos temas, como también validar y utilizar estos avances en diversos contextos más allá de la enseñanza de vocabulario.

## 1.2. Problema

Si bien existen mediciones del impacto positivo que tiene VR en la educación, falta todavía mejorar la interacción gestual para sistemas de VR al evaluar los gestos que se disponen para cada acción presente en el aprendizaje de vocabulario. Definiremos estas acciones en base a las interacciones disponibles dentro del aprendizaje que pueden ser desarrolladas mediante un gesto. Así, cada acción se caracteriza como una tarea que desea llevar a cabo el usuario en el sistema para manipular un objeto o el mismo entorno virtual en el que se encuentra. Además, estas acciones pueden conllevar un significado, como puede ser la asociación de la palabra en inglés con el objeto correspondiente. Por lo que se pretende agrupar en las diferentes acciones las formas de interactuar con el sistema dentro del marco de la enseñanza de vocabulario.

Para cada una de estas acciones existen múltiples gestos mediante los cuales se pueden llevar a cabo. Por lo que surge la necesidad de contar con gestos para cada acción, de tal manera de poder formar una selección adecuada de gestos para la investigación. Esta selección de gestos permite iniciar la búsqueda de una mejor interacción basada en gestos para sistemas de VR. Esto se logra al definir y analizar componentes de usabilidad, tales como menor cantidad de errores cometidos y mayor capacidad de reconocimiento, y motivación presentada por los niños participantes al establecer una preferencia en cuanto a gestos. Esto aporta a mejorar la forma de interactuar de los niños con sistemas de VR.

## 1.3. Preguntas de Investigación

A continuación, se presentan las preguntas de investigación que llevaron a la formulación de la hipótesis. Estas preguntas se basan en buscar comparaciones entre gestos de VR, es-

pecíficamente en la elección de unos sobre otros por parte de los usuarios. De esta forma, preguntarse por cuál gesto o conjunto de gestos logra una resolución efectiva al problema de interacción entre niños con el computador mediante el uso de VR.

Para plantear las preguntas de investigación y la hipótesis que guiará esta trabajo primero debemos aclarar el contexto en el cual se va a medir y probar. Para eso, definimos los límites de la investigación en los gestos de mano a utilizar durante el aprendizaje del vocabulario en inglés en niños de enseñanza básica; particularmente niños 6 a 8 años de edad correspondientes a los cursos de primero y segundo básico. De esta forma, acotamos el universo total de gestos de VR y también los usos que se le pueden dar a estos dependiendo de cada contexto. Cabe destacar que para estas preguntas e hipótesis se entenderá por “mejores gestos” aquellos que representen un menor índice de error al ser ejecutados, como también la facilidad de reconocer y recrear el gesto en cuestión. Se logra así una mayor usabilidad para el usuario. Además, va a ser importante el nivel de satisfacción y motivación que el gesto genera en el usuario.

1. ¿Cuáles gestos permiten una mejor interacción de VR para niños de enseñanza básica?
2. ¿Cuáles gestos logran una mayor motivación al usar VR para los niños de enseñanza básica?
3. ¿Existe alguna preferencia, acorde a usabilidad y motivación, sobre cuáles gestos usar de VR para niños de enseñanza básica?

## 1.4. Hipótesis

Para la formulación de la hipótesis es importante tomar en consideración la clasificación que se le asigna a cada gesto. Esto en base a varias componentes que permiten distinguir un gesto de otro. Por lo tanto, es preferible comparar gestos con clasificaciones distintas con la intención de enriquecer el estudio al incorporar una variación de los gestos sujeto a su taxonomía basada en la Tabla 2.1.

Teniendo en cuenta lo anterior, la hipótesis y la hipótesis cero corresponden a:

- H: Existe un conjunto de gestos mejores (más usables/motivacionales) que otros que contribuyen a la usabilidad y motivación en el contexto de niños de primero y segundo básico al aprender vocabulario en inglés.
- H0: No existe una preferencia en cuanto a gestos en VR para el aprendizaje de vocabulario en inglés para niños de primero y segundo básico.

Esta hipótesis puede llegar a ser aceptada o rechazada en vista de que los gestos son medibles, ya que están sujetos a evaluaciones y monitoreos. En particular, se puede contar la cantidad de aciertos y errores que el usuario comete al tratar de realizar un gesto. Además, es posible saber si el usuario logra recrear el gesto para volver a interactuar del mismo modo, o bien necesita revisar la documentación o repetir el tutorial asociado al gesto para luego poder realizarlo nuevamente. Por último, se puede encuestar a los usuarios sobre la motivación y satisfacción que les generó el uso de cada gesto en particular. De esta forma, se puede asegurar la correcta medición de la hipótesis luego de la experimentación.

## 1.5. Objetivos

El objetivo general de esta investigación es evaluar la usabilidad y motivación que generan distintos gestos que se usan en un sistema de VR de apoyo al aprendizaje de vocabulario de inglés para niños de enseñanza básica en el ambiente urbano en Chile.

Los objetivos específicos que guían el desarrollo de la investigación son los siguientes:

1. Establecer un conjunto de al menos 2 gestos por cada acción necesaria para la educación mediante VR.
2. Encontrar gestos aceptables para los usuarios al evaluar las preferencias de los usuarios para los gestos para cada acción según su usabilidad y motivación.

En relación a los objetivos anteriores será posible obtener resultados en base a las mediciones asociadas a cada uno. Por un lado, se contará con un número fijo de acciones presentes en la escena de aprendizaje que habilita el número mínimo de gestos que se debe presentar para la correcta aprobación del primer objetivo. Por otro lado, es posible medir la usabilidad y motivación, como se explica en la hipótesis, de tal modo de obtener un ranking por acción de los gestos asociados al revisar cuales presentan menos errores y mayor nivel de reconocimiento, junto con una mayor motivación de uso por parte del usuario. Entonces se trata de encontrar el gesto más aceptable acorde a las condiciones anteriores.

# Capítulo 2

## Marco Teórico y Trabajos Relacionados

Para la investigación se procede a revisar la literatura existente en varias áreas con la finalidad de establecer un marco conceptual y las bases necesarias para llevar a cabo la experimentación. De este modo, se trata de conocer los beneficios que tiene el uso de VR para el aprendizaje en niños y así validar el uso de éste como contexto para el análisis de gestos dado por la importancia que es apoyar la enseñanza de los niños. Además se busca tener presente los principales principios de HCI para VR, para así tenerlos en cuenta durante la investigación, y las tecnologías actuales disponibles para capturar los gestos sin contacto. Por último, es necesario contar con información más precisa sobre la clasificación de gestos para acotar el conjunto de gestos a investigar y las aplicaciones similares existentes para así aprovechar los conocimientos obtenidos mediante estas y poder diferenciar la investigación de los trabajos desarrollados hasta la fecha.

### 2.1. Aprendizaje con VR

Jean Piaget elaboró la teoría Constructivista sobre la educación durante el siglo XX. Esta teoría permitió entregar un marco robusto para entender las formas de pensar y hacer de los niños [Ackermann, 2001]. Este marco está basado en que el conocimiento se obtiene de uno mismo acorde a leyes de auto-organización. Por lo que educar resulta ser una tarea indirecta donde los menores de edad interpretan el conocimiento recibido y lo relacionan con su propia experiencia [Ackermann, 2001]. Esta última, se va adquiriendo al interactuar con el entorno y las demás personas y objetos.

El trabajo de Piaget expone que el desarrollo cognitivo ocurre en base a un proceso de adaptación [Hourcade et al., 2007]. En este proceso, los niños construyen sus propias estructuras cognitivas. El Constructivismo propone que se le entregue un rol activo de creación a los niños durante el desarrollo de la interacción orientada a niños, en vez de que cumplan con un rol meramente observacional. Seymour Papert por su lado, extiende la teoría Constructivista para postular la teoría Construccionalista para incorporar que el desarrollo cognitivo mejora cuando el menor está “conscientemente involucrado en construir entidades públicas” [Papert and Harel, 1991]. Para lo cual es necesario revisar los gestos que habilita el uso de sistema de VR para analizar cuales facilitan la creación de estas entidades acorde a la preferencia de

cada niño. Además, los autores concuerdan que el cambio de herramienta para la interacción de los menores al momento de ser utilizada debe superar no sólo el cambio de interacción, sino que también debe lograr un cambio en la metodología del aprendizaje para que ésta sea apreciada por el niño. La propuesta de esta investigación da así un primer atisbo de analizar las ventajas de incluir a los niños en la selección de gestos preferentes para lograr este cambio efectivo de interacción al usar VR.

En cuanto a los factores que afectan el desarrollo, Piaget postula que la madurez, experiencia y aspectos sociales y emocionales corresponden de forma directa al diseño de tecnologías para niños [Hourcade et al., 2007]. En primer lugar, Piaget habla de la madurez como la limitación cognitiva y física para la interacción de los niños con su capacidad para aprender y hacer, particularmente a la hora de usar la tecnología. En segundo lugar, la experiencia corresponde al factor clave de la adaptación y creación de estructuras mentales, al ser ésta la principal forma de adquisición de nuevo conocimiento, en lugar de que sea entregado de una persona a otra. A continuación, el aspecto social del desarrollo detalla la relación del traspaso del conocimiento entre generaciones, de tal forma que la observación del desarrollo de tareas sea replicada por los menores y asimilado al imitar dicha tarea. Por último, el aspecto emocional alude a la motivación y emoción que los niños pueden tener con respecto al aprendizaje y las herramientas que usan. Estas herramientas han de ser específicas y distintas para cada niño al ser estas diferentes y con distintos intereses. Por lo tanto, se debe considerar la flexibilidad en las interacciones para abarcar y cautivar la motivación del mayor público posible.

Mediante estas visiones del desarrollo del aprendizaje es que VR ha logrado promover la enseñanza a través de la experiencia [Papanastasiou et al., 2018]. Esto se obtiene al presentar resultados medibles del impacto de VR en habilidades del siglo XXI que se basan en los conceptos estudiados por [Papanastasiou et al., 2018]. Por un lado, la infraestructura que usa VR promueve y permite una mayor flexibilidad en la enseñanza al habilitar clases virtuales para recorrer el mundo aprendiendo, sin limitarse a la sala de clase. Además, se logra generar una simulación realista de interacción donde cada estudiante puede desarrollar un rol y compartir experiencias con otros alumnos, potenciando la colaboración entre ellos. Por otro lado, VR alcanza un sentido de presencia al habilitar el uso de los distintos sentidos del usuario para interactuar con el mundo virtual, junto con poder modificarlo y cambiarlo acorde a su perspectiva. Por último, se demuestra una mayor eficiencia al usar VR para la enseñanza en la mayoría de los dominios educativos.

Estos aportes en el aprendizaje se pueden seguir complementando con diversas investigaciones en el área, las cuales revelan los beneficios del uso de VR en la educación. Una de estas, [Graham et al., 2016] evidencia el aporte en la motivación que genera el uso de VR en niños y cómo gracias a esta tecnología se logra “aprender jugando”, lo cual tiene estrecha relación con la enseñanza a través de experiencias de Piaget [Hourcade et al., 2007]. Además, cabe destacar que el grupo etario de enseñanza básica demostraron un mayor interés en el aprendizaje de un segundo idioma al vincular éste con la posibilidad de viajar y entablar amistades con personas de otros países. Esto nos lleva a tomar esta información en cuenta para la confección de la aplicación para evaluar los gestos, así la aplicación puede estar basada en interacciones que permitan proyectar viajes y situaciones acorde. Por otro lado, [Dalim et al., 2020] logra demostrar un aumento del conocimiento en niños de enseñanza básica al utilizar VR en tareas

para aprender inglés acorde a su nivel de madurez y permitiendo la interacción realista con objetos del mundo virtual. A esto, se suma el aumento en el compromiso que demostraron los niños con el aprendizaje cuando este se realizaba usando VR.

Por lo tanto, al considerar los factores anteriores, se puede sostener que el uso de VR en la enseñanza logra efectivamente mejorar ésta para los niños. Es preciso enfocar la investigación en el uso e interacción desde la perspectiva de un niño, para así evaluar efectivamente acorde a sus necesidades y preferencias para seguir ahondando en avances con su educación. Debemos agregar la importancia de trabajar con menores debido a que se preserva bien la capacidad de aprendizaje hasta los 17.4 años, para luego decaer paulatinamente [Hartshorne et al., 2018].

## 2.2. Aplicaciones Similares

En el ámbito de investigación, es posible mencionar diversas aplicaciones que se han desarrollado para afrontar tanto el análisis y mejoras de la interacción para los usuarios con VR, como también el aprendizaje de un segundo idioma usando esta tecnología. Todas estas aplicaciones son recientes y presentan similitudes y diferencias con respecto a la presente investigación.

En primer lugar, [Khundam, 2015] desarrolla una aplicación usando Oculus Rift y LMC para analizar y evaluar la forma de captar gestos básicos para interacción en VR. Tienen en común el criterio con el cual son descritos y calculados. Este sería el uso del vector normal a la palma de la mano del usuario en relación con el cuerpo de la persona, para así reconocer los diferentes gestos y gatillar las acciones asociadas en el sistema. Esta aplicación se asemeja al presentar una buena forma de medir si el gesto fue ejecutado o no, la cual se puede considerar para esta investigación. Por otro lado, la principal diferencia recae en que al usar el vector normal se deja de tomar en consideración información relevante de la mano, como pueden ser la posición de los dedos y uniones, la cual restringe a un único cálculo la interacción con el sistema. Además este trabajo no contempla identificar cuál gesto es preferible para las distintas acciones que se evalúan.

En segundo lugar, se ha investigado en el diseño de HCI para la interacción en VR con objetos en 3D para tiendas de compras online [Altarteer et al., 2017]. Este desarrollo, provee avances en el ámbito del diseño al evaluar y mejorar su aplicación mediante el feedback de los usuarios y asesoría de expertos para cumplir los principios propuestos por Nielsen para el diseño en HCI. Se relaciona con esta aplicación al querer buscar lineamientos para el diseño de interacciones y uso de gestos en VR. Sin embargo, la aplicación está desarrollada en un contexto distinto del uso al evaluar la interacción de adultos con el sistema de compras. Además, analiza el sistema en su conjunto sin evaluar los gestos de manera individual que son implementados en su aplicación.

En tercer lugar, se creó el software para la enseñanza de colores y nombres de distintas figuras en 3D que son manipuladas mediante gestos en realidad aumentada para niños de enseñanza básica [Dalim et al., 2020]. De los resultados obtenidos en su experimento, cabe destacar el aumento del conocimiento y las ganas de aprender que genera el uso de estas tecnologías en el contexto del aprendizaje. No obstante, el estudio no evalúa los gestos que utiliza para enfocarse en el aprendizaje a evaluar los avances semana a semana en el aumento



de conocimiento. Por último, se debe tener en consideración que el estudio fue realizado en sólo 15 niños, por lo que resulta pertinente contar con una mayor base de usuarios para obtener conclusiones contundentes sobre sus preferencias de gestos en VR.

A continuación, se tiene el desarrollo de una aplicación para la enseñanza del lenguaje japonés al incluir al usuario en el contexto cultural de dicho idioma [Cheng et al., 2017]. En este estudio se aprovecha el contexto para potenciar el aprendizaje al relacionarlo con situaciones cotidianas de conversaciones simuladas que incluyen gestos no verbales, como es el inclinarse para saludar a otra persona. Los resultados de esta aplicación demuestran el beneficio del uso del contexto en el cual se está enseñando para maximizar el aprendizaje. Es así, como este desarrollo se asemeja al resolver la enseñanza de un segundo idioma y los desafíos que esto implica. La principal diferencia corresponde a la interacción con el sistema, ya que esta aplicación requiere del uso de teclado y mouse.

Por último, tenemos la aplicación de “Words in Motion” [Vazquez et al., 2018], la cual incluye el uso de movimientos, como son los gestos en VR, para mejorar la retención del aprendizaje en cada sesión. Esto, mediante la asociación de la palabra con la acción que representa se logra así mejorar la retención de la enseñanza en el largo plazo con respecto a métodos tradicionales de aprendizaje. Es a partir de esta aplicación, que conviene tomar en cuenta la relación palabra y acción para los propósitos de esta investigación. En última instancia, faltaría evaluar los gestos que se implementan para la interacción y comparar los diferentes gestos que se pueden usar para una misma tarea acorde a la preferencia de los usuarios.

## 2.3. Diseños de HCI en VR

Dentro del campo de ciencias de la computación, en que esta investigación se sitúa, es necesario tener presente las “heurísticas de usabilidad” para diseño de HCI que propuso [Nielsen, 1994]. Por un lado, para incorporar conceptos clave para el diseño y desarrollo de la aplicación a utilizar en el experimento. Así, es importante visibilizar el estado del sistema al usuario para que tenga una retroalimentación de los logros y fracasos que realiza al momento de interactuar con los diferentes gestos. También se busca generar una congruencia entre el sistema y el mundo real para facilitar la inmersión a los usuarios. Junto con mantener una consistencia a lo largo de la aplicación para asegurar un correcto uso, esto se puede ver al mantener una navegación por la aplicación estandarizada. Por otro lado, es necesario evaluar efectivamente la prevención de errores que logra cada gesto y la capacidad del mismo de ser reconocido antes que recordado en el contexto y acción a la cual está suscrito. Sin embargo, es prudente revisar las “heurísticas de usabilidad” para abordarlas desde la perspectiva del uso de sistemas de VR.

Para esto vemos de adaptar y obtener principios sobre mejores prácticas de diseño para aplicaciones en VR, tales como los obtenidos por [Johnson-Glenberg, 2018] y particularmente nos centraremos en el subconjunto de sus “nueve necesarios”. Dentro de ellos, tenemos los principios que otorgan lineamientos generales, tales como introducir cada aprendizaje cognitivo un paso a la vez, para así ir aumentando la complejidad a medida que se aumenta el entendimiento del uso. Además, se debe guiar al usuario en cada lección de aprendizaje, entregando a la vez la retroalimentación necesaria para cada etapa y oportunidades de reflexión

para la correcta asimilación del aprendizaje. También, es necesario incluir pruebas de uso de VR en distintos usuarios para ir refinando las interacciones. Más aún, estos “nueve necesarios” incluyen los principios en relación con los gestos de manos en VR. Estos serían, usar los gestos para incluir aprendizaje activo a través del movimiento físico de las manos, teniendo en mente que el gesto y la acción deben ser congruentes, además de entregarle mayor control y protagonismo al usuario. Asimismo, los gestos deben proporcionar una retroalimentación en relación a lo que se está aprendiendo, de tal forma de estar acorde al modelo mental de la lección en cuestión. Por lo tanto, resulta de gran importancia el entendimiento de estos principios para poder aplicarlos correctamente en un diseño de HCI para VR.

## 2.4. Tecnologías Disponibles

El principal desafío que deben enfrentar las nuevas herramientas tecnológicas en VR es hacer un correcto seguimiento y reconocimiento de los usuarios, como también que las interacciones sean fluidas y naturales [Leyvand et al., 2011]. Además, con la intención de acotar el universo de gestos de VR a touchless gestures, se pretende considerar sólo los dispositivos pasivos en el área, los cuales permiten un seguimiento sin obstrucciones de las partes del cuerpo y sin la necesidad de establecer un contacto físico con el usuario. El motivo para esta restricción es que se busca que para la interacción los gestos sean lo más naturales posibles [Cabral et al., 2005], sin un control remoto para especificar las posiciones de las manos particularmente.

En virtud de los requerimientos anterior, dejamos de lado tecnologías como Sandbox y Google VR que requieren de un dispositivo para capturar la posición de las manos. Por otro lado, se podría pensar en usar el nuevo Azure Kinect, luego de que el Kinect v1 y v2 fueron descontinuados, o bien el Real Sense de Intel para el desarrollo del experimento. Si bien ambos dispositivos cuentan con ventajas considerables para el seguimiento del cuerpo completo, estos no cuentan con sensores precisos para el movimiento de las manos más allá de contar con información de la ubicación de la mano en sí y el dedo índice. En cuanto a Hypersense, este software está enfocado al reconocimiento y movimientos faciales, por lo que no se enfoca en el movimiento de las manos. Por lo que se podrían utilizar Leap Motion Controller (LMC) o DTing, ya que ambos realizan seguimiento de manos, pero DTing solo registra la posición de la muñeca al usar una pulsera y la posición del dedo índice. Por este raciocinio de descarte de opciones, se decidió usar el LMC para el seguimiento y reconocimiento de los gestos a evaluar.

El LMC cuenta con 3 emisores LED infrarrojas y dos cámaras infrarrojas para generar los datos 3D de la posición de cada mano. Este dispositivo logra una precisión de menos de 1mm y un frame rate de 100 fps [Guna et al., 2014][Weichert et al., 2013]. Cabe mencionar que la principal desventaja a tener en consideración para el uso de LMC es el área de lectura del sensor que no supera un metro de radio. En cuanto al sistema de visión para VR, se puede usar Oculus Rift, el cual permite desarrollar aplicaciones en Unity o Unreal Engine, logrando una integración efectiva con LMC. En caso de buscar una opción más económica Google Cardboard VR presenta las condiciones suficientes para desarrollar el experimento, con la salvedad que debe estar diseñado usando su propio kit de desarrollo de software (SDK por sus siglas en inglés).

## 2.5. Clasificación de Gestos de Manos

Previo a realizar la clasificación de gestos de manos, es importante mencionar que existen multiplicidad de gestos, como puede ser el uso de las extremidades o el cuerpo en sí [Erazo et al., 2017]. Si bien esto aumenta las posibilidades de interacción para sistemas de VR, el interés de esta investigación es acotar la clasificación de gestos a los específicamente intrínsecos de las manos. De esta forma, enfocar el análisis de gestos en un subconjunto de ellos para centrar el alcance de la investigación.

En cuanto a la clasificación de gestos de manos, nos centraremos en el conjunto de gestos basados en visión computacional [Li et al., 2019], aquellos que se perciben mediante cámaras y/o sensores que luego son procesados por el computador para ser capturados sin tener que usar instrumentos u objetos que faciliten la identificación del gesto. Además, es preferible incorporar mecanismos para suavizar el trazado de los gestos y anotaciones que estos produzcan durante el uso, dado que, son preferidos por los usuarios y permiten un mejor entendimiento durante la interacción [Chang et al., 2017]. Por último, cabe destacar que los gestos deben presentar buenas prácticas con respecto a HCI, en el entendido de cumplir tanto con los principios de Nielsen, como con los principios de [Johnson-Glenberg, 2018] descritos anteriormente. Por lo que, es preferible utilizar gestos nucleares que sean fáciles de reconocer y recrear, para así evitar errores no deseados [Altarteer et al., 2017].

Para el transcurso de la investigación se definirá la siguiente taxonomía para clasificar todos los gestos a evaluar, basada en los resultados de las tres investigaciones anteriores. En primer lugar, se tendrán presentes los resultados de [Jahani and Kavakli, 2017] para precisar una división espacio temporal de cada gesto, haciendo alusión a si el gesto es de carácter estático o dinámico, correspondiendo a la dimensión de forma de la tabla. En segundo lugar, se evalúa la parte corporal utilizada para realizar el gesto, como también el conjunto de movimientos que describen el gesto [Erazo and Pino, 2018]. Por último, se complementa con la taxonomía definida en [Wu et al., 2019] para actualizar las dos anteriores e incorporar la naturaleza y punto de vista del gesto. La dimensión de naturaleza clasifica los gestos acorde a su relación con la tarea para la cual se usa, mientras que la dimensión de punto de vista corresponde a la posición relativa de donde el gesto se ejecuta. Se puede apreciar la taxonomía a utilizar en esta investigación en la Tabla 2.1, ya que la clasificación de gestos permite un mayor entendimiento del gesto y delimita las acciones que componen el gesto junto con la forma en que actúa y funciona.

<b>Dimensiones</b>	<b>Categorías</b>		<b>Descripción</b>
Naturaleza	Física		Gesto actúa físicamente en el objeto
	Simbólica		Gesto representa un símbolo
	Metafórica		Gesto indica una metáfora
	Abstracta		Mapeo del gesto es arbitrario
Partes del Cuerpo	Una mano		Gesto ejecutado con una mano
	Dos manos		Gesto ejecutado con dos mano
Movimiento	Singular		Movimiento singular para realizar el gesto
	Múltiple	Paralelo	Movimiento en paralelo para realizar el gesto
		Secuencial	Singular
	Paralelo		Secuencia de movimientos en paralelo
	Ambos		Secuencia de movimientos en paralelo y singulares
Forma	Pose estática		Pose de la mano se mantiene en la misma ubicación
	Pose estática con camino		Pose de la mano se mantiene mientras la mano se mueve
	Pose dinámica		Pose de la mano cambia en la misma ubicación
	Pose dinámica con camino		Pose de la mano cambia mientras la mano se mueve
Punto de Vista	Independiente		Gesto independiente del punto de vista
	Centrado en el objeto		Gesto realizado desde el punto de vista del objeto
	Centrado en el usuario		Gesto realizado desde el punto de vista del usuario

Tabla 2.1: Taxonomía para gestos. Basada en [Jahani and Kavakli, 2017], [Erazo and Pino, 2018] y [Wu et al., 2019].

# Capítulo 3

## Definición de Gestos

### 3.1. Presentación de la Solución

En vista de que podemos afirmar distintos beneficios que presenta el uso de aplicaciones en VR en niños de enseñanza básica, tales como el aumento en el aprendizaje adquirido y el compromiso que ellos tienen con su propia enseñanza, podemos investigar la forma de mejorar la interacción gestual para ambientes de VR en educación. Puntualmente para esta investigación, el problema a resolver corresponde a: definir y analizar las preferencias de los gestos que se pueden utilizar para distintas acciones según la usabilidad y motivación que generan al ser ejecutados. Para esto, es necesario iniciar la investigación estableciendo la escena de aprendizaje de vocabulario en inglés que se utilizará durante la experimentación, la cual está sujeta a los contenidos curriculares nacionales para enseñanza básica. A partir de ésta, se permite vislumbrar las acciones que se pueden realizar, para luego seleccionar los múltiples gestos correspondientes para cada acción. Para lo cual los usuarios tendrán diversas formas de interacción para una misma acción acorde a los diferentes gestos a evaluar, con el fin de medir el gesto en un ambiente controlado y por separado.

Estas acciones se llevarán a cabo mediante el desarrollo de una aplicación que permita interactuar usando gestos en VR. El desarrollo se basa en la aplicación implementada por [Baloian et al., 2013], donde evalúa las preferencias de gestos en 2D para tablets obteniendo resultados favorables para definir dichas preferencias para el tipo de interacción utilizada. Las principales características de la aplicación que deben ser contabilizadas para el nuevo desarrollo corresponden a las siguientes: en primer lugar, dividir la forma de interacción de la aplicación para que cada una corresponda a un gesto distinto a evaluar, esto se puede lograr mediante la asociación de un gesto con un personaje de la aplicación que elija el usuario. En segundo lugar, se debe aprovechar la relación entre el contexto y los objetos a incluir en la escena para que estén correlacionados y faciliten el aprendizaje [Dalim et al., 2020]. Además, aprovechar que el contexto corresponda a un área de interés para los jóvenes como puede ser el ambiente de viajes y conocer lugares distintos. En tercer lugar, es importante contar con un tutorial para el correcto uso de cada gesto a utilizar. En cuarto lugar, es necesario llevar las estadísticas de uso por cada usuario en términos de gestos realizados correctamente, gestos incompletos o errados y número de ocasiones que fue necesario revisar el tutorial asociado

a la interacción en cuestión. Por último, la aplicación permitirá navegar entre las distintas interacciones disponibles para asociar la palabra en inglés con el objeto que representa. Cada una de estas interacciones permitirá la evaluación del gesto correspondiente al ser ejecutado por el usuario. Para la evaluación se debe definir el momento inicial y final que acotan la realización del gesto.

En cuanto a la selección de gestos para evaluar en esta investigación, es importante tener presente que deben cumplir con buenas prácticas de HCI, tales como reconocer antes que recordar, prevenir errores y flexibilidad [Altarteer et al., 2017]. Por lo que, se busca incluir gestos nucleares que cumplan estas condiciones y puedan ser captados correctamente. Para esto, es útil guiarse por los gestos que uno realiza de forma cotidiana y que han sido sujeto a experimentaciones para describir objetos, como los presentados en [Jahani and Kavakli, 2017]. Sin embargo, es importante considerar la viabilidad de implementación en VR de estos gestos que provienen naturalmente del usuario. Cabe destacar, que no se han encontrado estudios para evaluar los distintos gestos en VR realizado exclusivamente por niños, por lo que la selección de gestos se basará en gestos probados en adultos.

Las razones que se tomaron en consideración para seleccionar el listado de gestos a evaluar en esta investigación corresponden a aquellos que facilitan la definición del inicio, recorrido y término del gesto. Para lo cual, es necesario contar con información por cada mano involucrada en el gesto, para así calcular el vector normal a la palma, la posición de la mano en relación con el sensor, la rotación de la mano a partir de una posición de reposo y la posición de los dedos en la mano en relación a tener los dedos extendidos y juntos. Tomando como factor adicional una baja dificultad para realizar el gesto, ya que serán utilizados por menores, además de contemplar gestos que puedan ser intuitivos para la edad. Es así, como en la presente investigación se definen los gestos en base a que hayan sido evaluados en papers anteriores, con la finalidad de que sirvan de punto de partida.

## 3.2. Definición de Escenas

Al tomar en cuenta la ingente cantidad de gestos que se podrían implementar en sistemas de VR surge la necesidad de establecer una metodología con la cual poder acotar y enfocar los gestos a utilizar. Para esto, se establece un método deductivo para resaltar los gestos que pueden ser usados en el aprendizaje de vocabulario en inglés para niños de enseñanza básica. Por lo que, se busca primero establecer el ambiente o episodio en específico de enseñanza para enmarcar esta investigación en una escena del aprendizaje, la cual contiene un conjunto acotado de acciones para realizar.

Esta escena debe ser definida a partir del temario del aprendizaje de vocabulario en inglés que se usará para elaborar la investigación, tomando en cuenta el año escolar en el cual se encuentran los estudiantes a participar del experimento. Además, esta escena debe contener al menos tres acciones que puedan ser llevadas a cabo por más de un gesto. De tal forma de habilitar la búsqueda e investigación de varios gestos sujetos a una misma acción.

En razón de lo anterior, se revisó el temario escolar para primero y segundo básico establecido por el Ministerio de Educación. La idea es utilizar contenidos de enseñanza acordes a la edad de los participantes. Estos se dividen en cuatro unidades, de las cuales podemos des-

prender el aprendizaje de temas como los animales, las ocupaciones y la comida, entre otros [Inglés (Propuesta) 2° básico, 2018]. Teniendo estos temas en cuenta, se procede a consultar el libro para niños “Richard Scarry’s best word book ever” [Scarry, 2013], para encontrar las escenas en relación a los temas anteriores y los objetos asociados. Así, se elige la cocina y la granja como las dos escenas para evaluar los gestos. Estas escenas contienen objetos de distintos tamaños y están en concordancia con el temario de enseñanza. Por último, se puede asegurar que presenta varias acciones para evaluar gestos al contener objetos que se pueden manipular, los cuales habilitan las acciones que se detallan a continuación.

### 3.3. Definición de Acciones

Por su parte, las acciones presentes en una escena corresponden a las diversas interacciones que el usuario puede tener con el sistema. Con el afán de que estas acciones puedan ser extrapoladas a escenas o contextos distintos a los utilizados para el aprendizaje, es que se comienza con el análisis de las siguientes acciones. Por un lado, establecer la acción de asociar la palabra a aprender con el objeto correspondiente dentro de la escena. Por otra parte, se debe investigar las acciones de manipular un objeto o interactuar con la escena misma. En consecuencia, se pretende definir con estas acciones un núcleo base de acciones para cada escena. Cabe destacar que a estas acciones es posible sumar más adelante otras en base a la escena que se utilice.

La primera acción que se define viene a ser la selección de objeto, la cual está en estrecha relación con la asociación de la palabra a aprender con el objeto correspondiente. La selección de objeto habilita al usuario a escoger de forma satisfactoria el objeto que se le pide identificar. Así esta acción engloba los gestos que permiten esta selección y dan a entender al usuario que tiene el objeto en cuestión a su disposición y lo puede manipular posteriormente. Estos gestos también contemplan la forma de soltar el objeto.

En segundo lugar, se define la acción de desplazamiento de objeto. Esta consiste en mover el objeto de un punto a otro siguiendo un camino rectilíneo o curvo, de tal forma de cambiar la posición de reposo en que se encuentra el objeto. Esta acción contiene gestos que permiten realizar desplazamientos, los cuales se pueden llevar a cabo de distintas formas al utilizar más de una mano y realizar más de un movimiento.

Por último, se define la acción de inspección de objeto. Esta consta de rotar el objeto al girarlo para revisar todas sus caras. Cabe destacar que esta rotación se desarrolla de forma estática al mantener el objeto en la misma posición, evitando entrelazarse con la acción anterior al realizar la determinada acción durante un desplazamiento. Esta acción acuña los gestos que permiten rotar cada objeto por sí solo para visualizarlo desde distintos ángulos.

Estas acciones se encuentran en cualquier escena que contenga objetos. De esta forma se puede generalizar para no restringirlas simplemente a las escenas seleccionadas para el experimento.

En cuanto a la acción de interactuar con la escena misma o de la interfaz del sistema, que corresponde a analizar la forma de navegar por la aplicación, se prefirió mantener esta interacción de forma homogénea para evitar confusiones que se puedan producir en los

usuarios.

### 3.4. Definición de Gestos

A continuación, se establece la selección de gestos para cada acción. De esta forma, solo se evaluarán los gestos requeridos para llevar a cabo cada acción y así reducir el espectro total de gestos inherentes a sistemas de VR. Para esto, es necesario establecer criterios con los cuales se procederá a seleccionar los gestos a ser evaluados. Estos criterios corresponden a buenas prácticas y se basan en los principios de HCI. Por último, es necesario mencionar que se exigirá un mínimo de dos gestos por cada acción de tal modo de poder realizar la posterior comparación y ranking de los gestos definida para la hipótesis de esta investigación.

Los criterios a tomar en consideración para la selección de gestos se dividen en tres categorías. Primero, corresponde medir la idoneidad con el contenido de la acción que el gesto representa. Esta, debe ser congruente con la enseñanza que se extrae a partir de la acción y debe resultar natural la realización del gesto por parte del usuario. Segundo, el aspecto cultural del gesto debe estar en concordancia con el contexto en el que se encuentran los usuarios. Tercero, los gestos deben existir en la literatura actual de investigaciones y aplicaciones desarrolladas en el área de aprendizaje en menores, como también en otras áreas para proporcionar mayor amplitud de los gestos a evaluar. Es así, que la búsqueda de estos gestos corresponderá a conseguir un conjunto relevante de gestos en la literatura de investigaciones y aplicaciones existentes sobre aprendizaje en sistemas de VR que se utilizan para las distintas acciones definidas previamente para la enseñanza.

#### 3.4.1. Acción: Selección de objetos

En primer lugar se escogió el gesto de cerrar una mano como pinza en el centro del objeto [Altarteer et al., 2017][Zhang et al., 2019]. Queremos evaluar un gesto que se asemeja a la forma de tomar un objeto físico para así estar acorde con la acción correspondiente. Es así que este gesto se clasifica según la taxonomía implementada por su naturaleza de carácter física, que utiliza una sola mano y se compone de un movimiento singular. Además, la pose de la mano es dinámica al estar abriendo y cerrando los dedos para ejecutar el gesto. Por último, el punto de vista para este gesto se centra en el objeto. En la Figura 3.1 se puede apreciar un bosquejo del gesto.



Figura 3.1: 1.1 Gesto de abrir y cerrar los dedos de la mano.

En segundo lugar se procedió a utilizar el gesto de apuntar al objeto con el dedo índice



[Jahani and Kavakli, 2017][Zhang et al., 2019]. Este contempla la facilidad que tienen los niños para apuntar a los objetos para así referirse a ellos. Este gesto también se clasifica por su naturaleza de carácter físico, realizado por una mano en un solo movimiento que está centrado en el objeto. En cambio, la diferencia se origina en que este gesto corresponde a una pose estática de la mano, al no cambiar su forma a medida que se ejecuta. A continuación se muestra el gesto (Figura 3.2).



Figura 3.2: 1.2 Apuntar al objeto con el dedo índice.

### 3.4.2. Acción: Desplazamiento de objetos

Para la acción de desplazar un objeto, se consulta la bibliografía para definir el gesto de seguir el movimiento de la mano al estar el objeto previamente seleccionado y mientras dura esta selección [Jahani and Kavakli, 2017]. Este gesto también asemeja el comportamiento habitual de la mano para mover un objeto físico. Esto permite clasificarlo según su carácter natural físico, que se realiza utilizando una mano y múltiples movimientos singulares. La forma de la pose es estática con camino, ya que no se está contabilizando el gesto previo de selección que puede ser dinámico, y el punto de vista está centrado en el objeto. La Figura 3.3 grafica el gesto descrito.



Figura 3.3: 2.1 Desplazar objeto siguiendo el camino de la mano.

Continuando con el segundo gesto para desplazar un objeto, se procede a seleccionar el gesto de mover el objeto mediante flechas asociadas a cada dirección [Johnson-Glenberg,

2018]. Queremos tener un gesto de naturaleza metafórica al guiarse por líneas imaginarias que correspondan al movimiento del objeto en una sola dirección. Este gesto se puede realizar con una o dos manos al realizar secuencias múltiples de movimientos singulares o en paralelo para el caso de dos manos. La forma que dicta este gesto es de pose estática con camino al estar habilitada una dirección a la vez por movimiento. Por último, el punto de vista sigue siendo el objeto al ser éste el que se mueve según las flechas. En la Figura 3.4 se pueden apreciar dos flechas perpendiculares que habilitan el movimiento.

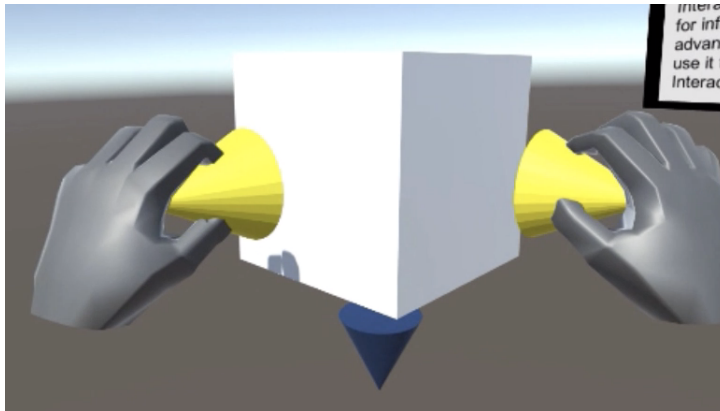


Figura 3.4: 2.2 Desplazar objeto según dirección de flechas seleccionadas.

### 3.4.3. Acción: Inspección de objetos

Con respecto a la inspección de objeto, en primera instancia se evaluará el rotar el objeto acorde al movimiento de rotar la mano mientras el objeto está seleccionado [Altarteer et al., 2017] [Jahani and Kavakli, 2017]. Este gesto mantiene la línea de seguir los movimientos de la mano que se usarían con objetos físicos. Es así, que la naturaleza del gesto corresponde a la física y se desarrolla usando una sola mano que se basa en múltiples movimientos singulares. La forma de este gesto es de una pose dinámica con camino debido a que la postura de la mano va cambiando a medida que se rota. En cuanto al punto de vista, el gesto mantiene el principio de estar centrado en el objeto. A continuación, se puede apreciar un bosquejo del gesto (Figura 3.5).



Figura 3.5: 3.1 Rotar objeto siguiendo el giro de la mano.

El segundo gesto para inspeccionar el objeto, se basa en utilizar flechas curvas que guían la rotación del objeto [Chang et al., 2017]. Trata de mantener el objeto completamente a la vista

para poder verlo mejor. Este gesto se caracteriza por su naturaleza metafórica que puede ser desempeñado usando una mano y realizando una secuencia de movimientos singulares. La forma de este objeto consta de una pose dinámica con camino para lograr la inspección de cualquier parte del objeto y al igual que los anteriores gestos, el punto de vista se centra en el objeto al ser acciones que están pensadas para tratar con objetos. La Figura 3.6 muestra una imagen de una flecha curva que habilita la rotación en un plano definido.

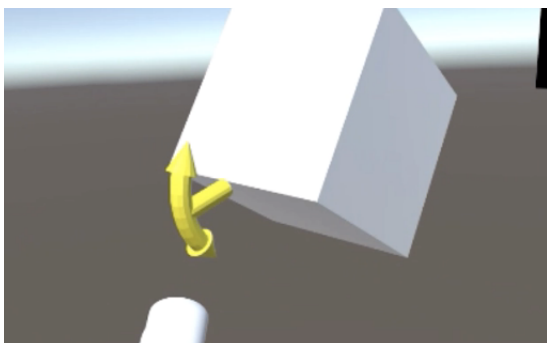


Figura 3.6: 3.2 Rotar objeto según dirección de flechas seleccionadas.

#### 3.4.4. Resumen de los gestos a evaluar

Para la investigación se tendrá presente los gestos anteriores rotulados según la acción a la cual están suscritos y un número según el orden en que fueron presentados. Así, tenemos la Tabla 3.1 para resumir los gestos anteriores y apoyar la presentación de los resultados en la sección de análisis.

<b>Acción</b>	<b>Gesto</b>	<b>Descripción</b>
Selección	1.1	Cerrar una mano como pinza en el centro del objeto
	1.2	Apuntar al objeto con el dedo índice
Desplazamiento	2.1	Seguir el movimiento de la mano
	2.2	Mover objeto de forma rectilínea mediante flechas
Inspección	3.1	Rotar el objeto acorde al movimiento de rotar la mano
	3.2	Flechas curvas que guían la rotación del objeto

Tabla 3.1: Resumen de gestos a evaluar.

# Capítulo 4

## Desarrollo de la aplicación

### 4.1. Consideraciones previas

A la hora de diseñar interacciones niño-computador es necesario tener en cuenta factores que permitan un correcto aprendizaje en los niños. Para esto, se debe tener en consideración promover la emancipación de los menores con respecto a las visiones de enseñanza de los adultos [Iivari and Kuutti, 2018], de manera de generar diseños sociales responsables con la educación de los niños. Para este propósito, se debe buscar la visión de los niños, como principales actores de su aprendizaje, sobre qué gestos les reportan mayor usabilidad y que temáticas reportan mayor motivación para el desarrollo de tareas ligadas a su enseñanza al usar VR, como puede ser las posibilidades de viajar y conocer otros países a la hora de enseñar vocabulario [Graham et al., 2016]. Se da así un mayor entendimiento del grupo representativo para este trabajo.

Sumando a lo anterior, es necesario tomar en cuenta el aspecto cultural que existe en torno a los usuarios de la experimentación. Se trata de niños chilenos que presentan mayor nivel de actividad e impulsividad que niños de Corea del Sur, además de presentar un mayor nivel de frustración [Krassner et al., 2016]. Esto nos grafica como la cultura se ve plasmada en los niños y acentuada en algunos componentes particularmente para Chile con respecto a otros países. Por otro lado, cabe destacar los resultados para las variables culturales de Hofstede para estudiantes de primer año de universidad que denotan la enseñanza que han tenido [Recabarren et al., 2008]. Estos resultados indican un claro sentido de individualismo y un nivel más bajo para la tolerancia a la incertidumbre en los estudiantes. Con estos dos estudios se puede entender de mejor manera el ambiente cultural que debe ser considerado para el diseño de la aplicación.

Por último, conviene aprovechar las sugerencias generadas en la investigación de [Dalim et al., 2020] con el fin de mejorar la interacción de los usuarios con el sistema VR. Ejemplos de esto sería el uso de textos simples para informar, aprovechar el campo visual del usuario y contenido apropiado para la edad del usuario, entre otros.

## 4.2. Descripción general

El desarrollo de la aplicación se sustenta en el realizado por [Baloian et al., 2013]. Este se conforma de una interacción base para navegar dentro del sistema y poder acceder a cada modo de interacción que corresponda a las distintas configuraciones de gestos que se quiere evaluar y experimentar. Para cada uno de estos módulos, es importante destacar que están separados con el fin de aislar las interacciones para cada gesto, de tal modo de evaluarlos individualmente por la acción que describen. Además, cada módulo mide los aciertos y errores que comete el usuario al tratar de realizar el gesto correspondiente, a esto se suma la medición de la cantidad de veces que se consulta el tutorial para el gesto en cuestión. Obtendremos, en consecuencia, datos analizables sobre la usabilidad de cada gesto.

Es así que se procedió a crear un modelo replicable para las distintas acciones que contenga la lógica de aprender cada gesto, para luego emplearlos y por último evaluar la preferencia de cada gesto. Así, se logra mantener las escenas en común para las distintas acciones y solo ir cambiando los gestos a evaluar en cada etapa.

Tomando en cuenta la información presentada sobre las tecnologías disponibles en el marco teórico, es que se decide utilizar el LMC para capturar y monitorear los gestos realizados por los usuarios. Esto con el afán de mantener el enfoque de los gestos en las manos y la manipulación de objetos. Además se logra generar una integración de esta tecnología con Unity, para desarrollar toda la lógica de escenas, objetos e interacción, mediante los módulos existentes del LMC que habilitan la vinculación. Intentamos incorporar el reconocimiento de las manos de los participantes e interpretar los movimientos para emparejarlos a los gestos correspondientes en Unity y la acción que ejecutan. Finalizamos en el cálculo de las métricas a considerar en esta investigación.

En cuanto al LMC, este se ubicó al frente del VR headset para captar los gestos de forma óptima acorde a la documentación [Setting up your development environment, 2020]. Lo podemos ver en la Figura 4.1 donde se aprecia el sensor LMC colocado en el visor y los cables que conectan el sensor de movimiento y el celular con el computador para recibir y enviar las imágenes pertinentes. El visor se ubica en la parte central de tal forma de estar alineados con los ojos del participante.



Figura 4.1: Visor y LMC.

Para poder realizar una total inmersión en VR, se optó por utilizar un visor genérico junto con una aplicación, Trinus Cardboard [Trinus Virtual Reality, 2020], que genera un espejo de la aplicación seleccionada del computador en el celular dividiendo la pantalla por cada ojo. Así se prioriza una solución de bajo costo, que no restringe el desarrollo y permite mostrar la aplicación en un VR headset y controlar la lógica de la aplicación desde el computador. De esta forma el celular está conectado al computador para optimizar el traspaso de imágenes y evitar la necesidad de usar una red wifi durante la experimentación.

Por último, cabe destacar que la construcción de la aplicación debe estar en concordancia con los principios de HCI de [Nielsen, 1994] y los principios elaborados por [Johnson-Glenberg, 2018] para aplicaciones en VR.

### 4.3. Navegación por acción

Para moverse por la aplicación e ir completando los experimentos, se utilizó el siguiente esquema para establecer la navegación replicable para cada acción. Tratamos de tener un componente reutilizable de escenas y flujo para evaluar los distintos gestos. Así, se visitan los tutoriales y experimentos de los gestos asociados a una misma acción mediante el uso de botones que permiten el traspaso entre escenarios (Figura 4.2).

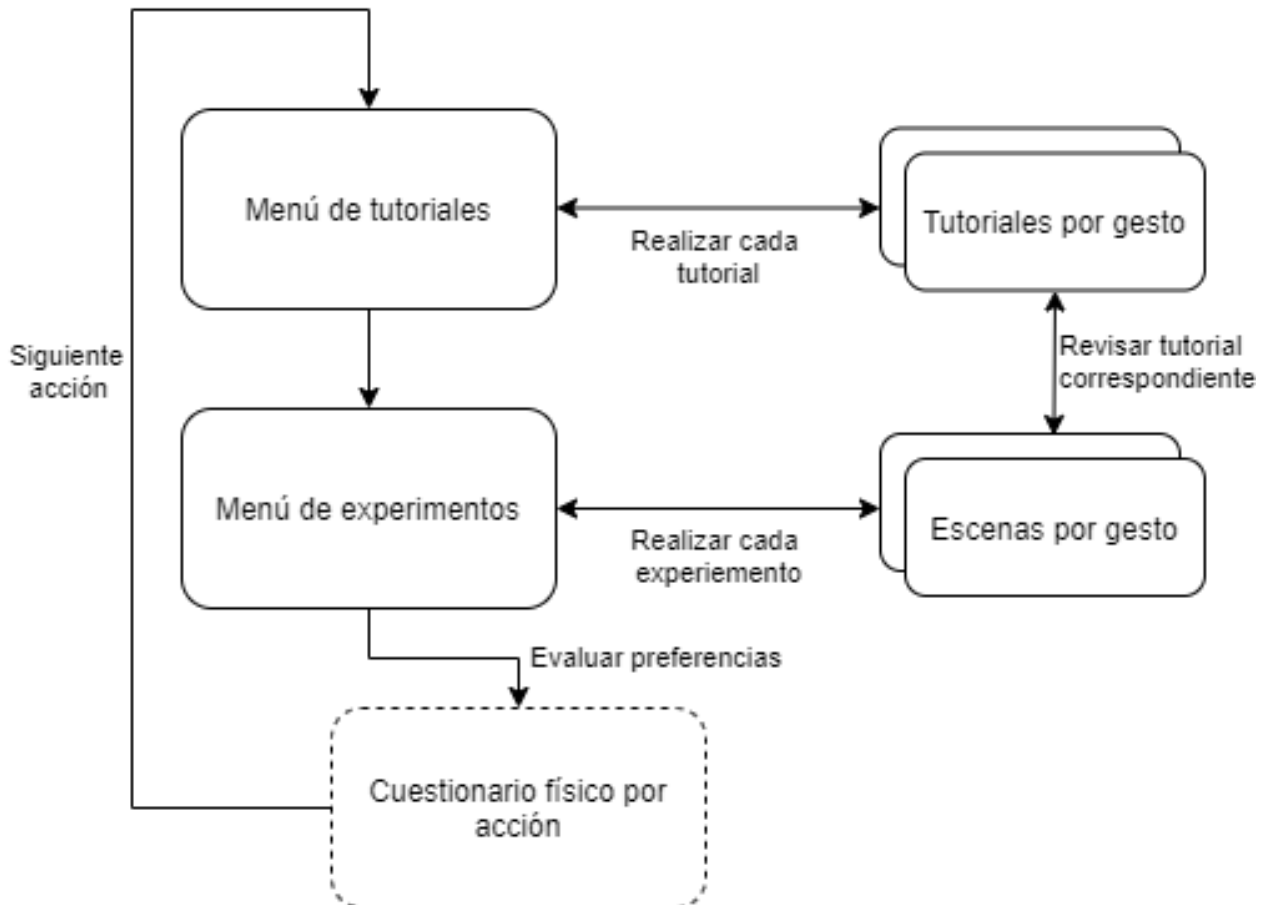


Figura 4.2: Navegación por cada acción.

En primera instancia se tiene el menú de tutoriales, que mediante botones habilita la visita de cada tutorial por gesto. Cabe destacar que los botones son coloreados rojo y azul para facilitar la distinción entre ellos al momento de realizar el experimento y guiar de forma exitosa al participante. Además, solo se puede activar el botón para avanzar a la siguiente etapa una vez que se hayan realizado ambos tutoriales. Así, queremos evitar que accionen el botón “Seguir!” antes de tiempo. Cada menú cuenta con un texto explicativo para complementar la navegación. Esta misma configuración se tiene para el menú de experimentos, con la diferencia que sus botones rojo y azul guían al usuario a los experimentos de gestos respectivos. La vista anteriormente descrita se puede apreciar en la Figura 4.3.



Figura 4.3: Vista del menú de acceso a los tutoriales de gestos para una acción.

Luego de las vistas de menús respectivos, se tienen las escenas para tutoriales y experimentos por cada gesto. En cada vista por experimento se realiza una tarea dada y se tiene la posibilidad de volver a revisar el tutorial asociado como se aprecia en el esquema anterior. Así, se permite el recordar y mejorar la realización del gesto. En estos tutoriales, se complementa el aprendizaje del gesto con acotaciones verbales para entregar feedback positivo con respecto al desempeño de la acción, de tal forma de minimizar la carga visual de leer las explicaciones de uso.

Por último, se tiene el cuestionario para evaluar la motivación de cada gesto plasmada en el usuario, al igual que saber la preferencia de gesto del participante para la acción en cuestión. Estos resultados se obtienen de forma verbal luego de que el participante remueva el dispositivo visual para descansar la vista entre acciones. De esta forma se minimizan posibles mareos al estar sumergido en VR por mucho tiempo.

## 4.4. Estructuras en común

### 4.4.1. Objetos

Los objetos contemplados a continuación corresponden a aquellos que se pueden manipular e interactuar durante el transcurso del experimento. Estos se basan en modelos prefabricados y gratuitos para usar dentro de Unity. Estos modelos se les programa un cambio de color para indicar que la mano está dentro de la zona en que pueden ser accionados, para cuando están seleccionados y se hallen en un estado de error al momento de que el sensor pierde la posición de la mano. De esta forma se facilita al usuario la interacción con cada objeto y recibir feedback sobre la acción realizada por la mano [Johnson-Glenberg, 2018].

Por otro lado, se descartó el uso de gravedad y la simulación de peso de los objetos para la aplicación. Esto debido a que se prefirió aumentar la facilidad para seleccionar los objetos al estar fijos en el espacio de partida y solo se pueden mover en base a estar previamente seleccionados, evitando que el usuario los empuje accidentalmente y se alejen al estar sujetos a leyes físicas de movimiento. Se prefirió usar pocos objetos y de gran tamaño para asegurar que los sujetos puedan tomar y evitar una aglomeración de estos que podría desencadenar en selecciones no deseadas por el usuario al tener muchos objetos juntos. Por último, cabe destacar que para la manipulación de objetos se evitó el entrecruzar las manos frente al lector, ya que ambas se pierden momentáneamente.

A continuación tenemos los objetos que se usaron para los distintos escenarios dentro de la aplicación. En primer lugar, tenemos los objetos básicos, esferas y cubos que se implementaron en los tutoriales de cada gesto. Así, el participante puede practicar el gesto con objetos simples de buen tamaño para facilitar la correcta forma de realizar cada gesto. Estos objetos se ubican en un espacio abierto para no entorpecer el proceso de aprender cada gesto. En la Figura 4.4 se aprecian los objetos mencionados.

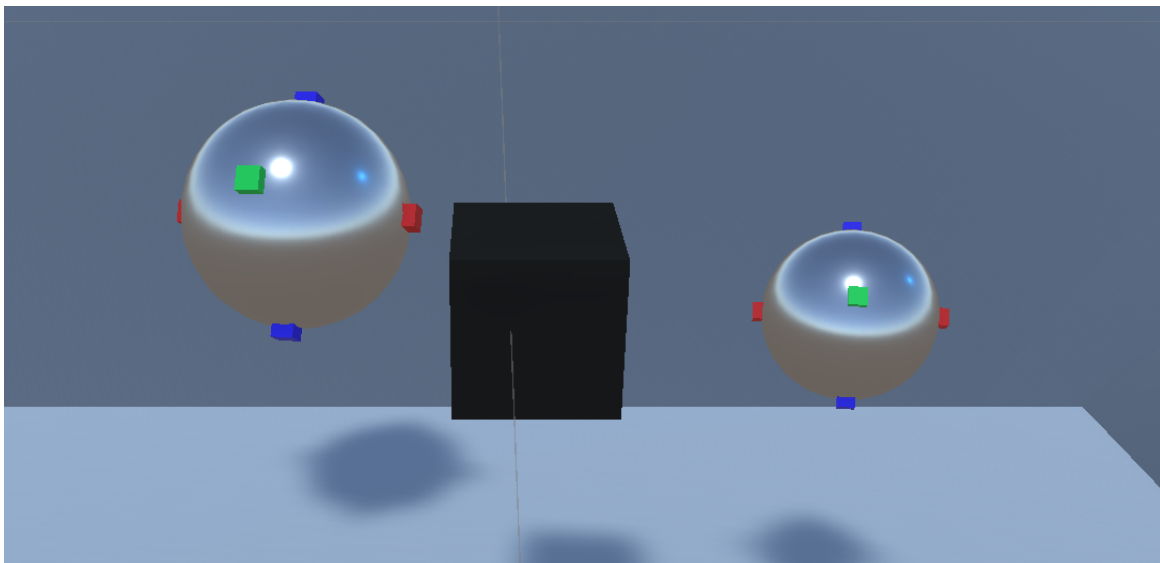


Figura 4.4: Cubos y esferas interactivables.

En segundo lugar, tenemos los objetos que se implementaron para llevar a cabo los experimentos en sí. Estos se dividen en dos grupos, cada uno correspondiente a las escenas



definidas con anterioridad. En relación a la escena de la cocina, los objetos utilizados son el plato, la tetera y el sartén. Para la granja, los objetos de la escena son la vaca, la oveja y el pato. De esta forma, se facilita la identificación de las preferencias de gesto por acción al estar asociando cada gesto con una de las dos escenas y sus objetos respectivos. Además, se logra establecer una relación entre los objetos y la escena para facilitar el aprendizaje al vincular el contexto con los objetos a manipular y aprender [Dalim et al., 2020]. En las siguientes dos Figuras, 4.5 y 4.6, podemos ver los objetos para cada escena.



Figura 4.5: Plato, tetera y sartén interactivables.

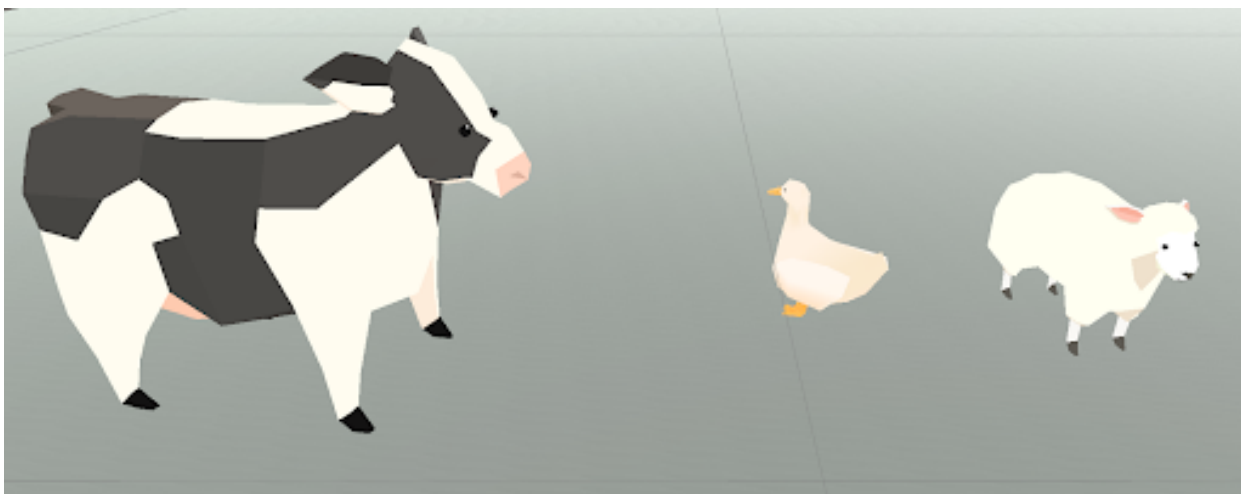


Figura 4.6: Vaca, pato y oveja interactivables.

#### 4.4.2. Tutoriales

En cuanto a los tutoriales, estos escenarios se componen de los objetos a interactuar mencionados anteriormente, una pantalla con una explicación breve del gesto y un botón para habilitar la navegación y volver a la escena anterior en que se encontraba el participante. Cabe destacar que la explicación presente se ve complementada con acotaciones de forma verbal a medida que el usuario trata de realizar los gestos de tal forma de guiarlo en realizar el

gesto correctamente. Para la construcción de estos espacios se mantuvo en consideración las limitaciones físicas y cognitivas de los participantes detalladas por Piaget [Hourcade et al., 2007]. De esta forma se posicionan los objetos a una distancia menor al largo del brazo de un niño de la respectiva edad y se conserva un número de máximo tres objetos en la pantalla para mantener una carga cognitiva razonable. Es así que se facilita el uso de los tutoriales como de las escenas correspondientes. En las Figuras 4.7 y 4.8 podemos ver dos tutoriales; el primero para aprender a seleccionar un objeto y el segundo para rotar el objeto.



Figura 4.7: Tutorial para seleccionar un objeto.



Figura 4.8: Tutorial para rotar un objeto.

### 4.4.3. Escenas

Por otra parte, se tienen las escenas que habilitan la experimentación al enmarcar las acciones a evaluar. Como en todas las acciones se establecieron dos gestos, se decidió usar la cocina y la granja como escenas para cada gesto respectivo. Para ellas se tuvo en consideración que las escenas se conformarán por un fondo uniforme que permita un claro contraste entre los objetos a manipular y el contorno definido, además de establecer un límite visual que demarque el alcance de lectura del sensor LMC. Así, en el caso de la cocina se tiene un mesón de trabajo que delimita el área de movimiento, mientras que en la granja esta línea se representa mediante una valla. Por último, al establecer un máximo de tres objetos por escena también se logra facilitar el movimiento individual de cada objeto sin generar colisiones entre ellos o errores de lectura al momento de ser seleccionados por estar muy cerca unos de otros.

Ambas escenas cuentan con una misma estructura en común. Esta consiste en un mensaje de texto grande que establece el experimento a realizar por acción junto con un indicador de completitud que corresponde a una esfera de color rojo que cambia a color verde una vez lograda la tarea correspondiente. Además, se habilita la posibilidad de volver a realizar el tutorial mediante presionar un botón verde situado en la parte superior izquierda de la escena y también dar por finalizada la etapa al presionar un botón gris situado en la parte superior derecha de la escena. En cuanto al espacio central, este se dedicó exclusivamente para la realización de cada prueba y la interacción con los objetos, de tal forma de entregar una retroalimentación al usuario cuando cumple la tarea dada. En las siguientes dos figuras se pueden apreciar vistas aéreas de ambas escenas (Figura 4.9 y 4.10).



Figura 4.9: Vista superior de la cocina.



Figura 4.10: Vista superior de la granja.

## 4.5. Experimentación

Para la obtención de datos, se utilizó principalmente pruebas de usabilidad e investigación contextual sobre la interacción con la aplicación mediante los distintos gestos a evaluar. De esta forma, se medirá la cantidad de aciertos y errores que los usuarios realizan, junto con los tiempos requeridos para cada gesto. Además, se complementará los resultados con la observación de la interacción de cada usuario al realizar el experimento. A esto se agrega el uso de cuestionarios al concluir la interacción con el sistema para obtener las preferencias de gestos de cada usuario y motivación al usar esta tecnología. De este modo, se trata de generar datos cuantitativos y rigurosos para generar los resultados de la investigación. Para este objetivo, cabe destacar que la aplicación estará en un estado de producción completa y funcional, permitiendo enfocarse solamente en la evaluación de los gestos de VR.

El proceso de evaluación de estos datos se dividió en tres etapas; pre-test, test y post-test, acorde a los lineamientos planteados en [Simor et al., 2016]. Así se aprovecha al máximo cada etapa y establecer criterios de aceptación para cada acción. Estos criterios se validan de forma automática en la aplicación para luego notificar al usuario cuando haya logrado cada parte. Además, se procede a almacenar el tiempo transcurrido para realizar cada gesto.

### 4.5.1. Pre-Test

En una primera instancia, para el pre-test, se procedió a preguntar a los usuarios si han utilizado un aparato de VR con anterioridad. El objetivo era estar en conocimiento de la experiencia previa que puedan tener y registrar esta información.

Luego, se estableció un tiempo de adaptación en un ambiente virtual vacío para que puedan sincronizar sus manos y moverlas libremente. En esta parte, se les pidió abrir y cerrar los dedos de cada mano, mover cada mano en distintas direcciones y poder mover unos pocos dedos para hacer símbolos conocidos con cada mano. Al momento de terminar todas estas instrucciones, se le indica que comience con el test en sí por cada acción.

### 4.5.2. Test

Para la primera acción de seleccionar un objeto, se estableció como parámetro de medición el lograr mantener seleccionado el objeto por lo menos un segundo. Una vez cumplido el tiempo la esfera cambia a color verde denotando la completitud de la tarea. Esta tarea se debe llevar a cabo para todos los objetos interactivables en la escena. En caso de no completar el tiempo mínimo el gesto se marca como error al no poder retener el objeto seleccionado. Todos los tiempos se almacenan para su posterior análisis.

En cuanto a la segunda acción consistente en desplazar un objeto, se definió un punto de llegada para cada objeto de tal forma de realizar desplazamientos en todos los sentidos. Los objetos parten en su posición de reposo al alcance de las manos del usuario. Al igual que con la acción anterior, se midió y guardó el tiempo para realizar cada desplazamiento.

Por último, para la acción de inspeccionar un objeto, se le pidió al usuario girar cada objeto manipulable para encontrar una frase escondida en alguna de sus caras. Así, se trata de construir una oración con las frases de cada objeto. Por lo tanto, se miden los gestos necesarios para girar cada objeto y completar la oración.

Cabe destacar que el orden en que se presentaron los test para cada acción también corresponden al orden en que los usuarios realizaron los gestos. Así, todos los usuarios comenzaron por los dos gestos de selección para seguir con los de desplazamiento y terminar con los de rotación. Esta estructura resulta natural ya que las acciones posteriores son factibles una vez que el objeto ha sido seleccionado por parte del usuario. En cuanto al orden para probar cada gesto de una acción, se implementó un orden aleatorio de pruebas con el objetivo de evitar un posible sesgo asociado a la experiencia que el usuario adquiere a medida que interactúa con el sistema.

### 4.5.3. Post-Test

Luego de finalizar cada tarea para todos los gestos que se evaluaban en una acción, se procede a preguntarle al usuario por la complejidad que sintió al realizar cada gesto. Para esto se registró la respuesta del usuario ante la clasificación de dificultad basada en una escala de 3 puntos, donde respondía a la pregunta de cuán difícil fue realizar cada gesto relacionado con la escena en que se ejecutó. Las posibles respuestas fueron las siguientes: difícil, más o menos, fácil.

Para el caso de evaluar la preferencia de gesto para una acción por parte del usuario, se continuó con la siguiente pregunta: ¿Cuál gesto te gusto usar más?, aprovechando también las diferentes escenas para demarcar cada gesto en un ambiente propio.

## 4.6. Validación de usabilidad

Previo a obtener resultados con los participantes enlistados, fue necesario llevar a cabo entrevistas con adultos y niños para validar la correcta implementación de la aplicación. El objetivo era realizar los cambios necesarios para un correcto uso.

En una primera instancia se logró tomar en consideración el tamaño de los textos, el

lenguaje implementado, la posición inicial de los objetos y cercanía de los objetos al probar el sistema con adultos vinculados al área de enseñanza para niños. Se prefirió agrandar los textos para facilitar la lectura y utilizar palabras como “pelota” y “cajita” para hacer referencia a las esferas y cubos respectivos para asegurar un correcto entendimiento de los objetos a interactuar en los tutoriales. Además se ajustaron las posiciones iniciales de los objetos para que estén en línea con el sensor LMC y por ende a un alcance cercano de las manos al ser captadas.

Luego para tomar la opinión de los niños en el diseño del experimento se realizaron dos entrevistas que complementaron satisfactoriamente la construcción de la aplicación. A partir de estas se extraen las siguientes mejoras; acercar los botones para avanzar entre escenas, aumentar el radio de contacto de los objetos para ser seleccionados, particularmente en los objetos de cocina que eran más planos que los de la granja y usar un esquema de colores para diferenciar los botones de la escena que llevan a cada tutorial, experimento y para seguir adelante en la aplicación. También se prefirió mantener las flechas que permiten realizar ciertas acciones siempre visibles en contraposición con que originalmente se aparecían cuando uno acercaba la mano a cada una, tal como la figura 4.8 por ejemplo. Por último, estas entrevistas sirvieron de ejercicio para mejorar las explicaciones de cada tarea a desarrollar y los gestos a implementar en cada una.

## 4.7. Selección de Participantes

Para la realización de esta investigación se contó con la participación voluntaria de veintidós niños de primero y segundo básico. A ellos se llegó mediante la vinculación con la profesora Muriel Villalobos encargada del curso de segundo básico en el Colegio Municipal Palmeras Oriente ubicado en Quilicura, complementando con una convocatoria abierta a participar difundida por distintos medios como emails y whatsapps. La experimentación se realizó a finales del año escolar respectivo. Entre los veintidós participantes, cabe destacar que fueron siete niños y quince niñas. Además, se confirmó que sólo ocho de ellos han tenido experiencia previa utilizando un VR headset.

En cuanto a la realización de la experimentación, cada experiencia no duró más de treinta minutos, en la cual alcanzaron a realizar todas las tareas pedidas. Adicionalmente, se incorporaron pausas entre acciones para que el niño vaya descansando la vista y evitar posibles mareos al usar la tecnología. A continuación se muestran dos participantes de la experiencia (Figura 4.11).

Por otro lado, cabe mencionar los aspectos éticos que se tomaron en consideración a la hora de desarrollar el experimento y analizar los resultados. Para esto, se solicitó el consentimiento del apoderado o tutor legal de cada niño para participar del experimento. Además, se especificó el derecho de uso de imagen, ya que se grabaron los gestos de algunos participantes. Aunque es importante destacar que se evitó grabar directamente los rostros en las grabaciones que se realizaron, de tal forma de anonimizar a los usuarios. En esta misma línea se considera manejar los resultados solo en términos estadísticos para así tampoco singularizar las mediciones y respuestas de cada usuario.

Debido a la situación sanitaria de pandemia producto del COVID-19, la realización de



Figura 4.11: Participantes interactuando con el dispositivo.

la experimentación tuvo que tener medidas adicionales para evitar posibles contagios entre participantes. Con este objetivo, se desinfectó el equipo entre visitas para minimizar este riesgo de contagio. Además, debido a que los establecimientos escolares estaban cerrados para el periodo de realización de la investigación, fue necesario realizar visitas particulares a cada participante para tomar los resultados en vez de coordinar para ir directo al colegio y realizar la actividad de forma seguida con los niños interesados en participar. Por último, la presencia del virus significó una disminución en la participación al ser una razón recurrente para no participar de la investigación.

# Capítulo 5

## Análisis de Resultados

### 5.1. Resultados

A continuación se muestran los resultados obtenidos para las distintas métricas establecidas por cada participante (Tabla 5.1). A partir de estos datos es posible realizar el análisis para cada gesto y compararlos para cada acción. Adicionalmente, se exponen los datos demográficos asociados a cada resultado. Estos datos consisten en el género (F/M), edad, pertenencia al colegio Palmeras Oriente (C) o participantes de la convocatoria abierta (A) y cursando primero básico (1) o segundo básico (2).



id	Datos Demográficos				Revisita a los tutoriales						Precisión Gesto					
	Género (F/M)	Edad	Convocatoria (C/A)	Curso	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
1	F	9	C	2	1	1	0	1	0	0	0,67	0,58	0,50	0,63	0,63	0,78
2	M	8	C	2	1	1	0	0	0	0	0,75	0,67	0,80	0,71	0,95	0,78
3	F	7	C	1	0	0	1	2	2	0	0,63	0,50	1,00	1,00	0,64	0,62
4	M	8	C	2	2	1	0	1	1	0	0,44	0,31	0,78	0,75	0,67	0,67
5	F	8	C	2	0	1	0	0	0	0	1,00	0,50	0,67	1,00	0,80	0,75
6	F	8	C	2	2	0	1	0	1	0	1,00	0,56	0,60	1,00	1,00	1,00
7	F	8	C	2	0	0	0	2	0	2	0,33	0,43	0,67	0,40	0,47	0,50
8	M	8	C	2	0	0	1	2	0	0	0,44	0,50	0,75	0,60	0,56	1,00
9	M	7	C	1	0	5	2	1	1	0	0,60	0,56	0,75	0,75	0,71	0,71
10	M	8	C	2	0	0	0	0	0	0	0,60	0,75	0,50	0,80	0,64	0,71
11	M	8	C	2	0	1	0	2	0	0	0,50	0,44	0,73	1,00	0,70	1,00
12	F	7	A	1	0	1	0	0	0	0	0,38	0,30	1,00	1,00	0,46	0,67
13	F	7	A	1	0	2	2	3	1	1	1,00	0,43	0,77	1,00	0,71	0,80
14	F	8	A	2	0	0	1	0	1	0	1,00	0,33	1,00	1,00	0,93	0,89
15	F	8	A	2	0	0	0	2	0	0	0,42	0,57	0,50	0,64	0,55	0,69
16	F	7	A	1	0	0	0	1	0	0	0,70	1,00	0,50	0,38	0,50	0,69
17	F	8	A	2	0	0	1	1	0	0	1,00	0,33	0,75	1,00	0,86	0,80
18	M	8	A	2	0	0	0	1	0	1	0,46	0,33	0,88	1,00	0,80	0,63
19	F	8	A	2	0	1	1	0	1	0	0,60	0,63	1,00	0,88	0,58	0,83
20	F	8	A	2	0	1	0	0	0	0	0,80	0,71	1,00	0,57	0,58	0,60
21	F	8	A	2	0	0	0	0	0	0	0,71	0,38	0,60	0,52	0,88	0,86
22	F	8	A	2	0	2	1	1	1	0	0,57	1,00	0,80	1,00	0,72	0,64

id	Tiempo Gesto						Motivación de Uso								
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2	1.1	1.2	Preferencia	2.1	2.2	Preferencia	3.1	3.2	Preferencia
1	4100	2616	4072	2526	5568	4650	2	3	1.2	2	1	2.1	1	1	3.1
2	2624	2143	3663	3174	3727	4481	1	1	1.1	2	1	2.1	2	1	3.1
3	3010	2977	4673	3580	1623	2542	2	1	1.1	3	3	2.1	2	1	3.2
4	3039	5648	4597	2796	3496	3589	2	1	1.1	3	2	2.1	3	1	3.1
5	4156	58961	3310	16689	4794	7092	2	2	1.2	3	3	2.1	2	3	3.2
6	2800	2775	7548	5542	4186	7949	2	2	1.1	2	3	2.2	1	3	3.2
7	2453	2325	3835	5633	2663	2150	3	1	1.1	3	2	2.1	3	3	3.2
8	2520	12955	2730	2797	2334	4616	1	1	1.1	2	3	2.2	1	3	3.2
9	3831	3643	3104	3120	6287	2942	2	3	1.2	2	3	2.2	3	3	3.2
10	2694	3069	2824	3255	2875	2592	2	2	1.1	3	1	2.2	1	3	3.2
11	2617	4099	2844	3418	8457	2456	2	3	1.1	3	1	2.1	1	2	3.2
12	2461	3780	2423	3331	2225	1863	3	3	1.1	3	3	2.2	2	3	3.2
13	2539	6582	3525	6275	4101	3409	3	1	1.1	2	1	2.1	2	3	3.1
14	5983	2233	3432	2650	3318	3587	3	1	1.1	3	1	2.1	2	3	3.2
15	2690	7690	5737	2281	2187	2987	2	2	1.2	3	3	2.1	1	2	3.2
16	3460	3518	2929	4290	3246	2754	3	1	1.1	2	2	2.2	2	2	3.2
17	4304	1252	2313	2662	3627	3514	3	2	1.1	3	1	2.1	2	2	3.2
18	3528	1748	3016	4197	8455	3347	3	1	1.1	3	3	2.2	1	3	3.2
19	2359	2682	3887	1924	4025	3823	2	1	1.1	3	3	2.1	2	1	3.1
20	2616	3099	4184	2020	2454	2978	2	3	1.1	2	3	2.2	3	3	3.1
21	3707	4703	2677	1965	2578	2313	3	3	1.2	3	3	2.1	1	3	3.2
22	1304	2826	3882	2271	4156	3580	2	2	1.1	3	2	2.1	2	2	3.2

Tabla 5.1: Resultados por indicador de cada participante.

## 5.2. Visitas adicionales al tutorial por gesto

El primer indicador que se analiza es el de las visitas adicionales al tutorial de cada gesto. Este contempla la necesidad de recordar el gesto y practicarlo de nuevo en contraposición con reconocerlo durante la realización de cada tarea. Así, se registró cada vez que se recurre al tutorial asociado al gesto, sin contar la visita introductoria al tutorial antes de realizar la tarea con el fin de aprenderlo y realizarlo previamente.

A partir de este indicador se puede apreciar que hay un claro gesto por acción que reporta una menor revisita al tutorial. Este indicador entrega así una primera medición para favorecer un gesto por sobre el otro en cada acción. Además, cabe destacar que para distintas acciones se ve una disminución en la cantidad de revisitas a medida que se aprenden gestos que han sido clasificados similarmente acorde a la taxonomía definida en esta investigación. Esto en vista que para los gestos 2.1, “seguir el movimiento de la mano”, y 3.1, “rotar el objeto acorde al movimiento de rotar la mano”, disminuye el promedio de revisitas a medida que se avanza temporalmente en el experimento. Lo mismo ocurre de forma más evidente con los gestos 2.2, “mover el objeto mediante flechas asociadas a cada dirección”, y 3.2, “utilizar flechas curvas que guían la rotación del objeto”. Lo que nos da a entender que existe un aprendizaje asociado a la realización de cada gesto que beneficia el reconocimiento de gestos similares posteriores. Todo esto se extrae de la Figura 5.1 que contiene los promedios de visitas adicionales a los tutoriales por cada gesto.

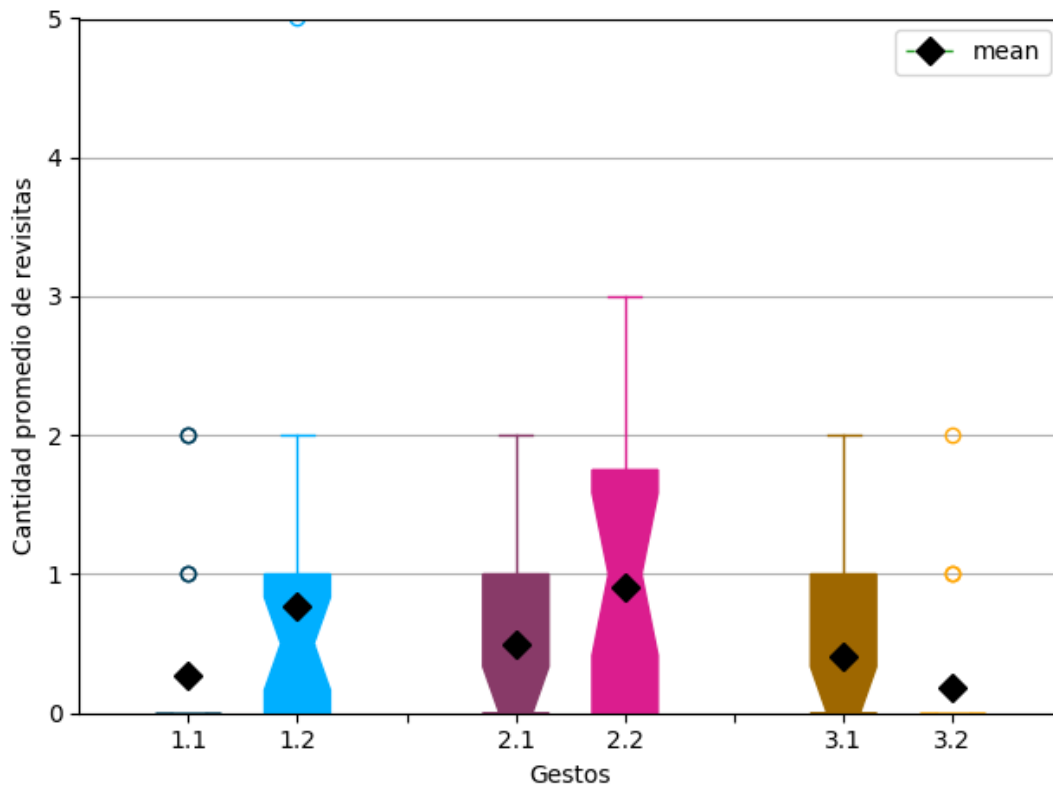


Figura 5.1: Promedio de revisitas a los tutoriales.

### 5.3. Aciertos y Errores por gesto

A continuación se procede a analizar los aciertos y errores generados por cada gesto al momento de realizar la tarea dada para cada acción. Es así que se define la precisión de un gesto al dividir la cantidad de aciertos logrados por el total de aciertos y errores. De esta forma, se tiene un segundo indicador basado en porcentaje de acciones realizadas correctamente para cada gesto.

A partir de la precisión podemos ver que también se logra generar una diferenciación entre los gestos por acción. Ella está acorde con los resultados para la revisita de los tutoriales al tener mayor precisión los gestos que necesitaron menores visitas adicionales al tutorial, a excepción de la acción 2 de desplazar un objeto donde la mayor precisión se encuentra en el gesto que necesitó mayor número de revisitas al tutorial.

Por otro lado, la acción de seleccionar un objeto reporta ser la acción con menor índice de precisión. Esto se debe a que resulta ser la primera acción que realizan los usuarios y corresponde a la base para interactuar con los objetos al habilitar la manipulación de ellos. Por lo que deben acostumbrarse a la profundidad del mundo virtual para poder posicionar sus manos sobre los objetos y así estar dentro del radio para tomar cada objeto induciendo a un mayor nivel de error. Luego, se puede apreciar un alza en la precisión para las siguientes acciones para las cuales ya se ve superada esta etapa inicial de seleccionar el objeto como se muestra en el siguiente gráfico (Figura 5.2).

Cabe destacar que el uso de flechas para realizar las acciones, 2.2 y 3.2, logra un aumento de la precisión promedio por gesto en la segunda y tercera acción. Ya que las pruebas asociadas a esas acciones precisan de un desarrollo de movimientos controlados y el uso de flechas externas al objeto permiten realizar estos movimientos con mayor control y sin interferir el campo visual del usuario. Condición que se diferencia de tener la mano posada en el objeto mismo como es en el caso de los gestos 2.1 y 3.1.

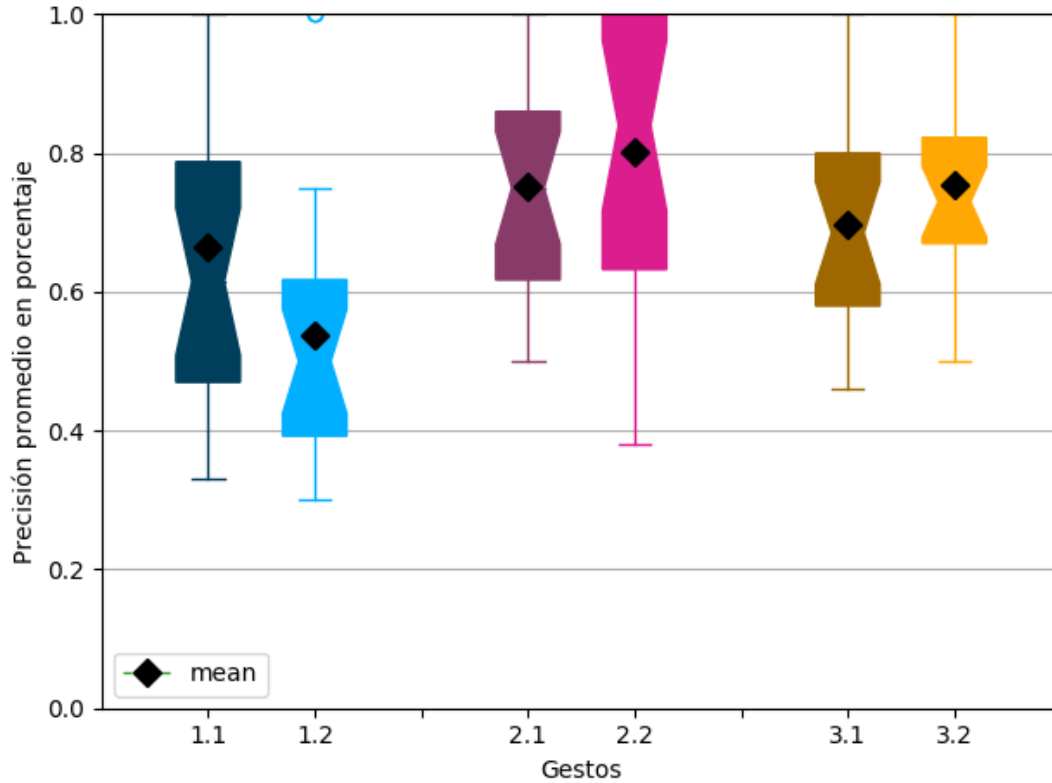


Figura 5.2: Precisión promedio de cada gesto por acción.

## 5.4. Tiempo y Cantidad de ejecuciones por gesto

Al continuar el análisis podemos preguntarnos por el tiempo de ejecución promedio que los niños utilizan para realizar cada gesto y ver si esto implica alguna mejora o disminución de la precisión reportada por gesto. La Figura 5.3 muestra el tiempo promedio de ejecución frente a la precisión obtenida por cada gesto. A partir de él podemos revisar que el tiempo promedio no varía entre los gestos reportados. Fue necesario descartar mediciones *outliers* de tiempo para los distintos gestos, particularmente en el gesto 1.2 que varía considerablemente el promedio. Tomando en cuenta estos resultados, al tener tiempos similares para gestos que reportaron precisiones distintas no es posible establecer una correlación entre el tiempo entregado por el usuario para realizar un gesto con el resultado de llevar a cabo correctamente el gesto. En consecuencia, el tiempo de ejecución no reporta una diferenciación entre gestos para una misma acción.

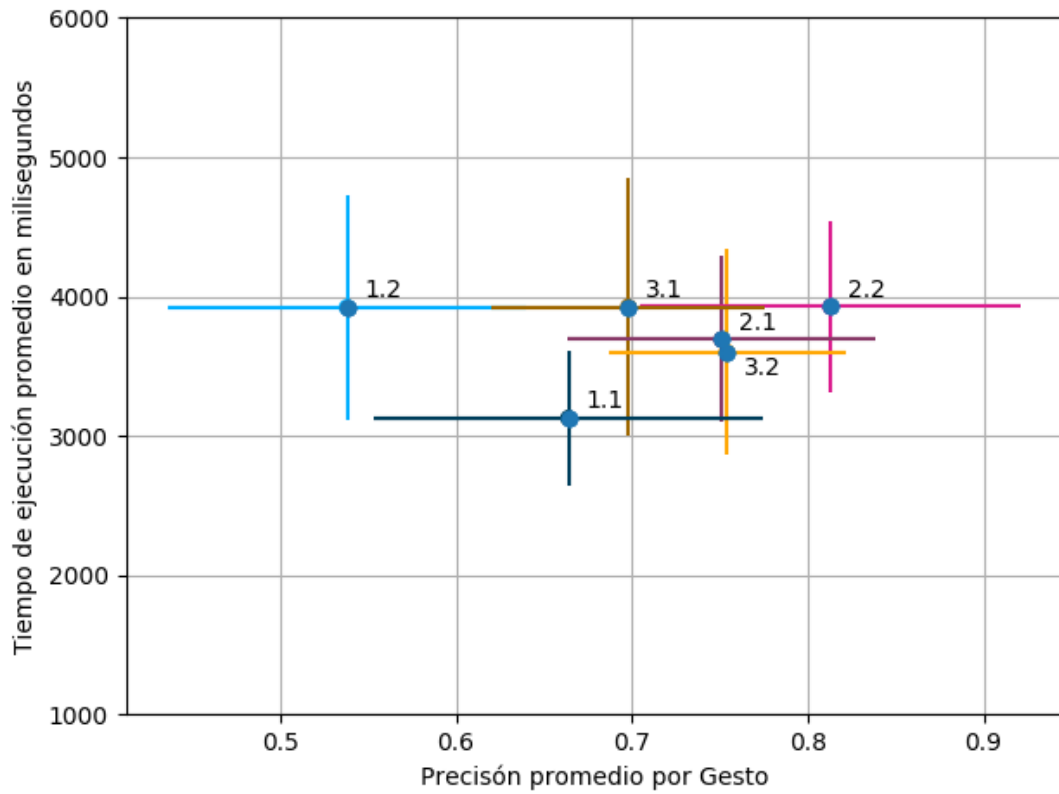


Figura 5.3: Tiempo vs. precisión por cada gesto.

Por otro lado, si comparamos la cantidad promedio de veces que se tuvo que realizar el gesto para lograr la tarea asignada por acción podemos obtener resultados interesantes que aporten información al análisis de preferencias. Tomando en cuenta los datos de la Figura 5.4, es posible ver que para cada acción existe un gesto que permite realizar la tarea asignada en una menor cantidad de movimientos. Esto presenta una estrecha relación con la motivación de uso reportada por los usuarios que se detalla en el próximo punto.

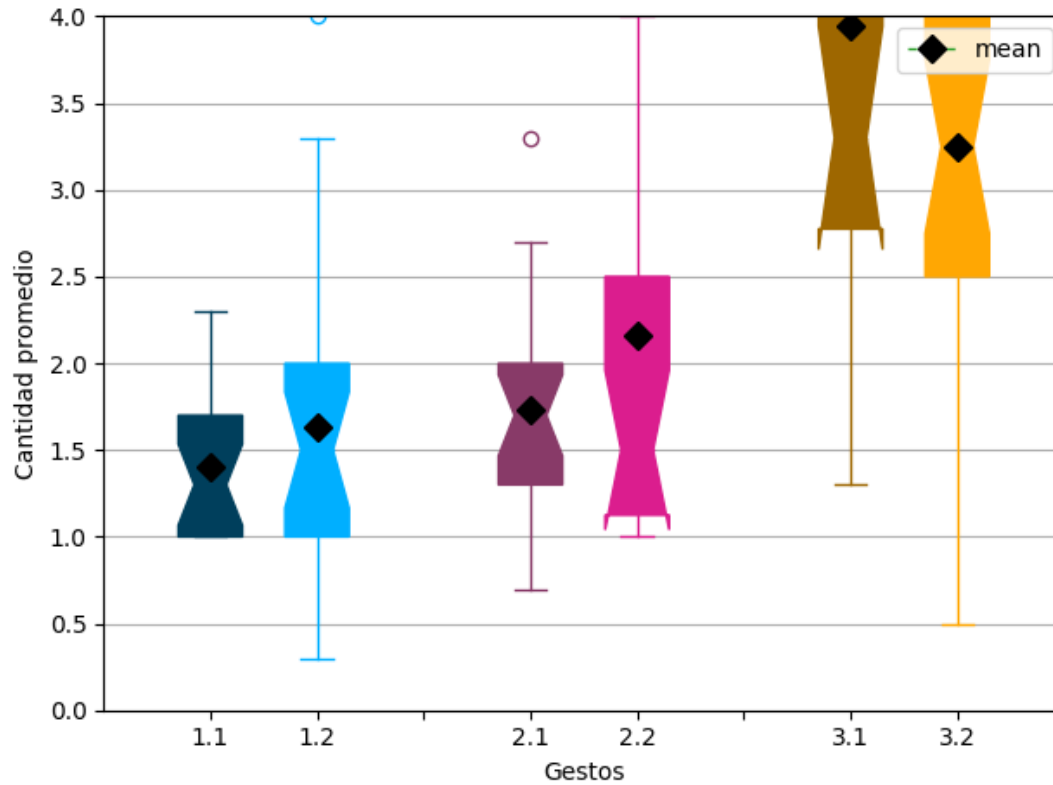


Figura 5.4: Cantidad promedio de gestos para realizar la acción.

## 5.5. Prueba t-Student por acción

Es importante complementar los resultados anteriores con análisis estadísticos de las distribuciones reportadas para cada muestra, con la finalidad de validar una correcta estimación de las medias reportadas, en vista de que se pretende desprender conclusiones para esta investigación a partir de ellas por cada indicador. Por esto, fue necesario realizar pruebas t-Student para demostrar empíricamente la superioridad (en términos de cada métrica) de un gesto por sobre otro.

Estas pruebas se realizaron a nivel de acción, comparando las observaciones de ambos gestos para calcular su p-valor por indicador y así poder concluir con cierto nivel de confianza. Se estimó trabajar con cada acción por separado entendiendo que corresponden a interacciones diferenciadas que ameritan su propio análisis. Así, se buscó encontrar un gesto estadísticamente predominante por acción, con los que se pueda construir un conjunto de “mejores gestos” por sobre otros.

Para la prueba t-Student, se consideró trabajar las distribuciones de forma pareada, es decir, considerando los resultados de ambos gestos para cada niño por separado. Esta metodología permite controlar el experimento por variables exógenas inherentes al niño en cuestión, evitando así el sesgo que se podría generar si se consideran dos grandes grupos asumiendo que los niños son idénticos. Además, se realizaron pruebas t-Student de una cola con el objetivo de determinar específicamente si un gesto es superior a otro. Dados dos parámetros  $\theta_1, \theta_2$ , una prueba de una cola toma como hipótesis nula  $\theta_1 \leq \theta_2$ , es decir, intenta testear,

por ejemplo, si el gesto 1 es más preciso que el gesto 2.

A continuación se presentan en la Tabla 5.3 los p-valores para cada acción reportados en cada indicador medido, el cual representa la probabilidad con la que se cumple la hipótesis nula. Entonces, un p-valor de 0,05 confirma que  $\theta_2 > \theta_1$  con un 95 % de confianza. Cabe destacar que se descarta revisar la distribución del tiempo al no presentar una correlación significativa con la precisión.

En cuanto a los valores obtenidos, se puede apreciar que para la mayoría de los casos se logra una confianza del 95 % o a lo menos del 90 %, lo que nos permite estimar que la probabilidad de que la hipótesis nula sea cierta es considerablemente baja en estos casos, sin desestimar que de todos modos existen p-valores que no permiten tener un grado de confianza necesario. Esto ocurre en los casos de la acción de desplazamiento de un objeto con el indicador de precisión promedio y para la acción de selección de un objeto con el indicador de cantidad de gestos promedio.

Acción	Selección	Desplazamiento	Rotación
Revisitas al tutorial	0.05	0.03	0.10
Precisión promedio	0.03	0.14	0.05
Cantidad promedio de gestos	0.17	0.10	0.04

Tabla 5.2: Resumen de resultados p-valor por acción para distintos indicadores.

Para clarificar y ahondar más en los resultados anteriores se procede a investigar la distribución de los resultados presentada en cada acción. De esta forma se busca asegurar una congruencia entre la distribución y los resultados de p-valor calculados.

En primer lugar, vemos la distribución de los resultados para el indicador de revisitas al tutorial promedio en los histogramas de la Figura 5.5. Con estos podemos ver que existe un gesto que contempla una distribución más cercana al cero, lo cual se relaciona con un mayor reconocimiento del gesto y menor necesidad de recordarlo a través de los tutoriales. De todas formas, podemos ver un acercamiento de las distribuciones en el tercer histograma que corresponde a la acción de rotación, lo que puede explicar el intervalo de confianza menos holgado que alcanza solo el 90 %.

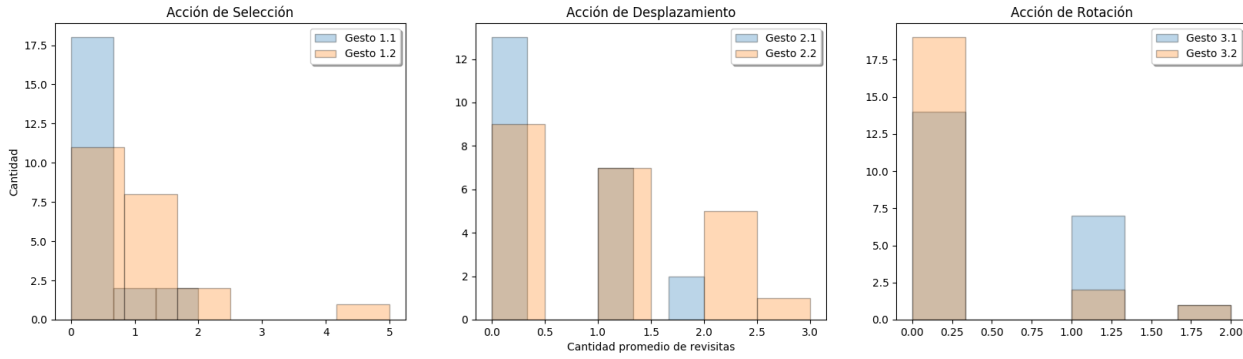


Figura 5.5: Histograma de visitas al tutorial promedio por gesto.

Siguiendo con el indicador de precisión promedio, tenemos los histogramas descritos en la Figura 5.6. Se puede apreciar que el borde de la distribución favorece a un gesto al acumular mayor número de usuarios presentes en los tramos superiores. Se ve en la acción de selección donde el gesto 1.1 logra presentar mayor cantidad de promedios en el extremo de su distribución. A este gesto se le suma el gesto 3.2 de la acción de rotación donde también se aprecia esta tendencia. De esta forma vemos que los gestos predominantes, en cuanto a precisión promedio, corresponden a los dos gestos anteriores, mientras que para el caso de la acción de desplazamiento, las distribuciones están más equiparadas, lo que disminuye la diferencia de medias encontrada en esta acción.

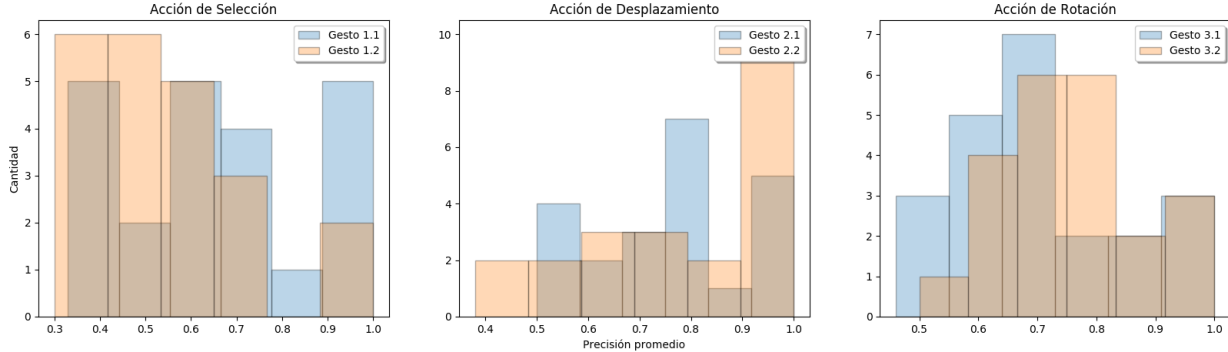


Figura 5.6: Histograma de precisión promedio por gesto.

En tercer lugar, se evalúan los histogramas para el indicador de cantidad promedio de gestos realizados por acción, presentados en la Figura 5.7, con los cuales podemos entender que los p-valores para las acciones de selección y desplazamiento no sean favorables para sustentar una diferencia significativa al presentar distribuciones de las cuales no se desprende una clara diferencia, ya que ambas tienden a un menor número de gestos realizados y se superponen. En cuanto a la acción de rotación vemos que el gesto 3.2 logra mover a casi la totalidad de los usuarios a los tramos inferiores del histograma, mientras que el gesto 3.1 contiene valores de cantidades superiores de gestos usados para cumplir la acción.



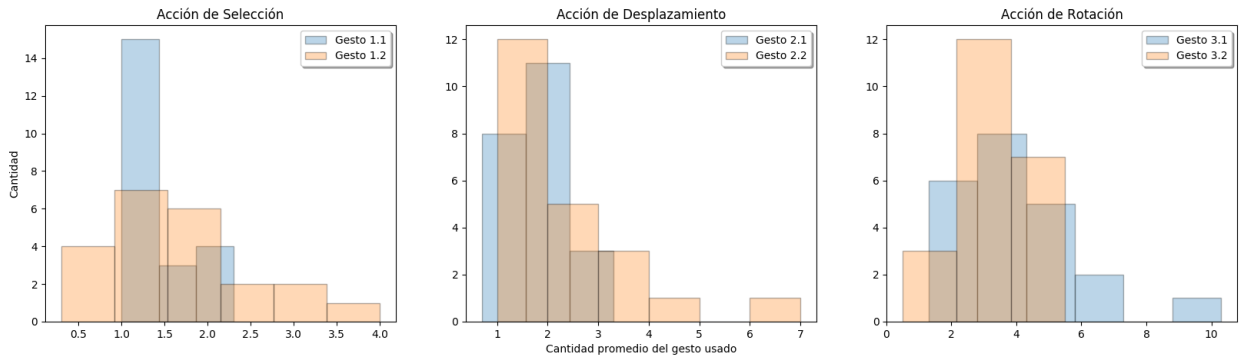


Figura 5.7: Histograma de cantidad promedio de gestos para realizar cada acción.

## 5.6. Motivación de uso entre gestos por cada acción

Luego de revisar los datos entregados por la aplicación podemos continuar con la evaluación y motivación que fueron reportadas por los usuarios después de realizar cada acción. Con esto se obtiene la motivación de los usuarios a la hora de usar los distintos gestos en la aplicación.

En un primer punto, se les pidió a los usuarios evaluar el gesto entre “difícil, más o menos y fácil” generando una escala del 1 al 3, lo cual denota la facilidad reportada para llevar a cabo cada gesto (Figura 5.8). Los resultados de esta encuesta se condicen con los indicadores presentados anteriormente, es decir, los gestos declarados como “más fáciles” corresponden a los gestos con menor número de visitas y menor cantidad de gestos para realizar la acción.

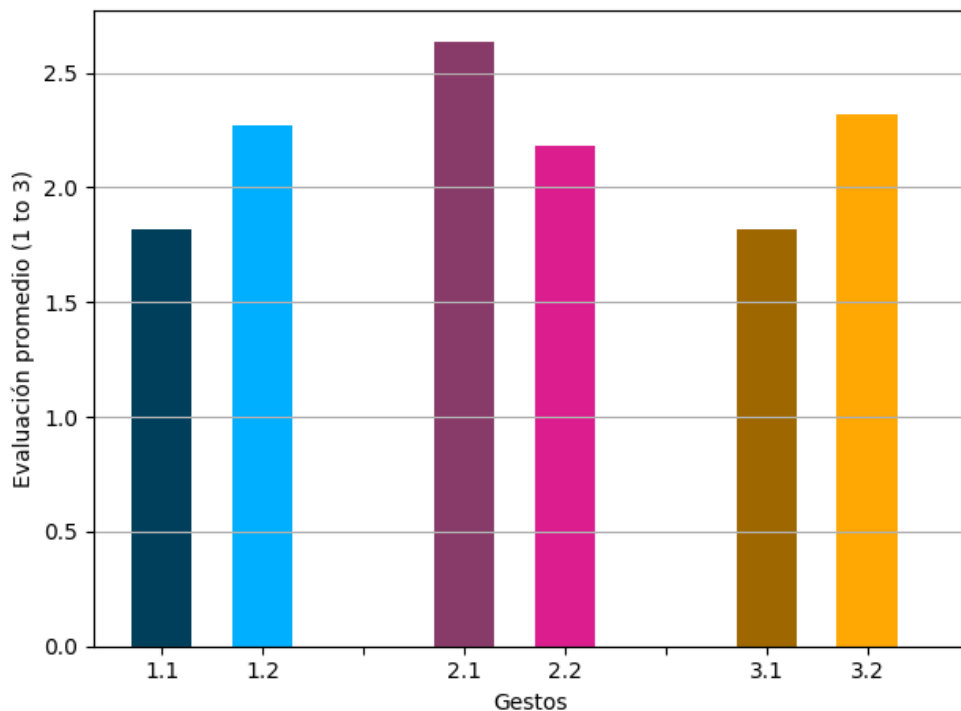


Figura 5.8: Promedio de evaluación de cada gesto.

En un segundo punto, se les pidió a los usuarios que escogieran entre los dos gestos que habilitan hacer una acción para evaluar la motivación reportada por el uso de cada gesto. A partir de ello se genera el siguiente gráfico que indica las preferencias de los usuarios para cada acción (Figura 5.9). El resultado es que volvemos a obtener preferencias claras de gestos para cada acción con una diferenciación mayor en vista de que los usuarios tenían que elegir entre uno y otro. Además, podemos ver que para la acción 2 de desplazar un objeto, los niños prefirieron realizarlo siguiendo el movimiento de manos que con el gesto que utiliza flechas asociadas, lo que se contrapone con las preferencias para la acción tres de inspección donde se invierten estas preferencias, por lo tanto es posible acreditar una necesidad extra de entendimiento para el uso de flechas asociadas a la acción que describen para luego mejorar la interacción. En cuanto a la precisión promedio ambos gestos que utilizan flechas lograron una mejor precisión que cuando se tenía que seguir el movimiento de la mano para llevar a cabo la tarea.

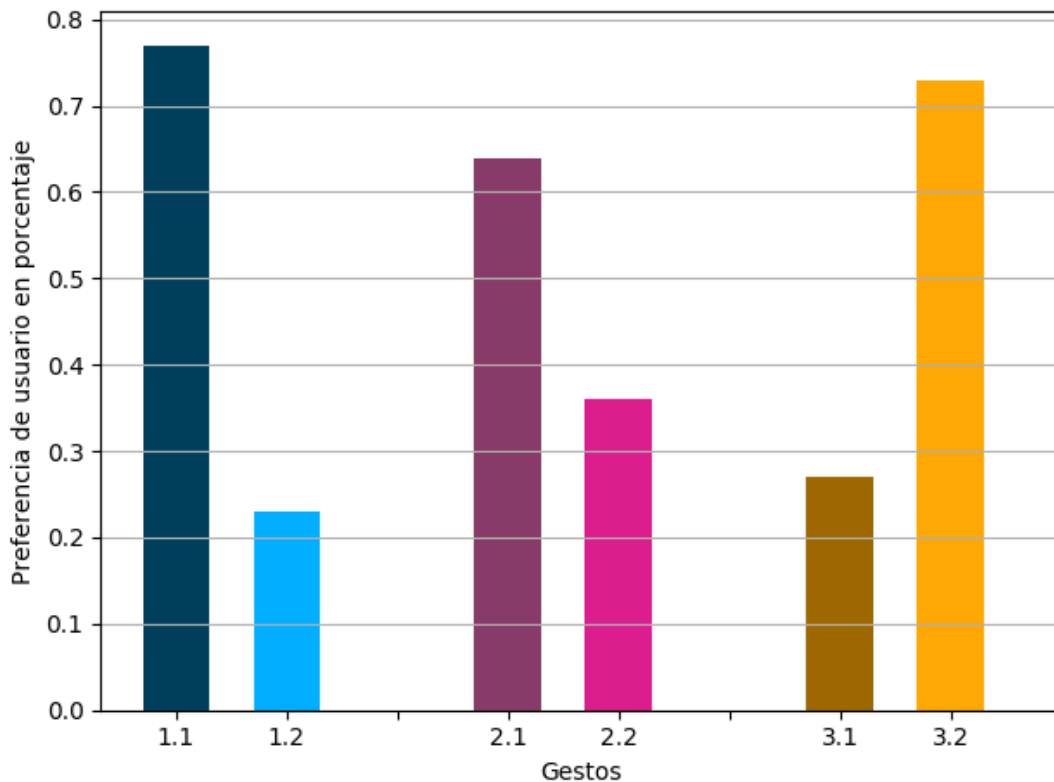


Figura 5.9: Preferencia de los usuarios por cada acción.

## 5.7. Resumen de preferencias

Por último, se presenta el resumen de estos indicadores en la tabla siguiente, de tal forma de unificar los criterios evaluados y permitir generar lineamientos de mejores gestos para las diferentes acciones analizadas. A partir de estos gestos, se busca tener una menor tasa de visitas a los tutoriales, a medida que la precisión promedio aumenta y la preferencia de motivación de uso establecida por el usuario sea preferente entre los gestos para una acción.

Por lo tanto, podemos ver que para cada acción existe un gesto preferente tomando en cuenta todos los indicadores mencionados anteriormente. Así, para la selección de un objeto se presenta el gesto 1.1 de cerrar la mano en pinza como opción preferente para la acción. Mientras que para el desplazamiento de un objeto se aprecia el gesto 2.1 de seguir el movimiento de la mano como mejor candidato, si bien presenta una menor precisión con respecto al gesto 2.2, lo sobrepasa en las otras dos mediciones. Por último, para la inspección del objeto el gesto 3.2 de utilizar flechas curvas que guían la rotación del objeto obtuvo un mejor desempeño acorde a las distintas mediciones (Tabla 5.3).

Acción	Selección de objeto		Desplazamiento de objeto		Inspección de objeto	
	Usar mano como pinza	Apuntar con el dedo índice	Seguir el movimiento de la mano	Mover objeto de forma rectilínea mediante flechas	Seguir la rotación de la muñeca	Flechas curvas que guían la rotación del objeto
Revisitas al tutorial	0.3	0.8	0.5	0.9	0.4	0.2
Precisión promedio	66.4%	53.8%	75.1%	80.1%	69.8%	75.4%
Preferencia	77.3%	22.7%	63.6%	36.4%	27.3%	72.7%
Cantidad promedio de gestos	1.4	1.6	1.7	2.2	4.0	3.3

Tabla 5.3: Resumen de resultados por indicador.

## 5.8. Discusión

Al agrupar los gestos en distintas acciones es posible establecer parámetros de comparación y evaluación entre ellos sujeto a una finalidad clara y acotada que deben cumplir, siendo esta la acción a la cual están suscritos. Con esto en mente, preguntarse por un mejor gesto comparativo para cierta interacción se condiciona a esta acción y las características de desempeño que se busca en la realización del gesto. En consecuencia, al tomar en cuenta los indicadores y principios utilizados para evaluar los gestos en este trabajo, es posible ir respondiendo las preguntas de investigación planteadas en un comienzo.

En primer lugar, se analiza la forma de habilitar la mejor interacción en sistemas de VR para niños en enseñanza básica. Para eso, vemos que la mejor interacción corresponde a un mayor reconocimiento del gesto para cuando es necesario usarlo y que además permita desarrollar la tarea satisfactoriamente con la menor cantidad de errores generados en el proceso. Para esto, se presenta el análisis obtenido en esta investigación que indica claras diferencias entre cada gesto evaluado para cada acción. Obtenemos que un gesto supera al otro por cada aspecto descartando la posibilidad de que no se encuentre distinción alguna entre gestos. Así, con estos datos es posible seleccionar un mejor gesto para cada acción como aparece plasmado en la Tabla 5.3 de resumen priorizando por el mejor cumplimiento de los criterios establecidos. Si bien pueden existir un mayor número de gestos que lleven a cabo estas acciones, es posible apreciar que entre los dos gestos evaluados por acción, uno se destaca y se posiciona en una mejor posición comparativa. Esto indica claramente que un gesto puede presentar mejores resultados al evaluar la interacción en VR para niños.

En segundo lugar, corresponde centrar la discusión en el análisis de la evaluación reportada por los niños al participar con el sistema y la tecnología de VR. Para esto se toma en cuenta

la motivación que reporta el uso de cada gesto en los niños de enseñanza básica. Para ello, se procede a tener en cuenta la ponderación reportada por el usuario sobre el gesto y en definitiva la preferencia de gesto por cada acción. Vemos entonces que los participantes asocian esta preferencia al menor número de movimientos promedios necesarios para realizar la acción y la facilidad de reconocer el gesto al realizar menos visitas adicionales al tutorial. Damos entonces importancia a las métricas anteriores y en última instancia optamos por el gesto preferente luego de la experiencia de uso, entregando un mejor gesto comparativo por acción acorde a sus criterios y motivación reportada como se muestra en el gráfico de preferencias de los usuarios por acción (Figura 5.9). Por lo que, es posible extraer un gesto, de los dos por acción, que reporta una mayor motivación al ser realizado.

Por último, al tomar en cuenta los análisis anteriores es posible aprovechar la combinación de ambos para buscar un gesto que es comparativamente mejor que otro para cada acción. Esto al evaluar el desempeño demostrado para llevar a cabo la tarea y la motivación de uso reportada por los usuarios. Así, se establece una preferencia sobre qué gestos usar en VR para niños de enseñanza básica. De esta manera, resulta posible definir un mejor gesto comparativo por acción al revisar la mayor cantidad de indicadores positivos para dicho gesto estableciendo la preferencia de gesto a “cerrar una mano como pinza en el centro del objeto” para el caso de la selección de objeto, “seguir el movimiento de la mano” en relación al desplazamiento de objeto y el uso de “flechas curvas que guían la rotación del objeto” para la inspección del objeto por sobre los demás gestos que comprenden el análisis. Con esto se puede establecer que existe una preferencia en términos de usabilidad y motivación por acción. La cual no implica que los gestos anteriormente mencionados sean los óptimos para desarrollar cada acción, pero si se puede señalar que representan un óptimo local en cuanto a los gestos investigados.

Para lo anterior, es necesario rescatar los resultados de p-valor por acción e indicador, con lo cual se analiza la probabilidad de que la hipótesis cero de que no hay diferencia entre un gesto y otro por acción sea cierta. Es con estos valores que se puede sustentar el hallazgo de un mejor gesto por cada acción al presentar un grado de confianza de 95 % o a lo menos de 90 % para la mayoría de los indicadores, confianza que se manifiesta en resultados estadísticamente significativos. Sin embargo, es importante tener en consideración que las acciones de selección y desplazamiento no lograron alcanzar una confianza suficiente para los indicadores de cantidad promedio de gestos usados y precisión respectivamente. Lo anterior condiciona en cierta medida los resultados alcanzados y corresponde aumentar el total de participantes para esclarecer la distribución por acción en estos indicadores, de tal forma de mejorar la precisión estadística y, por tanto, la confianza con la que se concluye.

El presente trabajo contempla un diseño de estudio *within-subjects* con respecto a las acciones evaluadas. Principalmente, debido a que la primera acción de selección de objeto corresponde al primer paso para poder interactuar con un objeto. Por lo que, es necesario comenzar el estudio con esta acción para luego continuar con el desplazamiento e inspección de un objeto. En cuanto a las siguientes dos acciones, es posible preguntarse por invertir el orden en que fueron presentadas a los usuarios. Si bien, es correcto evaluar una posible diferencia en cuanto al orden de presentación, esta se desestimó en base a que el conjunto de usuario es más bien reducido, lo que también motivo el uso de un método de estudio *within-subjects* por sobre de un estudio *between-subjects*. Esta decisión se facilita al considerar que

los gestos evaluados en estas acciones están clasificados similarmente (Tabla 2.1), por lo que se puede estimar que para un reordenamiento de estas acciones de todas formas se estaría partiendo con gestos clasificados similarmente.

Al continuar explorando esta condición de contar con gestos similarmente clasificados para las acciones de desplazamiento e inspección, podemos continuar la discusión explorando las implicaciones en los resultados. Por un lado, tenemos que gestos clasificados en base a su naturaleza física, según la Tabla 2.1, presentan una mayor facilidad para reconocerlos al tener un índice de revisitas al tutorial constante. Estos serían los gestos 2.1 y 3.1. Por otro lado, los gestos 2.2 y 3.2 comparten una naturaleza metafórica, lo que supuso un mayor nivel de aprendizaje al ver que para la última acción el gesto 3.2 reporta un aumento en la precisión y preferencias en comparación con la segunda acción. Más aún, esto llega a aportar para seleccionar como gesto preferente en la tercera acción al gesto con clasificación de naturaleza metafórica. En circunstancias que para la segunda acción se prefiere al gesto de naturaleza física.

Por otro lado, es factible ahondar en aprendizajes adicionales evidenciados durante la investigación. Surgen consideraciones interesantes a tener en cuenta para futuras investigaciones y desarrollos en el área. Es así que un punto importante a tener en cuenta es la capacidad espacial en realidad virtual de los usuarios nuevos en la tecnología, ya que se aprecia una disminución en la precisión de seleccionar los objetos basado en los resultados de la primera acción en comparación con las siguientes acciones. Resulta de gran importancia el incorporar apoyos visuales para guiar la correcta profundidad en que se encuentran los objetos respecto a las manos de los usuarios. Esto se facilita con el uso de cambio de colores en los objetos para demostrar que la mano está dentro del radio de selección del objeto o mientras se mantiene la interacción con el objeto. A esto se suma la tendencia a realizar movimientos rápidos por parte de los niños, por lo que resulta favorable mantener en el centro del campo visual los objetos que se quieren utilizar para aprovechar al máximo la capacidad del sensor y evitar que se pierdan las manos en los bordes de este. A fin de cuentas, es importante rescatar la importancia de realizar entrevistas previas con posibles usuarios para que el desarrollo vaya adquiriendo validez y, así, adecuarlo a sus necesidades. Se busca que los usuarios participen activamente en el diseño de las aplicaciones con esta tecnología.

# Capítulo 6

## Conclusión

La presente investigación se centra en mejorar la interacción de niños de enseñanza básica con sistemas de VR. Esto, al analizar y evaluar gestos que permiten desarrollar una misma acción o tarea para establecer preferencias de uso. Se busca profundizar en el ámbito de HCI particularmente para la interacción en aplicaciones de VR para niños, dado que se toma en consideración que no se ha realizado una investigación del desempeño de los niños al utilizar distintos gestos y compararlos hasta la actualidad. De tal forma, se espera generar un lineamiento inicial sobre el uso de gestos de VR. De esta manera se facilita la interacción requerida para futuras aplicaciones.

Dado los beneficios de incorporar aplicaciones en VR para el proceso de aprendizaje en niños, ha sido el interés de esta investigación la interacción gestual que se requiere por parte de los niños para llevar a cabo el aprendizaje de vocabulario de inglés. Es así, que se enmarca el análisis de gestos en un contexto de formación, como es el caso de la enseñanza del idioma inglés, el cual se puede asemejar al resto de las áreas de aprendizaje para así abarcar un mayor uso de estos gestos a evaluar y solo restringirlos a la acción que desarrollan.

Resulta necesario precisar las acciones que se utilizaron para llevar a cabo la investigación y poder agrupar los gestos para poder ser comparados. Debido que estas acciones pueden ser múltiples, se circunscribe el número de ellas con la finalidad de limitar el tiempo para realizar la investigación. A partir de las acciones se procede a encontrar gestos existentes en la literatura que puedan desarrollar dicha tarea de forma idónea al momento de la representación de la acción. En consecuencia, se obtuvo una selección de gestos específicos para cada acción definida.

Utilizando los gestos definidos por cada acción y luego de la realización de la experimentación se logró establecer que estos gestos por cada acción no son indistinguibles. En cambio, se aprecia una clara preferencia por acción sujeta a los indicadores evaluados en la sección de *Análisis de Resultados*. La cual permite obtener un ranking inicial de gestos para las acciones de selección, desplazamiento e inspección, basado en los gestos evaluados. Conjuntamente se establece una guía para medir diferentes gestos y poder compararlos según indicadores de uso enriqueciendo eventualmente la investigación con más gestos y acciones. Con este mecanismo se dilucida que el gesto de “cerrar una mano como pinza en el centro del objeto” corresponde

a la mejor opción para la acción de selección de objeto, al igual que el gesto de “seguir el movimiento de la mano” para la acción de desplazamiento del objeto y por último el gesto de utilizar “flechas curvas que guían la rotación del objeto” resulta eficaz para la acción de inspección del objeto. Dicha conclusión se obtiene al apreciar una menor cantidad de revisitas al tutorial que cada gesto genera aumentando la capacidad de reconocimiento del mismo, junto con una mejor precisión al maximizar la cantidad de aciertos y minimizar los errores al momento de realizar una tarea acorde a la acción. A esto se suma la motivación de uso que genera cada gesto en el usuario y es reportada por ellos luego de completar la tarea dada.

Es así que esta investigación ofrece una guía documentada para el análisis de gestos en VR. Si bien, es posible obtener un gesto preferente, entre los dos evaluados por acción, es necesario continuar la experimentación para evaluar nuevos gestos y aumentar la participación. De esta manera se disminuyen los riesgos a la validez de esta investigación sujetos al número de muestras utilizadas y la posibilidad de que exista otro gesto que supere los resultados de los gestos actualmente evaluados.

La hipótesis que guía esta investigación corresponde a evaluar si “existe un conjunto de gestos mejores (más usables/motivacionales) que otros que contribuyan a la usabilidad y motivación en el contexto de niños de primero y segundo básico al aprender vocabulario en inglés”. Esta se logra cumplir en un sentido parcial al validar que existe un conjunto de gestos mejores debido a que se aprecian preferencias entre los gestos evaluados, pero no llega a establecer un mejor gesto categórico para cada acción. De todos modos, se logra establecer un ranking preliminar de preferencias por cada acción, lo que conlleva eventualmente a encontrar un mejor gesto comparativo por acción. Esto basado en la idea de que se pueden encontrar gestos que obtengan un mejor resultado por cada indicador a partir de un conjunto más amplio. Cabe destacar, es importante clarificar la necesidad de agrupar los gestos por acciones para garantizar una correcta comparación de los gestos sujetos a una tarea en común para desarrollar.

Esta investigación ha demostrado la potencialidad de seguir desarrollando análisis en el área de gestos sin contacto para VR de distintas formas. En primer lugar, se puede incorporar nuevos gestos para seguir estableciendo un gesto preferente para cada acción. En segundo lugar es posible aumentar el número de participantes que realicen el experimento para obtener resultados más concluyentes. En tercer lugar, investigar las diferencias de interacción por género o entre niños con y sin experiencia en VR. Por último revisar los gestos necesarios para llevar a cabo interacciones grupales de forma simultánea entre usuarios.

Al incorporar nuevos gestos a la investigación se logra ampliar el alcance de este trabajo. Debido a que se puede comparar una mayor cantidad de gestos para las tres acciones evaluadas, ahondando en las preferencias establecidas y ratificando las mismas. Además, se puede aprovechar esta búsqueda de más gestos para incorporar aquellos que presenten una clasificación distinta a los evaluados según la Tabla 2.1. Por otro lado, se puede aumentar las acciones de la investigación y asociarles nuevos gestos para obtener una amplia comparación entre ellos, como puede ser el caso de la acción que corresponde a la interacción con la escena para navegar por ella.

Con la finalidad de establecer análisis que sean concluyentes, resulta preferible continuar realizando el experimento en niños para poder generar subconjuntos de resultados según

distintos parámetros. De esta manera, resulta interesante y posible analizar el desempeño para esta experiencia de forma separada entre niños y niñas al contar con más participantes. Así poder evaluar por género los resultados para los diferentes indicadores que se miden en la investigación. Por otro lado, al contar con mayor cantidad de datos, existe la posibilidad de evaluar la diferencia que supone tener conocimiento previo sobre el uso de sistemas de VR, para demostrar si ésta influye en el desarrollo del experimento.

Extender el concepto de participación para incorporar la capacidad de interactuar en forma conjunta entre dos o más niños durante el experimento, puede corresponder a un aporte en una futura investigación. Lo expuesto requiere un uso y análisis de gestos que habiliten la colaboración entre usuarios. En efecto, deberá considerarse la coordinación y cooperación entre participantes que se puede llevar a cabo de múltiples formas, identificando preferencias en ese ámbito.

Finalmente, con la presente investigación se busca establecer un precedente para el análisis de gestos sin contacto para VR. Se entrega un ranking inicial de un gesto preferente, entre dos gestos, para cada acción permitiendo generar un lineamiento para futuros desarrollos. De este modo se espera contribuir a la disciplina de HCI y profundizar la interacción de los niños con sistemas de VR, posicionando a los niños en el centro de la discusión, del análisis y la interacción que tienen con esta tecnología.



# Bibliografía

- [age, 2019] (2019). Agencia de calidad entregó los resultados del estudio nacional de inglés. <https://www.mineduc.cl/resultados-del-estudio-nacional-de-ingles/>.
- [oxf, 2020] (2020). "why should i learn english? 10 compelling reasons for efl learners. <https://www.oxford-royale.com/articles/reasons-learn-english/#aId=892c42ed-f9db-4b09-87a6-d9848fde6a16>.
- [Ackermann, 2001] Ackermann, E. (2001). Piaget’s constructivism, papert’s constructionism: What’s the difference. *Future of learning group publication*, 5(3):438.
- [Altarteer et al., 2017] Altarteer, S., Charissis, V., Harrison, D., and Chan, W. (2017). Development and heuristic evaluation of semi-immersive hand-gestural virtual reality interface for luxury brands online stores. *Lecture Notes in Computer Science Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics*, page 464–477.
- [Baloian et al., 2008] Baloian, N., Pino, J. A., and Hoppe, H. U. (2008). Dealing with the students’ attention problem in computer supported face-to-face lecturing. *Journal of Educational Technology & Society*, 11(2):192–205.
- [Baloian et al., 2013] Baloian, N., Pino, J. A., and Vargas, R. (2013). Tablet gestures as a motivating factor for learning. In *Proceedings of the 2013 Chilean Conference on Human-Computer Interaction*, pages 98–103.
- [Cabral et al., 2005] Cabral, M. C., Morimoto, C. H., and Zuffo, M. K. (2005). On the usability of gesture interfaces in virtual reality environments. *Proceedings of the 2005 Latin American conference on Human-computer interaction - CLIHC 05*.
- [Chang et al., 2017] Chang, Y. S., Nuernberger, B., Luan, B., and Hollerer, T. (2017). Evaluating gesture-based augmented reality annotation. *2017 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*.
- [Cheng et al., 2017] Cheng, A., Yang, L., and Andersen, E. (2017). Teaching language and culture with a virtual reality game. *Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.
- [Dalim et al., 2020] Dalim, C. S. C., Sunar, M. S., Dey, A., and Billinghamurst, M. (2020). Using augmented reality with speech input for non-native childrens language learning.

*International Journal of Human-Computer Studies*, 134:44–64.

- [Erazo and Pino, 2018] Erazo, O. and Pino, J. A. (2018). Predicting user performance time for hand gesture interfaces. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 65:122–138.
- [Erazo et al., 2017] Erazo, O., Rekik, Y., Grisoni, L., and Pino, J. A. (2017). Understanding gesture articulations variability. *Human-Computer Interaction - INTERACT 2017 Lecture Notes in Computer Science*, page 293–314.
- [Ford, 2014] Ford, C. (2014). 'children should start learning languages at age three'.
- [Graham et al., 2016] Graham, S., Courtney, L., Tonkyn, A., and Marinis, T. (2016). Motivational trajectories for early language learning across the primary-secondary school transition. *British Educational Research Journal*, 42(4):682–702.
- [Guna et al., 2014] Guna, J., Jakus, G., Pogačnik, M., Tomažič, S., and Sodnik, J. (2014). An analysis of the precision and reliability of the leap motion sensor and its suitability for static and dynamic tracking. *Sensors*, 14(2):3702–3720.
- [Hartshorne et al., 2018] Hartshorne, J. K., Tenenbaum, J. B., and Pinker, S. (2018). A critical period for second language acquisition: Evidence from 2/3 million english speakers. *Cognition*, 177:263–277.
- [Hourcade et al., 2007] Hourcade, J. P., Iversen, O. S., Woodgate, D., Parés, N., Fails, J. A., and Read, J. (2007). Research philosophies in interaction design and children: Panel at the 6th international conference on interaction design and children 2007, aalborg, denmark, june 6, 2007. In *Interaction Design and Children*.
- [Iivari and Kuutti, 2018] Iivari, N. and Kuutti, K. (2018). Critical design in interaction design and children. *Proceedings of the 17th ACM Conference on Interaction Design and Children*.
- [Inglés (Propuesta) 2° básico, 2018] Inglés (Propuesta) 2° básico (2018). <https://www.curriculumnacional.cl/portal/Educacion-General/Ingles-Propuesta-curricular-/Ingles-Propuesta-2-basico/>.
- [Jahani and Kavakli, 2017] Jahani, H. and Kavakli, M. (2017). Exploring a user-defined gesture vocabulary for descriptive mid-air interactions. *Cognition, Technology Work*, 20(1):11–22.
- [Johnson-Glenberg, 2018] Johnson-Glenberg, M. C. (2018). Immersive vr and education: Embodied design principles that include gesture and hand controls. *Frontiers in Robotics and AI*, 5.
- [Khundam, 2015] Khundam, C. (2015). First person movement control with palm normal and hand gesture interaction in virtual reality. *2015 12th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering (JCSSE)*.
- [Krassner et al., 2016] Krassner, A. M., Gartstein, M. A., Park, C., Dragan, W. , Lecannelier,

- F., and Putnam, S. P. (2016). East–west, collectivist-individualist: A cross-cultural examination of temperament in toddlers from chile, poland, south korea, and the u.s. *European Journal of Developmental Psychology*, 14(4):449–464.
- [LaViola Jr et al., 2017] LaViola Jr, J. J., Kruijff, E., McMahan, R. P., Bowman, D., and Poupyrev, I. P. (2017). *3D user interfaces: theory and practice*. Addison-Wesley Professional.
- [Leyvand et al., 2011] Leyvand, T., Meekhof, C., Wei, Y.-C., Sun, J., and Guo, B. (2011). Kinect identity: Technology and experience. *Computer*, 44(4):94–96.
- [Li et al., 2019] Li, Y., Huang, J., Tian, F., Wang, H.-A., and Dai, G.-Z. (2019). Gesture interaction in virtual reality. *Virtual Reality Intelligent Hardware*, 1(1):84–112.
- [Mcgraw et al., 2009] Mcgraw, I., Yoshimoto, B., and Seneff, S. (2009). Speech-enabled card games for incidental vocabulary acquisition in a foreign language. *Speech Communication*, 51(10):1006–1023.
- [Nielsen, 1994] Nielsen, J. (1994). Heuristic evaluation. In *Usability inspection methods*, pages 25–62. John Wiley & Sons, Inc.
- [Orlosky et al., 2017] Orlosky, J., Kiyokawa, K., and Takemura, H. (2017). Virtual and augmented reality on the 5g highway. *Journal of Information Processing*, 25:133–141.
- [Papanastasiou et al., 2018] Papanastasiou, G., Drigas, A., Skianis, C., Lytras, M., and Papanastasiou, E. (2018). Virtual and augmented reality effects on k-12, higher and tertiary education students’ twenty-first century skills. *Virtual Reality*, 23(4):425–436.
- [Papert and Harel, 1991] Papert, S. and Harel, I. (1991). Situating constructionism. *Constructionism*, 36(2):1–11.
- [Recabarren et al., 2008] Recabarren, M., Nussbaum, M., and Leiva, C. (2008). Cultural divide and the internet. *Computers in Human Behavior*, 24(6):2917–2926.
- [Scarry, 2013] Scarry, R. (2013). *Richard Scarry’s best word book ever*. HarperCollins Childrens Books.
- [Schmidt et al., 2019] Schmidt, M., Benzing, V., Wallman-Jones, A., Mavilidi, M.-F., Lubans, D. R., and Paas, F. (2019). Embodied learning in the classroom: Effects on primary school children’s attention and foreign language vocabulary learning. *Psychology of Sport and Exercise*, 43:45–54.
- [Setting up your development environment, 2020] Setting up your development environment (2020). <https://leapmotion.github.io/UnityModules/core.html>.
- [Simor et al., 2016] Simor, F. W., Brum, M. R., Schmidt, J. D. E., Rieder, R., and Marchi, A. C. B. D. (2016). Usability evaluation methods for gesture-based games: A systematic review. *JMIR Serious Games*, 4(2).

- [Trinus Virtual Reality, 2020] Trinus Virtual Reality (2020). <https://www.trinusvirtualreality.com/>.
- [Vazquez et al., 2018] Vazquez, C., Xia, L., Aikawa, T., and Maes, P. (2018). Words in motion: Kinesthetic language learning in virtual reality. *2018 IEEE 18th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*.
- [Weichert et al., 2013] Weichert, F., Bachmann, D., Rudak, B., and Fisseler, D. (2013). Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. *Sensors*, 13(5):6380–6393.
- [Wu et al., 2019] Wu, H., Luo, W., Pan, N., Nan, S., Deng, Y., Fu, S., and Yang, L. (2019). Understanding freehand gestures: a study of freehand gestural interaction for immersive vr shopping applications. *Human-centric Computing and Information Sciences*, 9(1).
- [Zhang et al., 2019] Zhang, Q., Zhu, W., and Zhu, Q. (2019). Real world hand gesture interaction in virtual reality. *Journal of Physics: Conference Series*, 1229:012027.