

Métricas de colaboración en las tareas de selección y manipulación en un entorno virtual 3D.



UNIVERSIDAD DEL CAUCA

**Luis Alberto Ordoñez Zúñiga
Yhon Alexander Romero Narváez**

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Línea de Investigación en Ingeniería de la Colaboración
Departamento de Sistemas
Grupo IDIS – Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Software
Popayán, 2014**

Métricas de colaboración en las tareas de selección y manipulación en un entorno virtual 3D.



UNIVERSIDAD DEL CAUCA

**Luis Alberto Ordoñez Zúñiga
Yhon Alexander Romero Narváez**

Trabajo de grado para optar al título de Ingenieros de Sistemas

Director: PhD(c). Wilson Javier Sarmiento,
Co-Director: PhD. César Alberto Collazos

**Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Línea de Investigación en Ingeniería de la Colaboración
Departamento de Sistemas
Grupo IDIS – Investigación y Desarrollo en Ingeniería de Software
Popayán, 2014**

AGRADECIMIENTOS

Este logro tan importante en mi vida, es el fruto de muchos sacrificios hechos a lo largo de todo mi carrera por esta razón me siento feliz por haber cumplido con esta meta y lleno de expectativas al saber que se abren nuevas puertas con la posibilidad de seguir creciendo como persona y profesionalmente.

Quiero hoy agradecer a mi familia por su incondicional ayuda y confianza que me brindaron desde el momento en que emprendí este sueño hasta día de hoy, el día en que finaliza, el día en que se materializa todo lo aprendido.

A mi madre Diomira Zuñiga le agradezco por ser fuente de inspiración al demostrarme y enseñarme toda la vida valores como el respeto, humildad, responsabilidad y por fomentar en mí el deseo de ser un profesional.

A mi padre Alberto Ordoñez agradecerle por su apoyo incondicional, por comportarse y apoyarme como un verdadero padre y amigo.

A mi hermana Juliana Ordoñez agradezco por creer en mí y siempre tener una voz de aliento por difícil que fuera la situación.

A mi hermana Laura Fernanda Ordoñez agradezco porque a pesar de su corta edad pudo entender mi ausencia en muchos momentos y mantener su interés, respeto y apoyo en este largo camino, es por ello que quiero dedicarte este triunfo como prueba de mi afecto e interés por apoyarte incondicionalmente a que muy pronto hagas parte de la comunidad universitaria y logres todo lo que propongamos.

A mi hija Amy Sophia Ordoñez por ser el motor que me impulsa a triunfar día a día

A Yojana Dorado mi novia, compañera en las buenas y en las malas

A todos mis compañeros de estudio, de lucha, quiero agradecerles por tener siempre ese sentimiento de compañerismo y apoyo, son una parte fundamental de este triunfo.

A todos los ingenieros que semestre a semestre fueron depositando en mí sus conocimientos de la mejor manera posible gracias por todos esos buenos aportes.

A mi compañero de tesis Alexander Romero, gracias por su entrega y dedicación en este largo trabajo.

A mi Director: PhD(c). Wilson Javier Sarmiento, gracias por su inigualable dedicación e interés mostrado en este trabajo, en gran medida este triunfo es cosechado gracias a ese trabajo dedicado de su parte.

A todos ustedes nuevamente gracias porque de una u otra manera son partícipes de este triunfo, y por ultimo pero no menos importante a Dios por darme la suficiente sabiduría, fortaleza y paciencia para afrontar todos los retos que se me presentaron.

Luis Ordoñez

A toda mi familia, especialmente a mi madre Ana Mireya y mi padre Mauro de Jesús, quienes fueron mi sustento y mi motivante para obtener este logro, a mi hermana Luz Elena por esa fuerza que me brinda cada día, a mi sobrina Jhoanna por la constante motivación y mi tía Lucy por brindarme ese apoyo incondicional. A todos ellos solo tengo mis más sinceros agradecimientos, mil y mil gracias por confiar y creer en mí.

A mis amigos por brindarme todos esos momentos inolvidables, que se recordaran toda esta vida, por todos esos momentos llenos de alegrías, tristezas, experiencias y apoyo, que serán llevados en el corazón y en la mente. A ellos, muchas gracias porque han sido también partícipes de este logro.

Es sin duda que esta meta no se hubiese podido lograr, si no se hubiese recibido el mejor de los asesoramientos, a nuestro director Wilson Javier Sarmiento le extendiendo los más sinceros agradecimientos, gracias por tu forma de ser, por escucharnos, por tu constante motivación y paciencia para lograr el mejor de los trabajos.

A mi compañero de tesis Luis Ordoñez, por la comprensión brindada y perseverancia durante este trabajo. Sin él, esto no hubiera sido esto posible. Gracias "Lucho".

Al codirector Cesar Collazos por el asesoramiento y por permitirme ser partícipe de este proyecto.

A mí Universidad del Cauca y todos los docentes que fomentaron esta formación, gracias por exigirnos y ayudarnos a ser unas personas más integra.

A cada uno de mis compañeros que de una forma u otra fueron partícipes de este proyecto.

Y a la vida por darme salud y fortaleza para haber afrontado este reto

Alexander Romero Narváez

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. Introducción	8
1.1 Motivación	9
1.2 Planteamiento del problema	10
1.3 Objetivos	12
1.3.1 Objetivo general.	12
1.3.2 Objetivos específicos	12
1.4 Estructura y descripción del documento	12
CAPÍTULO 2. Estado del arte y fundamentos teóricos.	15
2.1 Fundamentos teóricos	15
2.1.1 Actividad colaborativa	15
2.1.2 Diseño de procesos colaborativos	15
2.1.3 CVE (Collaborative Virtual Enviroment)	15
2.1.4 Interacción en VE (Virtual Environment)	17
2.1.5 Técnicas de Interacción	17
2.1.6 Técnicas de selección y manipulación	17
2.2 Trabajos relacionados	22
2.2.1 Métricas	22
2.2.2 Métricas y Evaluación de Sistemas Colaborativos	22
2.2.3 Evaluación de Entornos Virtuales Colaborativos (CVE)	23
2.2.4 Evaluación de la Selección y Manipulación de objetos en un CVE	25
2.2.5 Trabajos relacionados con las Métricas de Colaboración	26
CAPÍTULO 3. Marco metodológico del proceso de caracterización de la selección y manipulación de objetos y definición de métricas de colaboración.	28
3.1 Caracterización de la selección y manipulación de objetos 3D	29
3.1.1 Búsqueda de estudios para el proceso de caracterización	30
3.1.2 Selección de estudios del proceso de caracterización	31
3.1.3 Caracterización de la Selección y Manipulación	32
3.1.4 Conclusiones preliminares del proceso de caracterización	39
3.2 Definición y refinamiento de las métricas de colaboración	40
3.2.1 Búsqueda de estudios para el proceso de definición de métricas	40

3.2.2	Selección de estudios del proceso de definición de métricas.....	41
3.2.3	Métricas de colaboración en las tareas de selección y manipulación.....	47
3.2.4	Fundamento teórico de la propuesta.	48
3.2.5	Propuesta de las métricas de colaboración en la selección y manipulación 3D.	49
3.2.6	Propiedades de las Métricas de Colaboración	53
3.2.7	Métricas Generalizadas	53
CAPÍTULO 4. Diseño y validación experimental de una tarea de selección y manipulación.		69
4.1	Diseño de la tarea de Selección y Manipulación Colaborativa	70
4.1.1	Planeación de la tarea colaborativa	70
4.1.2	Diseño de la colaboración en la actividad	72
4.1.3	Desarrollo: Entorno Virtual.....	77
4.1.4	Pruebas: Diseño de pruebas	77
4.2	Validación experimental de las Métricas de Colaboración.	80
4.2.1	Herramientas hardware para la validación experimental.....	80
4.2.2	Secuencia de la validación experimentación	83
4.2.3	Recolección de datos mediante archivos de registro log, encuesta y captura de audios.....	86
4.2.4	Población para la validación experimental.	87
4.3	Resultados del proceso de validación experimental en la Selección	88
4.3.1	Rendimiento	90
4.3.2	Inmersión.....	91
4.3.3	Usabilidad.....	92
4.3.4	Cooperación	93
4.4	Resultados del proceso de validación experimental Manipulación.....	94
4.4.1	Rendimiento	94
4.4.2	Inmersión.....	95
4.4.3	Usabilidad.....	96
4.4.4	Cooperación	97
CAPÍTULO 5. Conclusiones y recomendaciones.		99
REFERENCIAS		102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes genéricos que forman una arquitectura de un CVE básico. Fuente [3].	16
Figura 2. Taxonomía de las técnicas de interacción 3D – Selección y Manipulación según Bowman y col. Fuente [13].....	18
Figura 3. Técnica de interacción Ray-Casting. Fuente [13].....	19
Figura 4. Técnica de interacción Go-Go. Fuente [9].....	20
Figura 5. Técnica de interacción Imagen-Plane. Fuente [31]	21
Figura 6. Técnica de interacción Híbrida HOMER (Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-casting). Fuente [13].....	22
Figura 7. Algunas imágenes de las herramientas de selección.....	33
Figura 8. Algunas técnicas de apuntamiento (a) Ray-Casting, (b) Selección por Oclusión y (c) Ray-Casting desde los ojos.	34
Figura 9. Representación de los grados de libertad (DoF)	34
Figura 10. Representación de la relación entre Espacio Motor y Espacio Visual para las técnicas Virtual Hand y Go-Go (a) Solo los objetos dentro del espacio de trabajo son seleccionables (b) Algunas técnicas como Go-Go, puede alterar el espacio motor y espacio control, lo que permite seleccionar objetos fuera del espacio motor.	36
Figura 11. Representación gráfica de un manipulador táctil.....	37
Figura 12. Representación gráfica de motores de física	38
Figura 13. Categorías de métricas para evaluar la colaboración en una tarea de selección y manipulación de objetos 3D.	50
Figura 14. Proceso general de elaboración de la tarea de selección y manipulación.....	69
Figura 15. Figuras de Tetris para la tarea de Selección y Manipulación Colaborativa.....	72
Figura 16. Prototipo general de la actividad colaborativa	73
Figura 17. Representación gráfica de la conciencia de rol.	76
Figura 18. Representación gráfica del progreso de la tarea.....	76
Figura 19. Gráfica del Entorno Virtual Colaborativo. (a) Selección, (b) Manipulación.....	77

Figura 20. Dispositivos Hardware para el desarrollo de la actividad.....	81
Figura 21. Arquitecturas de red más comunes. (a) Híbrida, (b) Peer-to-peer y (c) Cliente/Servidor.	82
Figura 22. Ilustraciones del desarrollo de la actividad por parte de los participantes.....	84
Figura 23. UDKLauncher utilizado para el lanzamiento de la actividad colaborativa (Microsoft C#)	85
Figura 24. Ilustración de los participantes realizando la encuesta post-tarea.....	85
Figura 25. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre del rendimiento en la Selección	91
Figura 26. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Inmersión en la Selección	92
Figura 27. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Usabilidad en la Selección	93
Figura 28. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Cooperación en la Selección	94
Figura 29. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre del rendimiento en la Manipulación	95
Figura 30. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Inmersión en la Selección	96
Figura 31. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Usabilidad en la Selección	97
Figura 32. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Cooperación en la Selección	98

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Criterios cumplidos por los estudios en el proceso de caracterización.	31
Tabla 2. Resumen de las métricas de la literatura	42
Tabla 3. Resumen de métodos de evaluación de la literatura	43
Tabla 4. Filtrado de métricas de colaboración de la selección y manipulación	45
Tabla 5. Métricas de Rendimiento de la selección – Precisión de la Selección (PS).....	54
Tabla 6. Métricas de Rendimiento de la selección – Seleccionados (Se).....	55
Tabla 7. Métricas de Rendimiento de la selección – Error de Selección(ES)	56
Tabla 8. Métricas de Rendimiento de la selección – Tiempo de Selección (TS).....	57
Tabla 9. Métricas de Rendimiento de la selección – Tiempo de Interacción Real en la Selección (TIRS).....	58
Tabla 10. Métricas de Inmersión de la selección y manipulación	59
Tabla 11. Métricas de Usabilidad de la selección y manipulación	60
Tabla 12. Métricas de Cooperación de la selección – Esfuerzo de Colaboración (Ec)	61
Tabla 13. Métricas de Rendimiento de la manipulación – Precisión de Posición (PP).....	62
Tabla 14. Métricas de Rendimiento de la manipulación – Precisión de Rotación (PR).....	63
Tabla 15. Métricas de Rendimiento de la manipulación – Tiempo de Manipulación (TM)	64
Tabla 16. Métricas de Rendimiento de la manipulación – Tiempo de Interacción Real en la Manipulación (TIRM).....	65
Tabla 17. Métricas de Cooperación de la manipulación – Esfuerzo de Colaboración (Ec).....	66
Tabla 18. Métricas de Cooperación de la manipulación – Coordinación en la Manipulación (CooM)	67
Tabla 19. Métricas de Cooperación de la manipulación – Comunicación de la Manipulación (CM)	68
Tabla 20. Análisis estadístico para las métricas de Selección.....	89
Tabla 21. Análisis estadístico para las métricas de Manipulación	90

CAPÍTULO 1. Introducción

Hoy en día la investigación de interfaz de usuario 3D es más relevante que nunca, cada día están apareciendo nuevas tendencias tecnológicas que buscan hacernos vivir la mejor de las experiencias, lo más inmerso posible.

Las interfaces de usuario, bien sean en tres dimensiones o no, seguirán teniendo un papel protagonista en lo que refiere a materia de interacción entre el humano y los dispositivos que lo rodean [1]. Es por esta razón que la forma en que los usuarios interactúan con los contenidos 3D, es un factor relevante y que requiere mucho estudio [2]. Paralelo a esto, investigadores en el área de sistemas colaborativos han estado investigando durante los últimos 16 años, la forma en que las personas trabajan colaborativamente, y conjugado con los entornos virtuales, se evidencia la necesidad de herramientas correctamente diseñadas para ambientes virtuales colaborativos, que brinde a los usuarios diversas alternativas de interacción, inmersión y colaboración, tanto para las actuales como para las futuras [3].

El desarrollo de dichas aplicaciones colaborativas requiere de procesos evaluables y medibles ya que cada vez se evidencia la necesidad de herramientas correctamente diseñadas para ambientes virtuales colaborativos, que brinde diversas alternativas de evaluación de la colaboración como elemento particular, y es por ello que éste proyecto propone un conjunto de métricas que permiten determinar el grado de colaboración cuando se realiza una actividad de Selección y Manipulación de Objetos conjuntamente entre usuarios. Para lograr este objetivo, se siguió un lineamiento metodológico que permitió el desarrollo satisfactorio de las metas definidas en la propuesta. Primeramente, se evidenció la problemática existente tanto en los entornos colaborativos como en la interacción 3D, y como estos términos se relacionan entre sí.

La interacción en un entorno 3D, es una parte fundamental de estos sistemas virtuales. Como tal la interacción está categorizado en cuatro tareas fundamentales: como es Navegación, Sistema de Control, Selección y Manipulación. Este proyecto se centrará en las dos últimas, ya que en los Sistemas de control, no se puede determinar una forma de medir la colaboración, y la Navegación hace parte de otra investigación similar.

Conjuntamente, se ejecutó un proceso de caracterización de las técnicas más relevantes de la Selección y Manipulación con el fin de otorgar un mejor entendimiento de las mismas y proporcionar un insumo a tener en cuenta para en el diseño de entornos virtuales colaborativos. Seguidamente, se llevó a cabo el procedimiento para identificar, analizar y proponer las métricas particulares de la propuesta, que permitan medir el grado de colaboración en la tarea de Selección y Manipulación. Posteriormente, se diseñó una actividad de selección y manipulación colaborativa, y se realizó el desarrollo de un entorno virtual colaborativo en el cual dos usuarios pueden realizar dicha actividad. Por último, se realizó un proceso de evaluación con 30 usuarios que muestra cómo aplicar el conjunto de métricas propuesto y que proporciona una validación experimental de las métricas propuestas, para poder determinar las conclusiones finales de este estudio.

En la siguiente la siguiente sección de éste capítulo se muestra la motivación que justifica este trabajo, posteriormente se presenta el planteamiento del problema, donde se expone

el vacío que hay en el trabajo colaborativo en estos ambientes, y en la evaluación tanto en entornos colaborativos como en la interacción 3D, teniendo en cuenta en como los aspecto de la interacción, puntualmente la selección y manipulación.

1.1 Motivación

Los sistemas de información e interacción 3D ofrecen oportunidades significativas para trabajar en muchas áreas de la actividad humana como: desarrollos arquitectónicos, el arte y la medicina, además, en ciencias de la computación como Interacción Humano Computador (HCI), videojuegos, visualización de información, diseño asistido por computadora, entre otros. Estos sistemas han otorgado desde hace muchos años beneficios a los usuarios, al proporcionar y producir adecuadamente una realidad de acciones sin precedentes como por ejemplo: deshacer, repetir la acción, o agrupar objetos, visualizar, indicar, maniobrar, entre muchas más ventajas [4]. En pro de enriquecer estos sistemas, es necesario que estos otorguen todos beneficios de la mejor manera, es por ello, que se ve la necesidad de realizar investigaciones referentes a estos sistemas de interacción 3D que ayuden al mejoramiento continuo de todas sus ventajas [3].

Recientemente la investigación en interfaces 3D tiene gran relevancia, dado que cada vez hay más auge de aplicaciones con contenidos digitales 3D, y por ende se ha generado grandes avances en dispositivos de interacción [5], [6]. Por ejemplo la industria de videojuegos ha creado nuevos dispositivos para mejorar la interacción e inmersión a los usuarios, como son el Nintendo Wii con su Wiimote, Microsoft X-Box con su dispositivo Kinect y el Sony Play Station con PSMove.

Colombia no ha sido ajena a dicha realidad, el desarrollo de la industria de videojuegos nacional es una muestra de ello. Por ejemplo la Asociación de Desarrolladores de Videojuegos de Colombia (IGDA)¹ agremia 47 empresas de esta industria, algunas de ellas dedicadas al desarrollo de mundos digitales 3D. Esto es solo una evidencia que se requiere investigación en nuestro país dirigida a la creación e interacción con estos contenidos, que contribuyan a la creación de nuevos y mejores productos.

También se necesita estudios referentes para los diseñadores, investigadores y desarrolladores de diversas comunidades, como la investigación en ciencias, industria, educación y entretenimiento, que fundamenten la base teórica de la interacción 3D y la colaboración.

Es por esta razón que la colaboración y la interacción en 3D son temas de interés creciente en nuestro país. Por ejemplo, el grupo de investigación SINFOCI², de la Universidad del Quindío enfoca algunos de sus trabajos en realizar investigación en CSCW (Computer Supported Cooperative Work). También se pueden nombrar el grupo de investigación

¹ IGDA Asociación de Desarrolladores de Videojuegos de Colombia <http://igdacolombia.co/desarrolladores/>

²SINFOCI http://ingenieriauq.edu.co/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=149&Itemid=201

IMAGINE³, de la Universidad de los Andes, y el laboratorio de realidad virtual de la Universidad de EAFIT⁴ dirigidos a la investigación en interacción en 3D. En la Universidad del Cauca, el grupo IDIS con la Línea de Investigación en ingeniería de la Colaboración, ha abordado el problema de la evaluación de la colaboración, y con este trabajo y otros ya propuestos, está incursionando en la interacción en 3D colaborativa.

En resumen, en la actualidad hay un sin número de aplicaciones y dispositivos que permiten el desarrollo de nuevas formas de interacción, entre ellas, la manipulación y producción de contenidos digitales 3D, que ha aumentado significativamente, dado que los costos para la construcción de estos ha disminuido, además de que se cuenta con gran variedad de alternativas libres y de código abierto. Así mismo, se ha generado una demanda en herramientas y sistemas que permitan a varios usuarios trabajar de forma colaborativa. Por lo tanto, se evidencia la necesidad de diagnosticar sistemas que tenga esquemas con interacción 3D y ambientes de colaboración

1.2 Planteamiento del problema.

Los Entornos Virtuales Colaborativos, (CVE del inglés, Collaborative Virtual Environment), son espacios virtuales 3D, atractivos y estéticos, diseñados para apoyar actividades que involucren el trabajo colaborativo y cooperativo. En estos entornos es esencial una buena comunicación entre los usuarios, dado que este factor es muy influyente y determina el éxito de una tarea o actividad que se realice de forma colaborativa [7].

Churchil plantea que el intercambio de información es esencial para el trabajo colaborativo, y los CVE ofrecen espacios 3D diseñados para soportar varias actividades, donde las personas pueden compartir información a través de la interacción con los demás y así realizar de forma colaborativa una actividad [8], [9].

Actualmente los CVE tienen aplicación en la industria de los videojuegos, en sectores militares, entrenamiento de personal, entre otros, quienes han acogido estas tecnologías con el fin de ser competitivos y estar a la vanguardia en simulaciones en entornos virtuales [3]. Generalmente la interacción en un CVE se realiza por medio de avatar, el cual es una representación gráfica de una persona dentro del entorno virtual. Dichas representaciones requieren que se definan distintas formas o técnicas para que se realice una verdadera interacción virtual con los elementos 3D en el sistema, lo que incluye a los demás avatares [8].

La interacción en un entorno 3D puede ser categorizado en cuatro tareas: navegación, control del sistema, selección y manipulación [10], puntualmente este trabajo se centrará

³ IMAGINE <http://imagine.uniandes.edu.co/>

⁴ EAFIT <http://arcadia.eafit.edu.co/>

en el estudio de la **Selección y la Manipulación**, las cuales permiten una interacción directa con los objetos que forman el mundo virtual.

Mine define la selección como la acción de señalar un objeto, es decir, indicar el destino de la interacción deseada [11]. Para tal fin se han propuesto diferentes técnicas donde las más conocidas son Arm-Extension que utiliza la metáfora de brazo virtual para la selección expandiendo o contrayendo dicho brazo, esta técnica tiene varias sub-técnicas bajo la misma lógica entre ellas tenemos Go-Go, Fast Go-Go, Stretch Go-Go e Indirect Stretching Technique. Otra técnica es la Ray-casting que básicamente es apuntar al objetivo que deseamos manipular por medio de un rayo [12], [2]. La manipulación se define como todo cambio de estado que sufre un objeto (posición, escala y rotación) [6]. Algunas de las técnicas que han sido usadas en CVE para manipulación de objetos son Virtual Hand, y Homer [13]. Por otro lado es muy importante el concepto de la manipulación cooperativa, que se refiere a la manipulación simultánea de un objeto virtual por múltiples usuarios en un CVE [14], este tipo de manipulación se considera porque en algunos contextos las tareas de manipulación resultan ser muy difíciles para un solo usuario [15], [16].

Como se mencionaba anteriormente la colaboración es el objetivo principal de todo CVE, por lo que todo aquello que pase dentro de él debe apoyar dicha colaboración. Puntualmente se espera que la selección y manipulación no sea la excepción. Sin embargo, surge una duda, ¿puede la interacción en 3D perjudicar la colaboración? Este interrogante ha sido una constante preocupación en el desarrollo de los CVE [5], [17], [18], y se han propuesto algunos procesos de evaluación en CVE, pero estos se han enfocado en una evaluación global, donde la colaboración es solo un elemento más en la evaluación [19]. Por lo que se evidencia un vacío en cómo evaluar la colaboración en un CVE y como los aspectos de la interacción, puntualmente la selección y la manipulación, la afectan.

La evaluación de sistemas colaborativos (groupware⁵) es una importante temática de estudio dentro del CSCW (Computer Supported Cooperative Work). Es así como ciertas investigaciones se enmarcan en definir las características, indicadores y técnicas de evaluación en procesos de colaboración [20], [21], [22]. De allí se han derivado trabajos puntuales en métricas, que se han planteado como medir algunos factores de la colaboración, como lo realiza Collazos en sus trabajos de investigación. [20], [23], [24], [25], y que serán un elemento referente y determinante en esta investigación. Es importante definir métrica como una medida cuantitativa sobre los atributos o características que posee un objeto tangible o intangible a partir de observaciones consistentes [24], cabe aclarar que las métricas son el principal determinante del desempeño de un sistema en el que interactúan una o múltiples personas. En el caso de este proyecto los atributos a medir son los relevantes a la colaboración en una actividad de selección y manipulación en un ambiente virtual 3D, tales como el tiempo de ejecución de una actividad entre otras, las cuales serán mencionadas y trabajadas en desarrollo del proyecto.

⁵ Entiéndase groupware (workgroup productivity software, software colaborativo) como conjunto de programas que integran usuarios para trabajar de forma remota y colaborativa.

De acuerdo con todo lo anteriormente planteado, surgen las siguientes preguntas: ¿Qué características son fundamentales en el buen desempeño de determinada técnica de selección o manipulación?, ¿Cómo medir el buen desempeño de alguna técnica? ¿Este desempeño afecta la colaboración? ¿Qué otros factores cualitativos están involucrados o afectan la colaboración? Bajo el estudio y análisis de los anteriores interrogantes se busca proponer un conjunto de métricas que permitan medir el grado de colaboración en cualquier actividad de selección y manipulación de un entorno virtual 3D, y será validada mediante experimentación con usuarios.

Para tal caso en la evaluación es importante resaltar que hay que intervenir un prototipo a diseñar e implementar, ya que resulta imposible intervenir sistemas ya existentes, esto porque los ambientes existentes no están orientados a la colaboración. Conjuntamente se pretende identificar las métricas ya utilizadas en otros procesos colaborativos mediante un protocolo y así poder adaptarlas al caso particular.

En esa misma línea, la validación de las métricas se hará de forma experimental, ya que por medio de estas se pretende mostrar cómo se implementarán las métricas propuestas en procesos de selección y manipulación colaborativa con usuarios, y cómo éstas permiten medir y evaluar la colaboración.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Proponer un conjunto de métricas que permitan determinar el grado de colaboración existente en una tarea de selección y manipulación en un entorno 3D.

1.3.2 Objetivos específicos.

- Caracterizar⁶ las técnicas más referenciadas de selección y manipulación de objetos en entornos 3D, que puedan ser usadas en una tarea colaborativa.
- Identificar y refinar⁷ un conjunto de métricas a una tarea de selección y manipulación en un entorno virtual 3D.
- Validar de forma experimental las métricas propuestas a través de tareas realizadas por usuarios en un prototipo funcional en un entorno virtual 3D.

1.4 Estructura y descripción del documento.

Este documento está organizado en 5 capítulos descritos a continuación. En el capítulo 2 que hace referencia al estado del arte actual, donde se exponen trabajos relacionados

⁶ Entiéndase caracterizar como el proceso de determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás.

⁷ Entiéndase refinar como el proceso de mejorar algo, adecuándolo a un fin determinado.

principalmente en evolución y definición de métricas, donde se destaca cómo se ha venido realizando diagnósticos de sistemas colaborativos, como también, se evidencian trabajos relacionados con evaluaciones de sistemas colaborativos virtuales y de técnicas de selección y manipulación de objetos. Se resalta la importancia de los sistemas colaborativos y se definen los conceptos involucrados en este proyecto. Este capítulo también presenta la base conceptual de la investigación, contiene algunos referentes que necesarios en el desarrollo de este proyecto.

El capítulo 3 presenta la forma general propuesta y los fundamentos teóricos que apoyan a las métricas de colaboración en la tarea de selección y manipulación de objetos en un entorno 3D ad. En esta parte se pretende establecer y describir todas las métricas posibles que abarca está investigación a nivel conceptual.

Para el capítulo 3 se describe todo el marco metodológico del proyecto. Comenzando desde la descripción y ejecución del protocolo de caracterización de las técnicas de selección y manipulación de objetos. También se describe el proceso que se llevó a cabo para identificar, analizar y refinar las métricas referentes a las técnicas de interacción, sistemas colaborativos e interacción (selección y manipulación) colaborativa, además, se muestra las métricas generalizadas.

En el capítulo 4, se presenta el diseño y la validación experimental de la propuesta, lo que incluye la construcción de la tarea que soportó la validación experimental de las métricas obtenidas, la metodología utilizada para el diseño y desarrollo del prototipo y describe el proceso y los pasos de la experimentación, como también, los resultados de la validación experimental.

Por último, en el capítulo 5 se presentan las conclusiones y algunos tópicos de trabajo futuro derivados del proyecto de investigación.

Además este documento presenta los siguientes anexos.

Adjunto a este documento se entrega un DVD el cual tiene la siguiente información:

Raíz del CD: Se adjunta el Documento de Anexos donde incluye información en detalle de algunos apartados de este documento.

Carpeta 1: Todo lo referente al Entorno Virtual Colaborativo en el cual se realizó la validación experimental de la propuesta.

Carpeta 2: Contiene los registros del sistema logs⁸ (originales y procesados) que se obtuvieron de la validación experimental.

⁸ El término **log** se refiere a archivos en los cuales se registran las actividades de un sistema.

Carpeta 3: Contiene los audios originales de la comunicación que realizaban los participantes en la validación experimental.

Carpeta 4: Incluye todo el análisis estadístico de los datos obtenidos de la experimentación.

Carpeta 5: Contiene los programas auxiliares que se utilizaron para el procesamiento de algunos datos.

Carpeta 6: Contiene los vídeos de presentación que se emplearon para la propuesta.

CAPÍTULO 2. Estado del arte y fundamentos teóricos.

En esta sección se presenta el marco teórico de la propuesta seguidamente de los trabajos recopilados en evaluación de sistemas colaborativos, así como también literatura relacionada con la evaluación de CVE, algunos orientados puntualmente a la evaluación de selección y manipulación, con lo que se pretende introducir los principales temas que se van a tratar en el desarrollo de este trabajo de grado.

2.1 Fundamentos teóricos.

Con el fin de contextualizar a los lectores de esta investigación, a continuación se describirán algunos conceptos generales más relevantes que forman parte de las directrices aplicadas en este estudio.

2.1.1 Actividad colaborativa

Para Johnson y Onwuegbuzie una actividad colaborativa consiste en el desarrollo de una tarea en grupo con un único objetivo final, intercambiando ideas y materiales, una subdivisión de tareas y recompensas grupales [26]. En definitiva es un grupo de personas que intercambian ideas, se hacen preguntas, todos escuchan y comprenden las respuestas, se ayudan entre ellas.

2.1.2 Diseño de procesos colaborativos.

Para el diseño de procesos colaborativos se deben tener en cuenta varios ítems, como se plantea en los estudios por Collazos y col. [27], [28] entre los cuales tenemos: actividad, roles, recursos, grupos, objetivos, criterios de éxito y mecanismos para fomentar el aprendizaje. La actividad se define como el conjunto de tareas en las cuales se puede combinar el trabajo individual como el como el de grupo. El concepto de roles hace referencia a la función o papel que cumple cada uno de los integrantes del grupo. Los recursos se refieren a los materiales que serán necesarios para la actividad colaborativa. Los grupos se plantean como el tamaño o dimensión de las personas a participar en una actividad específica. Los criterios de éxito consisten en una breve descripción de los comportamientos esperados, la lista de productos deseados y las metas deseadas. Los mecanismos para fomentar el aprendizaje se refiere a algunos aspectos claves que fomenten la colaboración en el aprendizaje colaborativo [27], [28].

2.1.3 CVE (Collaborative Virtual Environment)

El término CVE (en inglés, Collaborative Virtual Environment) Entorno Virtual Colaborativo, consiste en entornos virtuales que apoyan el trabajo colaborativo en tiempo real. Hriemch y Merienne definen un CVE como espacios virtuales atractivos y estéticos, diseñados para apoyar actividades que involucren el trabajo colaborativo y cooperativo [7]. Así mismo, Churchill y Snowdon plantea que CVE son espacios

virtuales diseñados para soportar actividades en conjunto o de manera cooperativa [8]. Estos entornos ofrecen una realidad virtual gráfica como paisajes digitales en donde se puede compartir información a través de la interacción de uno o más usuarios, para llegar al éxito de la tarea o actividad se ve la necesidad de tener una excelente comunicación, objetivos claros, que se ha hecho y que falta “ubicación”, así como también tener un punto de vista correcto y pertinente para los usuarios [8].

Bowman, uno de los autores más representativos en el área de Entornos virtuales, plantea que el diseño y elaboración de estos entornos no es tarea sencilla [17], siendo uno de los puntos más problemáticos la usabilidad de los dispositivos de interacción. Sin embargo, como no es una fácil desarrollar aplicaciones de VR, un CVE resulta ser un software bastante complejo, ya que debe presentar a los usuarios un mundo virtual capaz de generar inmersión, que pueda ser percibido de forma multi-sensorial, debe permitir interactuar con los objetos, con el entorno y otros usuarios, siempre arraigado a la idea que sea lo más natural posible, y haciendo uso de los de dispositivos específicos [12]. Paralelo a esto se debe considerar que estos entornos deben funcionar sobre una re de comunicación para poder abarcar los inconvenientes generados por las distancias geográficas [14].

Todo lo anterior, muestra que desarrollar un CVE es una tarea altamente complicada, lo que obliga a que se recurra a librerías desarrolladas para cubrir las características de la aplicación. Es por ello que todo esto debe ir soportado por una arquitectura, la cual contiene componentes como se pueden observar en la siguiente en la Figura 1, que describe los elementos de un CVE según Simón en su investigación realizada [3] para el mejoramiento de Entornos Virtuales.

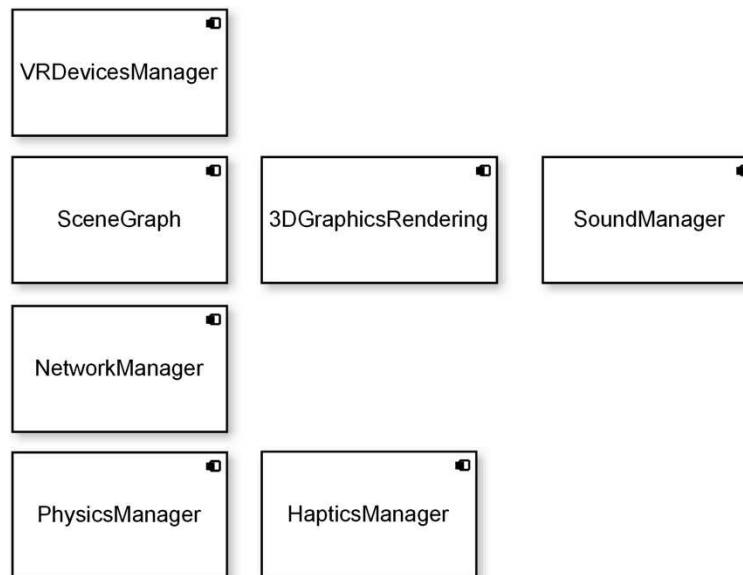


Figura 1. Componentes genéricos que forman una arquitectura de un CVE básico. Fuente [3].

2.1.4 Interacción en VE (Virtual Environment).

La interacción en CVE requiere de todos los elementos de interacción en ambiente virtual VE (Virtual Environment), y difiere de la interacción de sistemas WIMP tradicionales (siglas en inglés de Windows, Icons Menus and Pointers), de ahí la pertenecía a las interfaces que se denominan post-WIMP como lo plantea García [3]. Así mismo este mismo autor plantea que la VR (Virtual Reality) se derivada de estos sistemas tradicionales y la como las interfaces propias entre el hombre y la máquina, que tiene como objetivo de esta tecnología en reducir la interfaz a interacciones más propias de una persona [3]. De la misma manera Hand en su investigación categoriza la interacción 3D en términos de 4 tareas: navegación, control del sistema, selección y manipulación [10]. Parush y Berman señalan que la navegación es simplemente ir de un punto a otro dentro de un entorno determinado o área geográfica y que la orientación es básicamente la capacidad de conocer la propia ubicación en el entorno y la ubicación relativa de los otros elementos [29]. Así mismo, Mine define la selección como el acto o la acción de señalar un objeto, es decir, indicar el destino de la interacción deseada [11]. Por otro lado, Jankowski y Hachet definen la manipulación como todo cambio de estado que sufre un objeto (posición, escala y rotación) [6]. Por último los sistemas de control los define Hrimech y col. como una tarea primaria fundamental con cualquier aplicación que permite el diálogo entre el usuario y la aplicación [30]. En efecto, el objetivo del control del sistema es la liberación de las funciones y opciones de la aplicación [30].

2.1.5 Técnicas de Interacción

Para García las técnicas de interacción es uno de los componentes que describen como llevar a cabo ciertas acciones en un sistema de forma que el usuario obtenga el resultado esperado. Además plantea que un buen diseño de estas técnicas harán que los usuarios se desenvuelvan con facilidad en el entorno virtual, dado que dice: *“que si el usuario está conforme con la forma de interacción, seguramente lo esté con el sistema”* [3]. Dado que este trabajo está centrado en la selección y manipulación, a continuación se explican los elementos fundamentales de la selección y manipulación de objetos en 3D.

2.1.6 Técnicas de selección y manipulación.

Bowman y col. presentan una taxonomía de técnicas de interacción, particularmente de la selección y manipulación donde se realiza un análisis de las tareas utilizando una descomposición jerárquica, para dividir las tareas principales en sub tareas [13]. Esta descomposición muestra las primeras características que se deben tener en cuenta al momento del diseño de interfaces 3D.

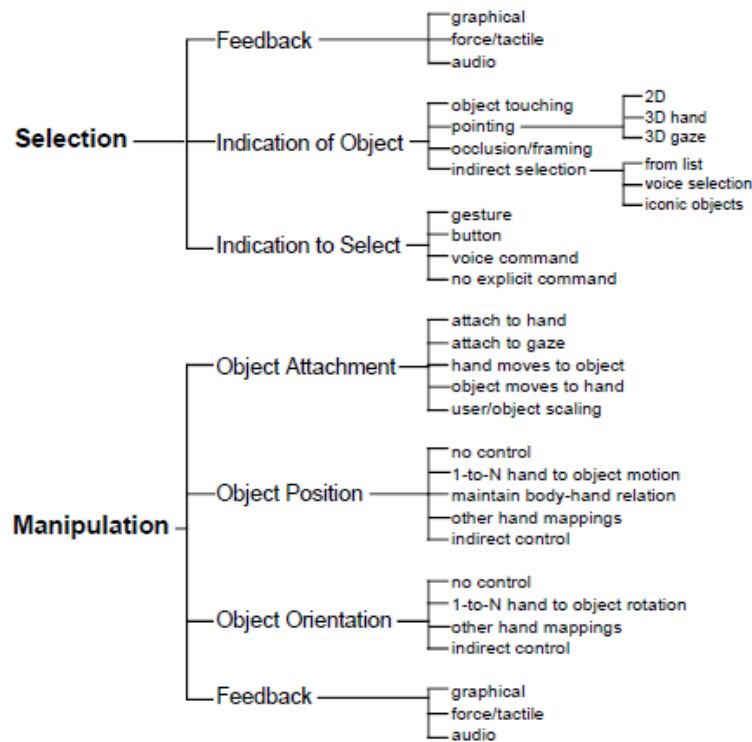


Figura 2. Taxonomía de las técnicas de interacción 3D – Selección y Manipulación según Bowman y col. Fuente [13].

Se han propuesto un gran número de técnicas interacción VE, las cuales han surgido según las necesidades de la particularidad de cada entorno, donde algunas presentan ventajas e inconvenientes, pero que pueden ser usadas en una gran variedad de aplicaciones virtuales. De ahí se han derivado trabajos puntuales tratando de clasificar las técnicas más representativas y que ha servido en trabajos posteriores. A continuación se expone una clasificación extraída del estudio realizado por Poupyrev y Ichikawa [31] y Bowman [32].

Principalmente las técnicas de selección y manipulación se dividen en dos grupos, las metáforas no centradas en el usuario y las que sí. En las metáforas no centradas en el usuario, el usuario tiene una vista descrita por muchos autores como de “Dios”, es decir que interactúa en el entorno virtual desde afuera [31]. La técnica del mundo en Miniatura permite manipular objetos interactuando con representaciones en miniatura que el usuario tiene en su mano.

Poupyrev denomina las metáforas centradas en el usuario, como egocéntricas, que se dividen en dos grupos: las que utilizan una metáfora de mano virtual y las que utilizan una metáfora de puntero virtual [31]. Mine en uno de sus estudios destaca que las técnicas se pueden categorizar en dos grupos, las locales y las de distancia [11]. Las locales se dan cuando los objetos que deseamos seleccionar están al

alcance de las posibilidades humanas, es decir podremos alcanzarlas con las manos a una distancia no mayor a la longitud de nuestros brazos, en cambio las remotas los objetos que deseamos seleccionar se encuentran a una distancia mayor de las posibilidades humanas, es decir, que no alcanzamos los objetos con nuestras manos [11].

Las metáforas de mano virtual se caracterizan porque el usuario puede tocar y a agarrar los objetos con la representación virtual de su mano real [12]. Como la clásica técnica “*Virtual Hand*” la cual mapea los movimientos de la mano del usuario que serán asociados a la mano virtual por un sistema de posicionamiento (“tracker”). De esta manera se simula la interacción en el mundo virtual, resultado muy intuitiva, pero introduciendo limitaciones, como son problemas a la hora de interactuar con objetos pequeños o muy grandes, y con los lejanos [12].

Por otro lado, en las técnicas basadas en la metáfora de puntero virtual, los usuarios podrán apuntar el objeto que desea seleccionar o manipular [13]. Estas acciones se pueden realizar cuando un rayo virtual que surge de la mano virtual intersecta con un objeto, donde el ejemplo más común es Ray-Casting, que utiliza rayo de luz virtual para seleccionar un objeto, con la dirección del rayo especificado por la mano/dispositivo del usuario apretando el botón de la herramienta. Es una técnica eficiente que por lo general el usuario varía dos grados de libertad (rotación vertical y horizontal), con un leve inconveniente, y es que el objeto queda en la punta del rayo, es decir a una gran distancia del usuario [13].

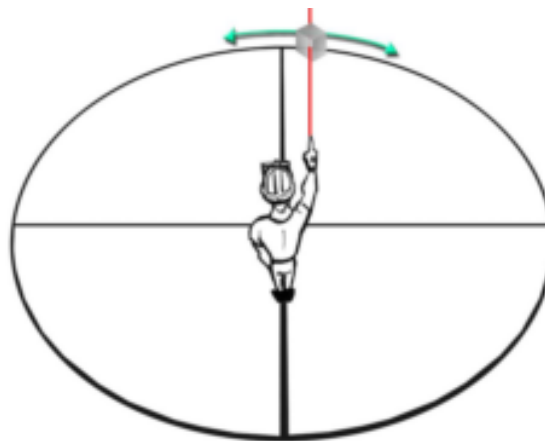


Figura 3. Técnica de interacción Ray-Casting. Fuente [13]

Dado que Ray-Casting tenía un problema, y era que el objeto se quedaba en la punta del rayo, se derivó Ray-Casting con Reeling, similar en todas sus características a la anteriormente, sólo que está soluciona el problema de la distancia del objeto con respecto al usuario. Usando la metáfora de una “caña de pescar” (“fishing reel”) selecciona el objeto y lo atrae hasta el usuario [12].

Otras técnicas que podemos mencionar es Spotlight, la cual se diferencia de las anteriores porque utiliza un volumen cónico con vértice en la mano virtual del usuario, en lugar de un rayo. Esta soluciona el problema de seleccionar objetos pequeños pero tiene como desventaja que al ser un cono, puede colisionar con otros objetos cercanos [17].

Por otra parte tenemos la técnica Arm-Extension basadas en la metáfora de brazo extendido, la cual utiliza un brazo virtual para la selección de un objeto expandiendo o contrayendo dicho brazo. Está técnica tiene varias sub-técnicas bajo la misma lógica, como es: Go-Go, Fast Go-Go, Stretch Go-Go e Indirect Stretching Technique [12].

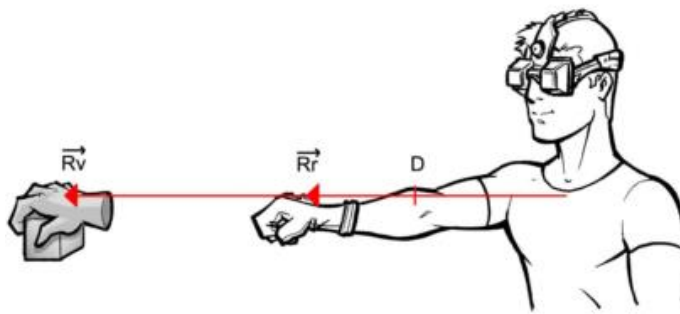


Figura 4. Técnica de interacción Go-Go. Fuente [9].

La técnica Go-Go contiene una zona local la cual se define alrededor del usuario a cierta distancia [12]. Mientras que la mano del usuario se mantiene dentro de esa distancia física, la mano virtual se mueve en un uno-a-uno con la mano física. Cuando la mano física va más allá del umbral, la mano virtual comienza a moverse hacia afuera más rápido que la mano física, seguimiento no lineal, aumento de la función. Esta técnica permite al usuario alcanzar objetos a una distancia mayor, mientras que preserva la metáfora manipulación natural [12]. La zona alrededor del cuerpo permite manipulaciones finas a hacerse de la manera normal. La interacción es completamente transparente para el usuario, ya que las únicas acciones que se requieren son el movimiento del brazo y el acaparamiento, como en la metáfora del mundo real [12].

En la Técnica de Fast Go-Go no tiene área local y una función rapidez . La técnica sin embargo, todavía tiene una gama finita, definido por una función de la longitud del brazo del usuario. Para los diferentes entornos, entonces, la función utilizada debe cambiar para permitir el acaparamiento de todos los objetos de la escena. Esto puede conducir a la imprecisión en la capacidad del usuario para colocar el brazo virtual, por lo que para los objetos muy lejanos, el brazo puede extenderse y retraerse demasiado rápido para permitir un fácil agarre y manipulación de objetos [12].

Para la técnica de Stretch Go-Go permite una extensión infinita utilizando únicamente el movimiento del brazo de control. El espacio alrededor del usuario se divide en tres regiones concéntricas, de tal manera que la posición natural de la mano del usuario se encuentra en la región media. Cuando el usuario se extiende su mano para que se encuentre en la región más externa, el brazo empieza a crecer a una velocidad constante. Si el brazo es llevado de nuevo en la región más interna, que se retrae a esa velocidad. En la región media la longitud del brazo sigue siendo el mismo. Por lo tanto, la posición de la mano física se asigna a la velocidad de la mano virtual, con tres velocidades discretas disponibles. Usando esta técnica, se puede conseguir cualquier longitud del brazo. Para ayudar al usuario, se muestra un indicador que indica la región actual y la proximidad de otras regiones. Esta técnica es cognitivamente más exigente que la técnica de Go-Go, pero permite que el brazo pueda ser colocado a cualquier distancia [12].

En Indirect Stretching Technique, en lugar de utilizar los movimientos de brazos, el usuario puede estirar o retraer el brazo virtual pulsando botones en un ratón 3D. Un botón extiende el brazo a una velocidad constante, mientras que otro retrae el brazo a esa velocidad. Esta técnica se lleva la metáfora natural de estiramiento del brazo para hacerlo más largo, pero también puede ser más precisa y físicamente fácil de usar [32]

También contamos con la técnica Imagen-Plane [31], la cual proporciona para los usuarios una selección y una manipulación de los objetos 3D con tan sólo tocar y manipular sus proyecciones 2D en una imagen del plano virtual situado en frente, como se puede observar en la Figura 5.

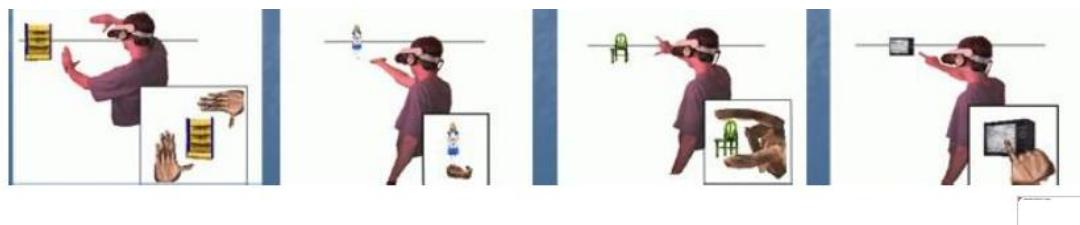


Figura 5. Técnica de interacción Imagen-Plane. Fuente [31]

Cabe resaltar que en la literatura de técnicas de selección y manipulación existen más técnicas, como el grupo de técnicas híbridas, como HOMER (en inglés, Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-casting) que mezcla Ray-Casting y Virtual Hand. Esta Utiliza la técnica de Ray-Casting para la selección y una vez se haya seleccionado el objeto, la mano virtual se mueve hasta el objeto para una manipulación orientada por la mano, esta se base en un mapeo lineal de la posición de la mano real [13].

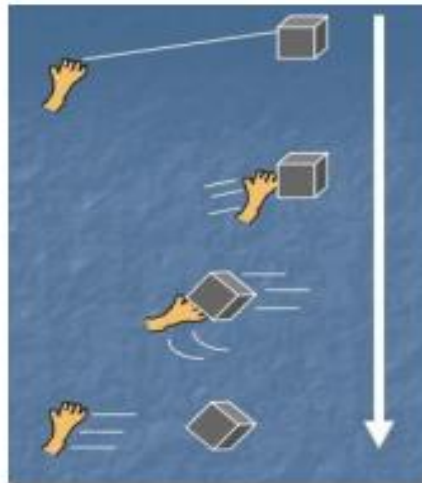


Figura 6. Técnica de interacción Híbrida HOMER (Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-casting). Fuente [13]

2.2 Trabajos relacionados

2.2.1 Métricas

El concepto de métricas es abarcado por muchos autores, y en rasgos generales tienen el mismo significado, que pueden ser determinados de manera cualitativa y/o cuantitativa, con el fin de obtener información acerca de la actividad que se está realizando. Un ejemplo, que será explicado con más detalle en secciones posteriores, es los estudios realizados por Collazos y col. donde planeta que métrica cuantificables que a menudo se pueden obtener de manera automática, y son producto de observar, individual o colectivamente a los usuarios durante la ejecución de una actividad en grupo [33]. Un trabajo similar es presentado por Bowman y col. que define métricas de rendimiento, que permite obtener información acerca de las tareas de interacción 3D realizados por un usuario, como la velocidad y precisión, y valores subjetivos como la facilidad de uso [12], [13], [32]. Pero en términos más formales, el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) define métrica como una medida cuantitativa del grado de un sistema o atributos que posee un proceso. También es definido como una función cuyas entradas son datos y sus salidas son valores numéricos que pueden ser interpretados como el grado de calidad que posee el atributo software [34].

2.2.2 Métricas y Evaluación de Sistemas Colaborativos

El trabajo en equipo es una necesidad de toda organización, por eso existe un auge del trabajo de forma colaborativa, y así mismo, de los sistemas colaborativos basados en computadoras que apoyan este proceso. Por esa razón es necesario

saber si estos procesos se están realizando de la mejor forma, y evaluar cómo los grupos de trabajo enfrentan una tarea colaborativa.

La colaboración es un proceso que se requiere en una actividad que se realice de forma grupal, es un concepto ampliamente estudiado, en gran manera por el trabajo colaborativo asistido por computador (CSCW, Computer Supported Cooperative Work), ayudando a determinar métricas, métodos y metodologías que ha permitido realizar evaluaciones en una actividad colaborativa. Este proceso debe ser bien caracterizado con el fin de resaltar su importancia y factor relevante en los sistemas colaborativos. Algunos autores, han resaltado la importancia de la evaluación en sistemas colaborativos y el impacto que tienen estas evaluaciones en las personas.

En la investigación hecha por Neale y col. se describen los problemas relacionados con los sistemas CSCW y la colaboración hecha a distancia, además realiza una revisión de la literatura y los framework más importantes de la evaluación de los sistemas colaborativos [35]. Antunes y col. resaltan la gran variedad de métodos para evaluar estos sistemas, y ha propuesto una serie de estrategias para seleccionar el método más adecuado, desarrollando un marco de referencia para evaluarlos de acuerdo con las características propias de cada sistema [19]. Así mismo, Haynes y col. proponen un método de evaluación basado en escenarios para sistemas colaborativos [36]. A partir de la necesidad de una evaluación que abarque varios puntos de vista, y que explique diversos factores contextuales que afectan los sistemas colaborativos. Para ello se determinó realizar entrevistas a una serie de personas que tienen diversos roles dentro de una organización, con el fin de capturar los posibles escenarios [36].

En los procesos de aprendizaje colaborativo asistidos por computador (CSCL, Computer Supported Collaborative Learning), la evaluación tiene una vital importancia, por eso algunas investigaciones se han centrado en la medición de estos procesos de colaboración, y cómo estos afectan el aprendizaje de los individuos. Collazos en su tesis doctoral, resalta la importancia que tiene el proceso de colaboración en actividades colaborativas [28], además también propone algunas métricas que proporcionan información valiosa para ayudar a identificar y corregir ciertas problemáticas que se presentan en el aprendizaje colaborativo [20], [23]. Para evaluar el proceso del aprendizaje colaborativo, Collazos también plantea que este proceso se debe dividir en tres fases, como son: pre-proceso, dentro del proceso y post-proceso [33], esto con el fin de tener un mayor número de datos, y no solo centrarse en los resultados finales de las evaluaciones, sino paralelamente en el subconjunto de actividades y tareas colaborativas [37].

2.2.3 Evaluación de Entornos Virtuales Colaborativos (CVE).

La realidad virtual (VR) se encuentra caracterizada por muchos aspectos fundamentales, en particular cabe resaltar que está basada en la metáfora del mundo real que contiene “objetos” que representan la realidad. Éste mundo que se podría considerar o llamar paralelo, debe brindar la capacidad de una interacción eficaz con los demás participantes, como también con los objetos que se pueden

manipular de forma interactiva [8]. Simón en su tesis doctoral expone que las particularidades de la VR introducen nuevos elementos que deben ser tenidos en cuenta en la evaluación, donde algunos autores han venido centrando sus esfuerzos en tener en cuenta estos nuevos elementos [3].

Bowman y col. proponen el uso de bancos de pruebas (*Testbed Evaluation Approach*) como método para el análisis de técnicas de interacción en 3D y plantea un esquema de pasos claramente definidos para conducir la evaluación. Estos pasos son: evaluación inicial, elaboración de una taxonomía interacción, definición de métricas de rendimiento, realización de experimentos con el banco de pruebas y análisis de los resultados de la evaluación. En unos de estos pasos se plantea que por medio de las métricas de rendimiento se obtiene información sobre el desempeño de un usuario en una tarea de interacción, como por ejemplo velocidad y precisión [13].

La evaluación o diagnóstico de los CVE se han generado a partir de una serie de necesidades, particularmente la de tener un enfoque metodológico para integrar varios de los factores humanos en el diagnóstico de estos sistemas. Es el caso del estudio presentado por Hrimech y Merienne [7], que mediante la utilización del método sumativo, comparará varias técnicas de interacción, donde la evaluación permite determinar la técnica más adecuada para la realización de la tarea específica. El estudio tuvo en cuenta varios criterios de evaluación, como la copresencia⁹, participación/conciencia y esfuerzo en la colaboración [7].

También hay estudios que se centran en la gestión de actividades colaborativas, es el caso de trabajo de De Lucia y col. que pretendían determinar cómo los equipos (de trabajo) pueden trabajar de forma colaborativa eficazmente en un entorno 3D [38]. Para eso proponen un sistema denominado SLMeeting con el fin de mejorar comunicación al momento de realizar una actividad colaborativa en un mundo virtual denominado Second Life¹⁰. En dicho sistema se realizó un caso experimental donde un grupo de personas interactuaban con la aplicación, e intentaban realizar una reunión, donde SLMeeting controlaba las intervenciones de los participantes, concluyendo que el sistema resulta eficaz para colaboración eficaz [38]. Así mismo, Kim y col. se centró en evaluar varios aspectos de colaboración en diversos tipos de reuniones, analizando el intercambio de ideas para la solución de problemas [39]. Otros estudios se destacan en analizar el rendimiento de los usuarios en una tarea colaborativa, como es el estudio realizado por Argelaguet y Kunert el cual implementó una tarea de visualización de objetos en un entorno virtual, con el fin de

⁹ Entiéndase Copresencia como la precepción de una persona o varias en el mismo entorno.

¹⁰ El término Second Life hace referencia a un entorno tridimensional virtual donde los usuarios pueden socializar, establecer contactos y hacer creaciones virtuales.

observar y determinar el rendimiento de un trabajo colaborativo entre dos personas [40].

2.2.4 Evaluación de la Selección y Manipulación de objetos en un CVE.

Como se menciona en la sección 1.1, la selección y la manipulación son dos de las cuatro tareas fundamentales de la interacción en 3D, por lo cual se han propuesto diferentes técnicas y dispositivos para realizar estas tareas [6]. Los primeros trabajos de evaluación de selección y manipulación realizaron comparaciones de técnicas conocidas. Es el caso del estudio realizado por Bowman y Hodges en 1997 [12]. En dicho trabajo se compararon técnicas como Go-Go, Arm-Extension, Ray-Casting, y algunas variaciones de estas. Entre los hallazgos encontrados en la evaluación de estas técnicas se determinó que la selección y manipulación se deben considerar por separado para su adecuada evaluación [12].

Otro estudio que evalúa y compara técnicas de selección y manipulación fue presentado por Duval y Fleury [18]. Este trabajo se enfoca en la dificultad de algunos usuarios de adaptarse a los Entornos Virtual (VE), y cómo este problema afecta la interacción. Este estudio comparó la técnica de Ray-Casting en cuatro escenarios diferentes, 1) un contexto no inmersivo (con un ratón frente a una pantalla), 2) un semiinmersivo, con un control de Wii y una pantalla de gran formato, 3) un control de Wii más un sistema de seguimiento de posición de la mano y una pantalla de gran formato y 4) un contexto totalmente inmersivo con visión estereoscópica. La experimentación se realizó con varios usuarios los cuales tenían que desarrollar la una tarea de emparejar esferas con cilindros del mismo color, moviéndolas en distintos escenarios, para así determinar que tanto se dificultaba al usuario la interacción en cada uno de los contextos planteados anteriormente [18].

Además de evaluación de técnicas interacción individual (tareas realizadas por un solo usuario) también se han realizado trabajos que evalúan la interacción colaborativa. Es necesario aclarar que la selección es principalmente una técnica de ejecución individual, pero la manipulación se podría presentar de manera cooperativa, en algunos contextos. Pinho realizó una serie de investigaciones relacionadas con las técnicas de interacción en CVE [41], [15], [16], [14]. Dadas las dificultades que presentan algunas tareas de manipulación por parte de un solo usuario con las técnicas de interacción típicas, este autor integró las técnicas existentes, para constituir un framework que apoye estas técnicas y otorgue una interacción más realista. Mediante la caracterización de la manipulación cooperativa, integración de técnicas, aplicación de métricas y experimentaciones en tareas de manipulación de objetos, se logró estructurar el framework mencionado [41], [15], [16], [14].

Otro tipo de manipulación colaborativa la plantea Aguerreche [42], que estudia la posibilidad de agilizar las tareas realizadas por un usuario al permitir que la realicen dos usuarios simultáneamente. Para esto plantea 3 técnicas. La primera de ellas que promedia las posiciones y orientaciones proporcionadas por los usuarios. La segunda técnica divide los grados de libertad del objeto manipulado entre los

usuarios. La tercera técnica es un dispositivo tangible agarrado simultáneamente por los dos usuarios. Para hacer la comparación entre las diferentes técnicas mencionadas se preparó una tarea que consiste en mover una compleja estructura entre dos usuarios del punto A al punto B obligándolos a comunicarse para superar la compleja trayectoria. Los resultados con 12 parejas muestran que la técnica de media es más rápida que las otras técnicas, probablemente debido a la menor cantidad de movimientos requeridos del cuerpo de los usuarios[42]. Ruudle y col. en su investigación estudian la manipulación de objetos en dos escenarios diferentes, con acciones simétricas y asimétricas durante una interacción cooperativa [43]. Al igual, Hrimech y col. estudiaron el efecto de las metáforas de interacción 3D en CVE sobre el esfuerzo de colaboración, co-presencia, participación, awareness y colaboración [7], [30].

2.2.5 Trabajos relacionados con las Métricas de Colaboración

Con el fin de abarcar en gran manera todos los aspectos relacionados con la colaboración e interacción en entornos virtuales 3D, se estableció definir un conjunto de métricas las cuales involucren varios de los aspectos particulares de estas dos áreas.

Para poder establecer este conjunto de métricas se tomaron como tomó una serie de estudios para cada una de las métricas establecidas. Para las métricas de Rendimiento, tanto en la selección como en la manipulación, se toma principalmente los trabajos realizados Duval, Poupirev y Bowman [18], [31], [12], [13]. Estas propuestas establecen medidas con el fin de realizar comparaciones de rendimiento de un usuario con otro en escenarios distintos, y donde el factor del trabajo colaborativo no se presenta, dado que las tareas se realizan de forma individual.

Para determinar las métricas de Usabilidad se toma como principales propuestas los estudios realizados por Hrimech [7], [30] y Pinho [15], [16], ya que en estos estudios involucran dos usuarios para el desarrollo de una selección y manipulación. Luego, para determinar las medidas de sus estudios, utilizaban cuestionarios subjetivos con el fin de captar las apreciaciones de los usuarios después de realizar la actividad.

Para establecer las métricas que permitan medir el grado de Inmersión en la tarea de selección y manipulación colaborativa, este trabajo se basó principalmente en propuestas realizadas por Hrimech [7], [30] y Schroedera [44], los cuales mediante encuestas los usuarios podían determinar una puntuación mediante una escala de Likert, el nivel de inmersión que se percibía.

Con el fin de medir la Cooperación que se genera en una tarea de selección y manipulación, se tomaron como propuestas relevantes para nuestra investigación, los estudios realizados por Guerrero [20] y Collazos [23], [33], los cuales definen cinco indicadores para evaluar la colaboración.

A diferencia de las propuestas mencionadas, esta investigación se centra en la colaboración como el factor más importante de una actividad grupal en una interacción 3D. Es por ello que para las medidas de nuestro estudio, se realizará en dos escenarios netamente colaborativos; en la tarea de selección y manipulación se realizará lo que denominamos un escenario con colaboración favorecida y en el otro se determinó una colaboración más libre. Esto se determinó porque muchos de los estudios realizados se centraban en determinar la eficiencia y eficacia de las métricas en escenarios de rendimiento y no colaborativos.

Una buena práctica que se ha derivado de los estudios de Usabilidad e Inmersión en entornos virtuales, es la captura de la percepción de los usuarios de estos conceptos mediante cuestionarios subjetivos particulares de cada actividad. A diferencia de los trabajos mencionados, esta investigación realizará este mismo proceso pero los valores obtenidos estarán parametrizados en un rango de valores con el fin de generar el indicador general de cada métrica y posteriormente al indicador general de colaboración.

Para la parte de Cooperación se ha determinado utilizar la base conceptual de algunos de los indicadores definidos por Collazos [23], [27], esto se da porque el significado propio de estas métricas son poco aplicables por los datos requeridos para el cálculo de la misma, y que resulta ser poco medible en la tarea de selección y manipulación propuesta por esta investigación. Dadas las circunstancias se determina refinar las métricas del cual se basó esta métrica, generando un valor agregado, ya que se genera una nueva manera de poder medir las medidas propuestas por el autor.

Para poder determinar el indicador de colaboración de la selección y manipulación, se toma el promedio de cada una de las métricas de Rendimiento, Usabilidad, Inmersión y Cooperación. Para cada promedio de cada métrica, se establece un rango de valores con el fin de establecer una medida del desempeño de cada una, donde primeramente se toma el valor obtenido de la suma promedio de cada participante, para obtener el valor apropiado de cada métrica del grupo.

CAPÍTULO 3. Marco metodológico del proceso de caracterización de la selección y manipulación de objetos y definición de métricas de colaboración.

El marco metodológico es una de las partes fundamentales de un trabajo de investigación, ya que es el encargado de estructurar la investigación en una serie de pasos y procesos con el fin de llegar a una meta exitosamente. Estos pasos determinaron el cómo y de qué manera se realizó un determinado procedimiento. Es de suma importancia centrar gran parte de los esfuerzos en definir una buena programación metódica, la cual se tenga como primicia la organización, puntos críticos a resolver, hipótesis a comprobar, datos a organizar y conclusiones a llegar; para determinar un buen cumplimiento de una investigación. Como lo resaltan muchos autores en el ámbito investigativo; cualquier actividad que emprenda una persona, debe llevar consigo un buen método para conducir al éxito [45].

Es por ello que el marco metodológico de este apartado está dividido en 3 partes, primeramente se define todo el proceso de investigación para la caracterización de las técnicas selección y manipulación. En segundo lugar, se muestra como se utilizó una programación metódica de forma organizada para atender la problemática de medir el grado de colaboración, además del proceso de identificación, definición y refinamiento de las métricas propuestas. Por último, se presenta la metodología empleada para el proceso de diseño y elaboración de la actividad, en la cual se realiza la validación experimental de las métricas de colaboración.

Para llevar a cabo los procesos de caracterización de las técnicas de selección y manipulación, además de la definición de las métricas colaborativas de la selección y manipulación de objetos 3D, se definió un protocolo para estos ambos procesos, el cual permitió: identificar, analizar, interpretar y sintetizar las investigaciones existentes, relevantes al tema de interés particular, y que brindaran un valor significativo a los procesos.

Para ello se dividió este protocolo en tres fases fundamentales, como lo son: búsqueda de estudios, selección de estudios y resultados de particulares de cada uno de los procedimientos (Caracterización de las técnicas de selección y manipulación, y Definición de las métricas de colaboración).

➤ **Búsqueda de estudios.**

Con el fin de garantizar confiabilidad a este proceso, se debe analizar la mayor cantidad de investigaciones relacionadas con las métricas en la selección y manipulación de objetos 3D. Para esto se tomó como referente la revisión sistemática realizada en el estudio realizado por Pino [45] donde se tomó las primeras fases de esta revisión y de tal manera que se pueda hallar los estudios más relevantes.

Las fases tomadas como referencia son:

- **Formulación de la pregunta de búsqueda:** aquí se define una pregunta que busca resolver con los estudios obtenidos y se identifican las palabras claves relacionadas según la pregunta definida.
- **Selección de fuentes:** Se forma una cadena de búsqueda a partir de las palabras clave, títulos, resumen, etc., a través de los motores de búsqueda especializados.
- **Elección de estudios:** Se realiza una elección preliminar de los resultados arrojados, de las investigaciones o estudios que se consideran más adecuados.

➤ **Selección de estudios.**

Para esta etapa se definen algunos criterios de selección que deben cumplir los trabajos de investigación, y que serán analizados en la siguiente etapa para determinar cuáles fueron los estudios que cumplieron con dichos criterios.

Con el propósito de obtener información relevante sobre métricas y evaluaciones de entornos virtuales, además de estudiar la mayor cantidad de propuestas relacionadas con la selección y manipulación de objetos, se realizó una búsqueda especializada en simposios como la 3DUI¹¹ (3D User Interfaces), conferencias de VR (Virtual Reality)¹² y distintas conferencias de CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) de ACM (Association for Computing Machinery)¹³ desde las primeras investigaciones hasta la actualidad.

➤ **Resultados de los procesos.**

Para esta etapa se definió el propósito de cada uno de los procesos, posteriormente se analizan los estudios más relevantes que cumplieron con los criterios de elección, centrandolo en el análisis en los aspectos de mayor relevancia.

3.1 Caracterización de la selección y manipulación de objetos 3D.

La caracterización es un proceso el cual se lleva a cabo para describir de forma general los aspectos relevantes de algo o de alguien [46]. Específicamente, en esta caracterización se busca identificar los aspectos más importantes en las técnicas de selección y manipulación de objetos 3D en entornos virtuales, que podamos correlacionar con los procesos de colaboración. Conjuntamente esta caracterización va ser el primer acercamiento al entendimiento general de las técnicas de interacción, ya que estas contienen un sinnúmero de características que pueden ser utilizadas en el diseño y evaluación de este tipo entornos,

¹¹ Simposio sobre Interfaces de Usuario 3D (Symposium on 3D User Interfaces) <http://3dui.org/>

¹² Simposio Internacional anual de Realidad Virtual (Virtual Reality Annual International Symposium) <http://ieeever.org/2014/>

¹³ ACM acrónimo de Association for Computing Machinery. Sociedad científica y educativa acerca de la Computación. <http://www.acm.org/>

además, estas características pueden afectar o apoyar los procesos de colaboración, en particular en una tarea de selección y manipulación de objetos 3D.

Para llevar a cabo la caracterización de la selección y manipulación de objetos 3D, se definió un protocolo de caracterización que permitió: identificar, evaluar, interpretar y sintetizar las investigaciones existentes, relevantes al tema de interés particular, y que brindaran un valor significativo a este objetivo.

Para ello se dividió este protocolo en tres fases fundamentales, como lo son: búsqueda de estudios, selección de estudios y Caracterización de la selección y manipulación de objetos 3D.

3.1.1 Búsqueda de estudios para el proceso de caracterización

Con el fin de estudiar la mayor cantidad de estudios que estuvieran relacionados con las técnicas de selección y manipulación de objetos, se hizo una búsqueda preliminar identificando palabras claves como: *survey*, *enhance*, *approach*, *mechanism*, *3D interaction technique*, *object selection* y *object manipulation*. Estas palabras claves fueron seleccionadas debido a son muy comunes en las diferentes secciones de las investigaciones relacionadas con el tema de investigación.

Formulación de la pregunta de búsqueda

La pregunta de búsqueda formulada para esta caracterización fue: ¿Cuáles son las características fundamentales y generales en las técnicas de selección y manipulación de objetos 3D?

Selección de fuentes.

En primera instancia, se realizó la búsqueda en las conferencias de la ACM, 3DUI y VR desde los primeros años hasta la actualidad, ya que estos simposios son especializados y relacionados con el tema de selección y manipulación. Las palabras claves mencionadas anteriormente, fueron enlazadas mediante los conectores lógicos AND y OR, con el fin de formar una cadena de búsqueda que pudiera ser usada en los motores de búsqueda.

Elección de estudios

Los estudios arrojados por los motores de búsqueda, fueron analizados en primera instancia por el título, resumen y palabras clave, esto con el fin identificar aquellos estudios que podían ayudar a definir las características propias de las técnicas de selección y manipulación. Se listan a continuación las investigaciones que se consideró podían responder a la pregunta de búsqueda formulada:

- Forsberg, 1996 [47]
- Hand, 1997 [10]
- Poupyrev, 1999 [31]

- Oh, 2005 [48]
- Steed, 2005 [49]
- Oh, 2006 [50]
- Kadri, 2007 [51]
- García, 2008 [52]
- Schmidt, 2008 [53]
- Hancock, 2009 [54]
- Jankowski, 2013 [6]
- Argelaguet, 2013 [55]

3.1.2 Selección de estudios del proceso de caracterización

Definición de los criterios de selección

Los estudios obtenidos de la búsqueda presentada anteriormente, fueron analizados con rigurosidad para seleccionar aquellos estudios que cumplieran con los siguientes criterios:

- Facilitar el entendimiento general de las técnicas de interacción, en particular las de selección y manipulación.
- Que proporcione características propias de las técnicas de selección y manipulación.
- Características que ayuden a generar el diseño y evaluación de entornos que utilicen las técnicas de selección y manipulación de objetos 3D.

Análisis de los estudios

Los estudios obtenidos de la búsqueda se presentan en la siguiente sección. Estas investigaciones fueron analizadas en mayor detalle para identificar aquellas que cumplieran con los criterios definidos anteriormente. La tabla 1 muestra el cumplimiento de los criterios de cada uno de los estudios obtenidos.

Tabla 1. Criterios cumplidos por los estudios en el proceso de caracterización.

Referencia (Autor, Año)	Entendimiento general de las técnicas de selección y/o manipulación.	Características propias de la selección y/o manipulación de objetos.	Características para el diseño y evaluación de entornos.
Forsberg, 1996	✓	X	X
Hand, 1997	✓	X	✓
Poupyrev, 1999	✓	X	✓

Referencia (Autor, Año)	Entendimiento general de las técnicas de selección y/o manipulación.	Características propias de la selección y/o manipulación de objetos.	Características para el diseño y evaluación de entornos.
Oh, 2005	✓	X	✓
Steed, 2005	✓	X	✓
Oh, 2006	✓	X	✓
Kadri, 2007	✓	X	✓
García, 2008	✓	✓	✓
Schmidt, 2008	✓	X	✓
Hancock, 2009	✓	✓	✓
Jankowski, 2013	✓	✓	✓
Argelaguet, 2013	✓	✓	✓

Los estudios que cumplieron a cabalidad los 3 criterios son: García [52], Hancock [54], Jankowski [6] y Argelaguet [55]. Estos serán analizados en la etapa de caracterización.

3.1.3 Caracterización de la Selección y Manipulación

La Tabla 1 muestra las investigaciones que cumplieron los criterios de selección, para este apartado el análisis fue más detallado, más exactamente el análisis se centró en las características propias que deben tener las técnicas de selección y manipulación. Para ello, primeramente dividimos esta sección en dos partes; la caracterización de la selección y la caracterización de la manipulación, como se describe a continuación.

Caracterización de la selección.

Para la caracterización de la selección se tomó como estudio referente el trabajo realizado por Argelaguet, Ferran, and Carlos Andujar [55], dado que primeramente realizan una generalización base de las técnicas de selección en base a las taxonomías presentadas por Bowman y Poupyrev [13], [31], que son dos referentes principales en esta temática. Así mismo, en este estudio se analizan los principales factores que influyen en el rendimiento de la selección de objetos 3D. Posterior a

esto, los autores proponen una clasificación de estas técnicas de acuerdo a una serie de criterios definidos por ellos y también respecto a las características intrínsecas. Para ello se revisó las principales técnicas de selección, a excepción de las técnicas de selección indirectas, por ejemplo las que implican seleccionar de un menú o de consultas semánticas.

Para la caracterización de esta parte se extrajo las características con nombres propios establecidos por el estudio referente y se adjunta una descripción, además se suministra para algunas características unas imágenes de apoyo para dar un mayor grado de entendimiento de la característica.

Las características que son la base conceptual de nuestra propuesta, se muestra en detalle a continuación:

Herramienta de selección: consiste en una forma 1D/3D que determina la proximidad del objeto en el entorno o su intersección, las formas más comunes son los rayos, conos, cubos y esferas. La forma de la herramienta de selección es fundamental en el diseño y elaboración de una tarea de selección, ya que esta determina el control, el rango y la precisión espacial.



Figura 7. Algunas imágenes de las herramientas de selección.

Herramienta de Control: Una vez determinada la herramienta, se debe considerar como aspecto fundamental en una técnica de selección el control de esta. En el control de la herramienta la forma más sencilla de controlar un cursor 3D es a través de un seguidor de mano (como se realiza en las metáforas de Mano Virtual). Los rayos virtuales pueden ser controlados de varias maneras, por ejemplo, utilizando la posición de la mano y la orientación de la muñeca como en Ray-casting, o lanzar el rayo desde el punto de vista del usuario y pasar por la mano, como en la selección de Oclusión.

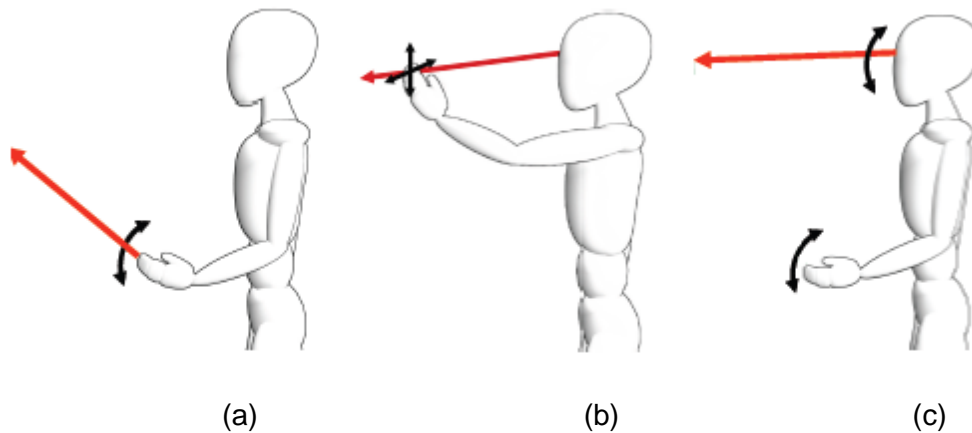


Figura 8. Algunas técnicas de apuntamiento (a) Ray-Casting, (b) Selección por Oclusión y (c) Ray-Casting desde los ojos.

Grado de Libertad (DOF, Degrees Of Freedom) de la herramienta de selección: las herramientas de control determinan los grados de libertad (DoFs) requeridos para controlar dicha herramienta, por ejemplo, en un cursor 3D controlado por la posición de la mano implica 3 DOFs (uno por cada dimensión), mientras que un rayo virtual controlados por la posición y orientación de mano implica 5 DOFs, tres para determinar el origen del rayo y dos para la orientación del rayo. Aunque un rayo virtual tiene hasta cinco DOFs, en la mayoría de las situaciones se requieren sólo dos DOFs para indicar cualquier objeto. El número de DOF depende de la técnica. En otras palabras, el número efectivo de DOF depende de la técnica.

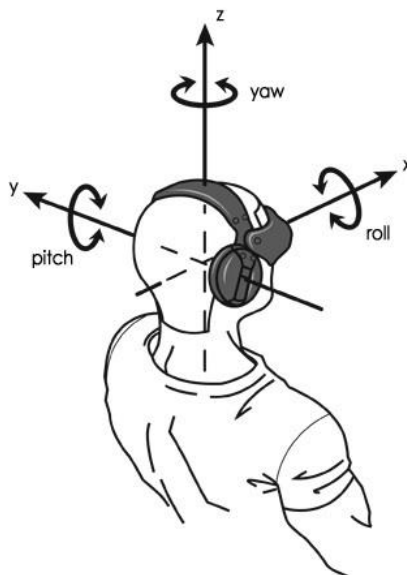
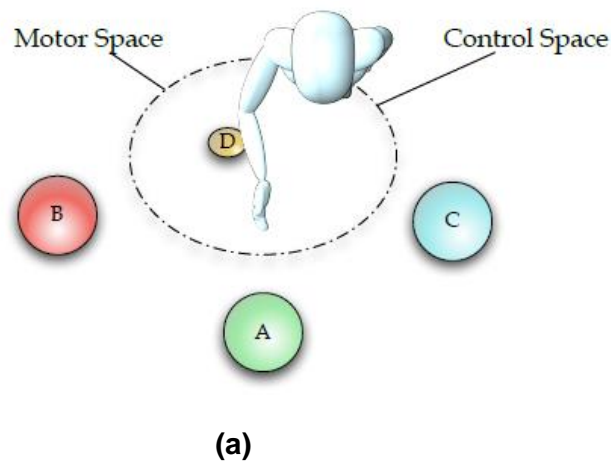


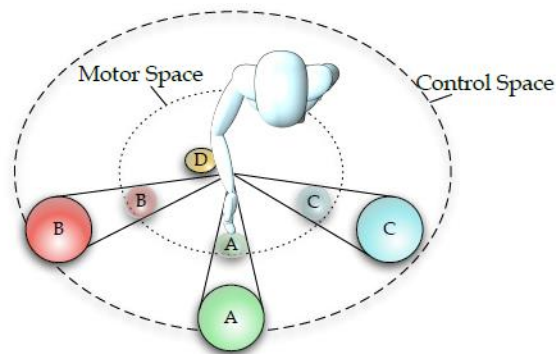
Figura 9. Representación de los grados de libertad (DoF)

Relación Control-Pantalla: La relación de Control-Pantalla, en inglés Control-Display (ratio CD), determina cómo las traslaciones y rotaciones del dispositivo de entrada (x) se transfieren a la herramienta de selección (X), esta relación se define de CD se define como $\Delta x = \Delta X$. Los sistemas que utilizan una cartografía ISOMORFA entre el dispositivo para apuntar y la pantalla, tienen una proporción en la unidad de CD, es decir que el movimiento del dispositivo de señalización es igual o el mismo que el movimiento de la herramienta de selección en el entorno.

Relación Espacio Motor y Espacio Visual: La relación Espacio Motor y Espacio Visual en ciertas técnicas se pueden acoplar o desacoplar según los requerimientos deseados. El espacio motor (o espacio de trabajo) hace referencia a el espacio físico disponible para el usuario poder operar, que por lo general ésta limitado por los grados de libertad disponibles y la configuración de la realidad virtual. En cambio, el espacio visual es la representación visual del ambiente o entorno percibido por el usuario.

Este es independiente de la técnica de selección empleada y es limitado por el campo de visión de la pantalla o proyección. La herramienta de selección y su control determinan dentro del espacio visual la manipulación directa o no del objeto, estos dos componentes transforman el espacio motor en otro espacio que define el alcance de las acciones del usuario, este espacio se conoce como espacio control. En ciertas técnicas como mano virtual clásica (Classical Virtual Hand) el espacio de control coincide con el espacio motor, por consiguiente los objetos situados fuera del espacio del motor no se pueden seleccionar.





(b)

Figura 10. Representación de la relación entre Espacio Motor y Espacio Visual para las técnicas Virtual Hand y Go-Go (a) Solo los objetos dentro del espacio de trabajo son seleccionables (b) Algunas técnicas como Go-Go, puede alterar el espacio motor y espacio control, lo que permite seleccionar objetos fuera del espacio motor.

Mecanismo de desambiguación: Para técnicas que utilizan herramientas de selección volumétricas tales como esferas y conos, debe suministrar un mecanismo de desambiguación. Dado que al momento de realizar la selección estos mecanismos son propensos a indicar más de un objeto a la vez, y más en entornos densos, se han propuesto tres mecanismos de desambiguación clasificados de la siguiente manera: manuales, heurísticas y de comportamiento. En los enfoques manuales el usuario decide que objeto escoger de una lista o menú de objetos predefinidos a escoger. Las técnicas que utilizan desambiguación mediante Heurísticas los objetos que pueden ser seleccionados se clasifican en una función de una heurística y se selecciona el objeto que tiene una mayor puntuación.

En el enfoque de comportamientos los objetos están constantemente en una clasificación durante el proceso de selección, recopilando información. Los datos que se consideran importantes para la clasificación son: tiempo que esta el objeto dentro del volumen de la selección, la distancia al centro del volumen, el número de veces que el objeto entra en el volumen, los píxeles visibles y la media o distancia de píxel mínima para el centro del volumen. Este enfoque es utilizado particularmente para la selección de objetivos en movimiento.

Disparadores de selección: Uno de los pasos finales en una tarea de selección es la confirmación de esta. En este caso los autores presentan este tema como los disparadores de selección y plantean que la opción más común es presionar un botón que está en el dispositivo de señalización. En el estudio planteado por Bowman y colaboradores consideran cuatro diferentes confirmaciones alternativas, como son: eventos, gestos comandos de voz y sin orden explícita [13].

Caracterización de la manipulación.

Para la caracterización de la manipulación se basó en los estudios realizados por García [52], Hancock [54], y Jankowski [6], dado que estos estudios analizan algunos de los elementos principales que se debe contar para la manipulación. Cabe aclarar, que de cada estudio no presenta una investigación centrada en buscar las características propias de la manipulación, sino que resaltan algunos elementos intrínsecos y propios de manipulación.

Al igual que en el proceso de caracterización de la selección, en la manipulación se extrajeron las características derivadas de los estudios mencionados, además se suministra una definición y se acompaña con imágenes de ayuda para un mejor entendimiento.

El resultado de la caracterización de la manipulación se encuentra a continuación:

Manipuladores: Los manipuladores se refieren a las representaciones gráficas que una operación o del estado de un objeto que se sobrepone sobre él, al momento de una manipulación. Generalmente esta acción se puede controlar haciendo clic y/o arrastrando los elementos gráficos, denominado manejadores (handles) del manipulador. Un ejemplo de los manipuladores son los widget de transformación 3D, que son elementos de centrado, posicionamiento, precisión y orientación de objetos 3D, permitiendo la manipulación táctil.

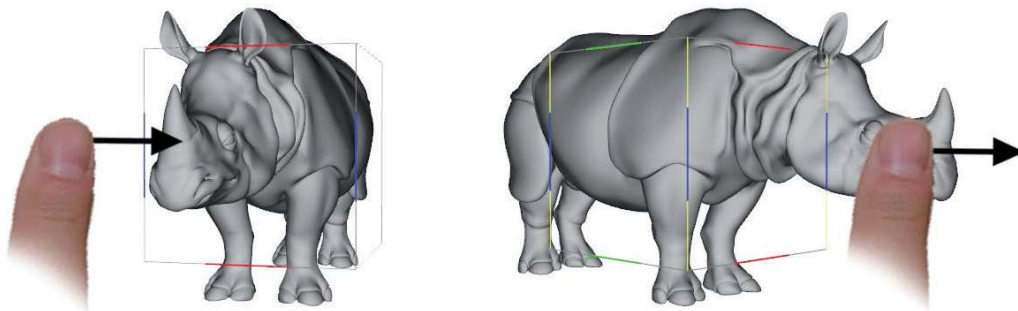


Figura 11. Representación gráfica de un manipulador táctil

Motores de Física: Herramientas virtuales 6DOF 3D que permiten la interacción basada en la fuerza, como efectos basados en la fuerza tales como: colisiones, gravedad, masa e inercia. Para poder simular los movimientos físicos en un mundo digital, se requiere de dos componentes principales, una tecnología de detección y una tecnología de visualización. La tecnología de detección se encarga de detectar todas las acciones del mundo físico y los traduce en “mensajes” que puedan ser entendidos por un computador.

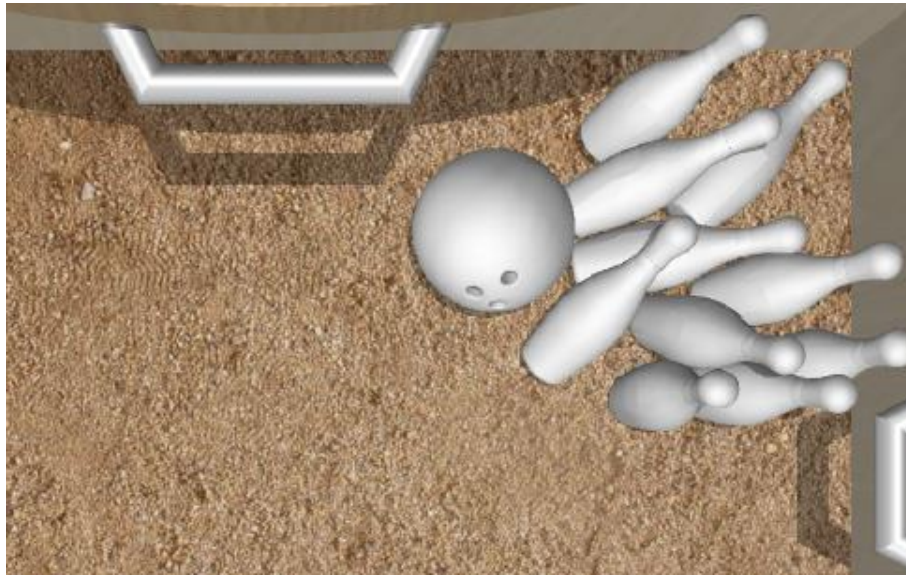


Figura 12. Representación gráfica de motores de física

Grado de Libertad (DOF, Degrees Of Freedom): Los grados de libertad en la manipulación hace referencia al número de movimientos independientes que un usuario puede realizar en un objeto determinado, es decir, es la capacidad de moverse en a lo largo de un eje. Para los objetos en interfaces 3D los movimientos posibles se denominan Pitch, Yaw y Roll.

Retroalimentación (Feedback): La retroalimentación es entendida como la oportunidad de guiar al usuario en la manipulación a través del uso de la aplicación. Para la manipulación colaborativa, este concepto requiere de información adicional, como es la de proporcionar a los usuarios un elemento visual que ayude y mantenga a los usuarios informados de cuando uno de ellos está moviendo el objeto, de igual manera cuando el objeto tiene tendencia a caer o se está maniobrando en sentidos inversos, implicando que el objeto no se mueva para ningún lugar.

Mecanismos de awareness: Es el hecho de proporcionar al usuario suficiente información para obtener una visión de lo que está sucediendo alrededor de ellos. Entre ellos se destaca que es importante proporcionar una conciencia Global del entorno, es decir que los usuarios sepan la posición de los objetos y la posición de los usuarios, dentro del mismo entorno. Así mismo, es importante mantener a los usuarios informados del estado de la tarea, es decir que los usuarios sepan que se está realizando una manipulación directa, o si hay cambios de la misma tarea. García menciona que al momento de realizar una manipulación, es importante para el usuario saber que es “propietario” de ese objeto (con propietario se refiere al hecho que el usuario está realizando una acción sobre el), a este concepto se le denomina Posesión [52].

3.1.4 Conclusiones preliminares del proceso de caracterización.

Dada la naturaleza de los entornos virtuales y las actividades colaborativas, las técnicas de selección y manipulación deben proporcionar una selección y maniobrabilidad rápida, que éstas sean precisas y a prueba de errores, deben ser fáciles de entender y de controlar, generar o producir bajos niveles de fatiga, y por último que las técnicas permitan realizar la indicación y manipulación de forma colaborativa.

Dependiendo de algunas particularidades de los entornos virtuales colaborativos, la caracterización realizada, va resultar importante para el diseño y desarrollo de una aplicación virtual, ya que proporcionan una visión general y una base conceptual de cómo se puede implementar las técnicas de selección y manipulación en CVE y VE.

3.2 Definición y refinamiento de las métricas de colaboración

3.2.1 Búsqueda de estudios para el proceso de definición de métricas

Con el propósito de estudiar una gran cantidad de estudios que estén relacionados con las métricas o diagnósticos de la selección y manipulación de objetos, se realizó una búsqueda preliminar identificando palabras claves como: *3D interaction technique, object selection y object manipulation, Evaluation of Techniques, Interaction and evaluation, Cooperative Object Manipulation, metric, assessment, review*. Estas palabras claves fueron seleccionadas debido a que son las más comunes en las diferentes secciones de los estudios relacionados con el tema de investigación.

Formulación de la pregunta de búsqueda

A partir de un análisis preliminar, se plantea la siguiente pregunta de búsqueda para el proceso de definición y refinamiento de las métricas de colaboración: ¿Cuáles son las medidas o métricas fundamentales para una evaluación de la selección, manipulación, manipulación colaborativa y procesos de colaboración?

Selección de fuentes

Las palabras claves mencionadas anteriormente, fueron enlazadas mediante los conectores lógicos AND y OR, con el fin de formar una cadena de búsqueda que pudiera ser usada en los motores de búsqueda.

Elección de estudios del proceso de

Los estudios arrojados por los motores de búsqueda, fueron analizados en primera instancia por el título, resumen y palabras clave, esto con el fin identificar aquellos estudios que podían ayudar a identificar métricas, medidas e indicadores de la selección y manipulación de objetos.

- Poupayrev, 1999 [31]
- Bowman, 1999 [32]
- Guerrero, 1999 [20]
- Fussell, 2000 [56]
- Bowman, 2001 [13]
- Pinho, 2002 [15]
- Collazos, 2002 [33]
- Collazos, 2003 [28]
- Pinho, 2003 [16]
- Setlock, 2004 [57]
- Pinho, 2008 [14]
- Kim, 2008 [39]
- Duval, 2009 [18]

- Martinet, 2010 [58]
- Aguerreche, 2010 [42]
- Hrimech, 2010 [7]
- Argelaguet, 2010 [40]
- Montoya, 2011 [59]
- Hrimech, 2011 [30]
- Prachyabrued, 2011 [60]
- Kooper, 2011 [61]
- Cashion, 2012 [62]
- Yatani, 2012 [63]
- Ortega, 2013 [64]

3.2.2 Selección de estudios del proceso de definición de métricas

Definición de criterios de selección

De los estudios obtenidos de la búsqueda, se analizaron con rigurosidad para seleccionar aquellos estudios que cumplieran con los siguientes criterios:

- Facilitar el entendimiento general del proceso de evaluación en la selección y manipulación y procesos colaborativos.
- Posibilidad de analizar y extraer medidas y métricas.

Análisis de los estudios

Los estudios obtenidos de la búsqueda se presentan en la siguiente sección. Estas investigaciones fueron analizadas a mayor detalle para identificar aquellas que cumplieran con los criterios definidos anteriormente. Para ello, se estructuró esta sección en dos ítems: ¿Qué es posible evaluar? y ¿Cómo es posible evaluar? Donde se consignó una serie de tablas con la extracción de las medidas utilizadas en la evaluación de la interacción 3D y diversos procesos colaborativos.

Definición y refinamiento de las métricas de colaboración de la selección y manipulación

Con el fin de abarcar el propósito de este proceso se plantea dos ítems considerados como preguntas retóricas, como es: ¿Qué es posible evaluar? Y ¿Cómo es posible evaluar? Esto con el fin de catalogar las métricas y posteriormente, los métodos de evaluación en la siguiente pregunta respectivamente.

¿Qué es posible evaluar?

A partir de la amplia revisión de la literatura, se puede establecer un constructo donde se plasma un conjunto de métricas que muchos autores han planteado, algunas de ellas bajo el mismo significado pero con nombres diferentes. En la siguiente tabla se muestra un resumen de las métricas que han venido realizando en las distintas investigaciones en procesos como la interacción 3D, manipulación colaborativa y métricas de procesos de colaboración diferentes a la interacción 3D. Estas medidas son el insumo inicial para poder determinar las métricas de esta investigación.

Más detalles de las métricas de la literatura están plasmado en las subsecciones del Anexo E (E.4, E.5, E.6, E.7) del documento de Anexos

Tabla 2. Resumen de las métricas de la literatura

Métricas	Referencia
Precisión	[12], [13], [62], [31], [18]
Tiempo	[13], [61], [31], [18], [40]
Sentido de presencia	[31]
Desempeño	[31]
Satisfacción	[31]
Naturalidad	[12]
Trabajo físico	[12]
Velocidad de selección	[65]
Facilidad de Uso	[15], [18], [30], [61],
Confort	[13], [18], [40]
Tiempo para completar la tarea	[61]
Número de errores	[61], [64]
Preferencias del usuario	[61], [7], [30]
Tiempo de movimiento	[64]
Velocidad	[18]
Eficiencia	[18], [44]
Cansancio	[18]
Facilidad de aprendizaje	[12], [15]
Sentido de presencia	[31]
Esfuerzo de Colaboración	[7], [40], [30],
Copresencia	[7], [30]
Uso de estrategias	[20], [28]
Cooperación intragrupal	[20], [28]
Revisión de criterios de éxito.	[20], [28]

Métricas	Referencia
Monitoreo	[20], [28]
Proveer ayuda	[20], [28]
Frecuencia de comunicación	[59], [64]
Facilidad de comunicación	[59]
Contribución	[59]
Coordinación	[59]

¿Cómo es posible evaluar?

A lo largo de la revisión bibliográfica, se puede resaltar como muchos investigadores han venido realizando la evaluación en los procesos de selección, manipulación y diversos entornos que permiten el trabajo colaborativo. En esta sección se consigna en una serie de tablas de como se ha realizado el diagnostico de los procesos ya mencionados. Cabe destacar la gran variedad de métodos empleados por los autores, como lo son: recorrido cognitivo, evaluación heurística, evaluación formativa y sumativa, cuestionarios, pensando en voz alta, entre otras. La definición e información referente a los métodos de evaluación, está consignada en el Anexo D del documento de Anexos.

La información detallada de los procesos de evaluación se encuentra en el Anexo E del documento de Anexos.

Algunos de estos métodos serán considerados en la etapa de refinamiento de métricas de colaboración.

Con base en la clasificación realizada de los resultados de sub-sección **¿Cómo es posible evaluar?** Se puede observar, analizar y determinar cuál es el método de evaluación más utilizado, y en base en ese número poder determinar cómo se va realizar la evaluación de esta propuesta.

Tabla 3. Resumen de métodos de evaluación de la literatura

Método de evaluación	Número de estudios aplicada	Referencia
Recorrido cognitivo	1	[57]
Evaluación heurística	1	[56]
Evaluación formativa	1	[60]
Evaluación sumativa	17	[20], [28], [63], [39], [40], [66], [15], [14], [58], [18], [64], [61], [13], [31], [62], [12], [16]

Método de evaluación	Número de estudios aplicada	Referencia
Cuestionarios	11	[31], [12], [13], [7], [30], [40], [61], [18], [59], [64], [57]
Entrevistas y Demos	2	[14], [63]
Pensando en voz alta	2	[12], [60]

A partir de este análisis planteando en la tabla 3, se puede determinar que para nuestra propuesta el método de evaluación va ser por medio de Cuestionarios y una Evaluación Sumativa, dado que cumple con el criterio de repetitividad que se planteó.

Refinamiento de las métricas de colaboración

A partir del proceso de extracción de las medidas en las diversas investigaciones de esta área, se plantea un proceso de refinamiento de éstas. Esta actividad se deriva del apartado ¿Qué es posible evaluar? de este documento, el cual contiene las métricas planteadas por los diferentes autores de la temática. Además, del apartado ¿Cómo es posible evaluar? se considerará los métodos de evaluación el cual nos definirá el modo en que podemos realizar el diagnóstico de este estudio.

Para nuestra propuesta se utiliza varias de las medidas planteadas por los investigadores y que encasillamos en las categorías de Rendimiento, Usabilidad, Inmersión y Cooperación. Esta categorización se deriva también de estos estudios, ya que varios acoplaban muchas de las métricas en conceptos generales. En base a esto, se consideró que las métricas propuestas de este estudio se categorizarán en ítems como el Rendimiento, Usabilidad, Inmersión y Cooperación, dado que estos factores son directamente influyentes en CVEs, como lo mencionan muchos autores de la literatura.

Categorización y filtrado de las métricas de colaboración.

Para el proceso de categorización y filtrado de las métricas de colaboración, se tuvo como primer factor la repetitividad, y posterior a este, factores propios de la actividad de selección y manipulación planteada para esta investigación, es decir, particularidades de la actividad y del prototipo funcional empleado para la validación experimental de nuestra propuesta. Así mismo, para poder determinar el método de evaluación de la propuesta también consideró estos criterios.

Cabe mencionar que estos criterios son derivados de nuestra apreciación, con base en la experiencia adquirida con la investigación realizada en esta temática.

Criterios de filtrado

- **Criterio 1. Repetitividad:** Se relaciona directamente al hecho de usarse con frecuencia en los estudios, es el hecho o cualidad de repetitivo. Por lo tanto,

se relaciona con las métricas y evaluaciones que más se utilizan en la temática.

- **Criterio 2. Particularidades de la actividad:** Dado que se va a realizar una tarea de selección y manipulación de objetos de forma colaborativa, se presentan particularidades las cuales se deben considerar al momento de plantear las métricas.

Posteriormente, dada la gran cantidad de las medidas de diversos estudios, se determinó como criterio de filtrado la repetitividad de éstas, como se había mencionado. Otras instancias se descartaron dada la complejidad de su cálculo, ya que muchos entornos presentaban particularidades propias y que para nuestro entorno virtual no aplicaban, como por ejemplo son las instancias del trabajo de Collazos, el cual plantea Monitoreo y Cooperación intragrupal, que se “refiere a monitorear a los miembros del grupo de trabajo durante el proceso”, y que para el fin de nuestra actividad resultaba poco aplicable. De igual manera, la Cooperación intragrupal se define como: “Los equipos deben aplicar las estrategias de colaboración previamente definidas” y dado que en el prototipo no tenía cabida a plantear las estrategias que se iban a utilizar durante el proceso de selección y manipulación. Las otras instancias del estudio realizado por Collazos se tuvieron en cuenta para la propuesta.

Así mismo, las medidas de *Participación* y *Calidad de interacción* se descartaron, ya que las definiciones hacían referencia a los niveles de motivación que los usuarios mostraban al realizar una actividad, y que para el propósito de esta investigación no eran relevantes. El grado de *satisfacción* es otra instancia que se descartó, debido que no pretendemos obtener datos de las emociones que perciben los usuarios al realizar una actividad de interacción 3D.

Una vez se haya cumplido los criterios anteriormente mencionados, se consignó en la **Tabla 4** un filtrado de las medidas y una categorización de las métricas propuestas, que serán calculadas en un apartado posterior. Para nuestra propuesta encasillamos muchas de las métricas de todos los autores en los nombres de nuestras instancias. Esta categorización se derivó de la revisión de la literatura que esta consignada en las subsecciones del Anexo E (E.4, E.5, E.6, E.7) del documento de Anexos.

Tabla 4. Filtrado de métricas de colaboración de la selección y manipulación

Métrica	Instancia	Referencia
Rendimiento	Precisión de la Selección	[12], [13], [62], [31], [18]
	Seleccionados	[12], [13], [62],
	Error de Selección	[61], [64]

Métrica	Instancia	Referencia
	Tiempo de Selección	[13], [61], [31], [18], [40],
	Tiempo de Interacción Real en la Selección	[13], [61], [31], [18], [40],
	Precisión de Posición	[12], [13], [18],
	Precisión de Rotación	[12], [13], [18],
	Tiempo de Manipulación	[12], [13], [18], [14], [16], [66]
	Tiempo de Interacción Real en la Manipulación	[12], [13], [18], [14], [16], [66],
Inmersión	Sentido de Presencia	[31]
	Paralelo a la Realidad 1	[44]
	Paralelo a la Realidad 2	
	Coopresencia 1	[7], [30],
	Coopresencia 2	[44]
	Conciencia	[7], [30], [44], [27]
Usabilidad	Facilidad de Uso	[15], [18], [30], [61],
	Eficiencia 1	[18], [44]
	Eficiencia 2	
	Facilidad de Aprendizaje	[12], [15]
	Naturalidad	[12]
	Confort 1	[13], [18],
	Confort 2	[40]
Cooperación	Esfuerzo de Colaboración 1	[7], [40], [30],
	Esfuerzo de Colaboración 2	
	Coordinación	[20], [28], [58], [59]
	Comunicación en la Selección	[20], [28], [63], [59]
	Comunicación en la Manipulación	[20], [28], [63], [59]

3.2.3 Métricas de colaboración en las tareas de selección y manipulación.

Este estudio tiene como objetivo principal analizar la influencia de las técnicas de interacción y la cuantificación de la colaboración como el factor determinante en una interacción 3D, en particular en la interacción de una selección y una manipulación de objetos entre dos usuarios. Esto con el fin de comparar y analizar factores como el rendimiento, usabilidad, inmersión y cooperación. Para ello, inicialmente se deberá tener en cuenta las características propias de las técnicas de selección y manipulación, ya que las técnicas son el mecanismo que proporciona a los usuarios la interacción directa con el entorno, y es por ello que sus características son factores que pueden influir en la recolección de los datos en la actividad colaborativa.

Pero hay varios desafíos que deben ser enfrentados en la aplicación de una verdadera interacción colaborativa y uno de ellos es medir el rendimiento de los usuarios. Es sin duda que la cuantificación del rendimiento en una de las tareas más complicadas que hay en VE, ya que el rendimiento es un concepto que no está bien definido [65]. En muchas experimentaciones se han tenido en cuenta medidas como; el tiempo en realizar las actividades y la precisión de la selección y manipulación, pero estos no son los únicos componentes que se pueden destacar en VE y mucho menos en CVE . Así mismo, cualquier aspecto que se desee ser medible para las técnicas de interacción en VE es una tarea complicada, ya que algunos conceptos no están bien definidos.

La naturalidad, facilidad de uso, facilidad de aprendizaje, confort y varios elementos de la interacción, son factores influyentes y desempeñan un papel importante también en los CVEs, y que se deben tener en cuenta la momento de realizar un diagnóstico de la colaboración. Estos factores son enmarcados en el término de Usabilidad, dado que estos factores se generan a partir de apreciaciones o sensaciones empíricas y relativas [7], [18]. Este término ha sido medido a lo largo de la literatura en interacción 3D ya que las diversas expresiones humanas se deben representar en un entorno virtual, y de ahí, cada usuario puede tener una sensación o percepción diferente del entorno.

Este concepto ha sido definido en términos formales a través de la ISO/IEC 9241, que es la es la norma enfocada a la calidad en usabilidad y ergonomía tanto de hardware como de software. Se define como: "La Usabilidad es la eficacia, eficiencia y satisfacción con la que un producto permite alcanzar objetivos específicos a usuarios específicos en un contexto de uso específico" [67]. Dado que los términos de eficiencia y eficacia son determinados en la categoría de rendimiento, para esta propuesta se centra en la satisfacción como término en la Usabilidad.

La diversidad de los dispositivos de realidad virtual existentes, hace pensar que son un elemento muy importante para proporcionar inmersión a los usuarios de un CVE. Es el caso de los guantes de RV (Data Glove) que son capaces de proporcionar respuestas hápticas, con simples vibración al momento de tocar y maniobrar objetos dentro del entorno [61]. La mayoría de dispositivos son desarrollados para aportar

funcionalidad a aplicaciones específicas, resultando compleja la adaptación de una a otra. Además, estos dispositivos suelen tener precios elevados, muy alejados de los consumidores, por lo que se tiene que recurrir a los dispositivos más usados que pueden generar un mínimo de inmersión, como lo es un teclado, un ratón y un monitor convencional.

Pero sin importar esta problemática resulta importante medir el factor de inmersión de los usuarios, que por lo general se ha realizado mediante apreciaciones subjetivas de los usuarios, y esto se ha generado a partir de no encontrar dispositivos al alcance económico.

Para el trabajo en grupo se deben considerar muchos aspectos que componen este proceso. Para ello es importante resaltar el trabajo realizado por Collazos en su tesis doctoral, la cual plantea varios ítems que se deben tener en cuenta cuando se realizan trabajos grupales y que son una base conceptual de esta investigación. Entre ellos tenemos la aplicación de estrategias, cooperación intragrupal, revisión de criterios de éxito, monitoreo y proveer ayuda [33], con el fin de evaluar la forma en que los grupos de personas afrontan una tarea que requiere colaboración entre los mismos para resolver una dificultad. El principal objetivo del estudio mencionado era destacar la importancia que tienen los procesos del trabajo grupal, en ese mismo orden de ideas, esta investigación desea resaltar, evaluar y analizar los procesos de colaboración.

3.2.4 Fundamento teórico de la propuesta.

Este trabajo se basa principalmente en dos estudios de investigación en particular. En la investigación realizada por Bowman denominada “*Testbed Evaluation of Virtual Environment Interaction Techniques*” [13] en la cual se diseñó y validó un banco de pruebas para las técnicas interacción de un VE. Dentro del banco de pruebas de la selección y manipulación se compuso una prueba en una fase de selección, la cual consistía en seleccionar el objeto correcto de un grupo de objetos, y de una fase de manipulación donde el usuario coloca o deposita el objeto seleccionado dentro de un blanco a una posición y orientación dada. Para estas fases se emplearon varias medidas a validar como: velocidad, precisión, facilidad de uso y comodidad en varias técnicas.

Los datos cualitativos evaluados relacionados con la comodidad fueron: el confort donde se midió las áreas de tensión del brazo, tensión de la mano, mareos y náuseas, con puntuaciones en escala de 1 a 10 puntos, así mismo, para el componente relacionado con facilidad de uso. Esto se realizó después de que cada sujeto terminara una sesión de práctica. Para la precisión, se debía posicionar una figura variando los grados de libertad, para obtener varios valores de esta métrica. Para la medida de velocidad se obtuvieron datos relacionados con los tiempos de duración de cada tarea, contrastados con la variación de la distancia de cada objeto con el fin de obtener la velocidad.

Como segundo trabajo fundamental para nuestra propuesta es el trabajo realizado por Collazos denominado: “*Una metodología para el apoyo computacional de la evaluación y monitoreo en ambientes de aprendizaje colaborativo*” [28], donde se definen cinco indicadores para la evaluación de la colaboración. Para evaluar estos indicadores el autor diseñó un software en el que un grupo de personas debían resolver un laberinto con obstáculo, dividido en 4 cuadrantes. Cada miembro del grupo debía tomar el rol de coordinador en alguno de los cuadrantes definidos, es decir, mientras uno de ellos coordinaba el resto del equipo sumen el rol de colaboradores. Para la comunicación con sus compañeros, cada participante disponía de un cuadro de diálogo, desde el cual indicaba las direcciones que se debían tomar.

La herramienta mantenía los mensajes almacenados con el fin de ser analizados semánticamente y poder realizar la ponderación de los indicadores. Una vez determinada cada ponderación, se determina la ponderación final plasmado en el índice de cooperación. Para determinar el índice general se debía primero obtener una medida en las métricas que planteó el autor, como: uso de estrategias que hace referencias al número de mensajes relacionados con la estrategia; así mismo, otra medida para determinar este índice es la cooperación intragrupal que se refiere a la aplicación de las estrategias establecidas previamente por el grupo. Básicamente, se contabilizaba los mensajes que generaban los grupos y estos eran catalogados en las medidas, poder generar una medida implicando el índice general de cooperación.

3.2.5 Propuesta de las métricas de colaboración en la selección y manipulación 3D.

Las métricas propuestas, se derivan de una amplia revisión bibliográfica en la que se recopiló métricas propuestas por diferentes autores que buscaban medir aspectos relacionados con la “Selección y Manipulación”, “Selección y Manipulación cooperativa” y “Colaboración”, para el análisis, definición y refinamiento de lo que ha considerado en este documento como “Métricas de Colaboración. Así mismo, se abordó el problema de la cuantificación de la colaboración en una interacción 3D, particularmente en el proceso de indicar y maniobrar objetos. En la Figura 13, se expone las 4 métricas identificadas y definidas para medir el grado de colaboración en una tarea de selección y manipulación de objetos.



Figura 13. Categorías de métricas para evaluar la colaboración en una tarea de selección y manipulación de objetos 3D.

Los nombre propuestos para las métricas se basan en las definiciones brindadas por los investigadores en esta área, y que está consignado en la sección 3.2.2 de este documento denominada ¿Qué es posible evaluar? Y que se encuentra en más detalle en las subsecciones (E.4, E.5, E.6 y E.7) del Anexo E del documento de Anexos

Cabe aclarar que las definiciones descritas son propias de este trabajo, por lo que otros autores las definen en otros términos o refiriéndose a otros conceptos. Además, es importante mencionar que se consideró y se tuvo en cuenta muchos factores y problemáticas que los investigadores plantearon, y que se menciona en la Introducción de este apartado, como también en el estado del arte (Capítulo 2).

Para ello, como se había mencionado, se llevará a cabo en las siguientes subsecciones de este apartado, la conceptualización de las métricas que tendremos en cuenta.

Categoría de Rendimiento

Se ha considerado el rendimiento como un factor directamente influyente al momento de realizar una actividad colaborativa. El rendimiento ha sido evaluado por muchos autores de diversas maneras. En [68] y [33] se plantea que en actividades colaborativas es importante medir la calidad, trabajo y tiempo. En este orden de

ideas, esta propuesta va dirigida a indicar cuál es el rendimiento general de dos personas o más, cuando se realiza una actividad colaborativa de selección y manipulación, respecto a calidad y tiempo. La métrica puede ser establecida de forma individual para escenarios particulares de selección de objetos y manipulación. En cambio, en una actividad de selección y manipulación colaborativa de objetos, el rendimiento genera información referente a los logros obtenidos por el equipo en la tarea, determinando en una evaluación si estos logros son buenos o malos según los rangos establecidos para esta métrica.

Dado que el Rendimiento se ve directamente influenciada por las habilidades de los usuarios, la métrica proporciona información referente a las habilidades de manipulación, como es la traslación y rotación de un objeto, enmarcados respectivamente en una instancia de precisión de la traslación y precisión de la rotación, así mismo, del tiempo de ejecución de tal tarea. En la selección se puede obtener datos relevantes como los errores de indicación, conteo de selecciones, tiempo de realización y que tan preciso resulto ser dicha selección según los parámetros establecidos.

Esta métrica también resulta ser mensurable desde diferentes puntos de vista, como es: la precisión, eficiencia, velocidad y tiempo empleado en realizar las actividades. Estas métricas particulares también son determinadas y particulares de cada entorno virtual y actividades a realizar, dado que hay diversas formas de plantear estas medidas. Para esta propuesta se determinó la utilización de registros archivos de registro del sistema (logs) suministrados por el Entorno Virtual Colaborativo, para posterior procesamiento de estos.

Categoría de Usabilidad

Esta medida hace referencia a la facilidad con que los participantes asimilan y utilizan los mecanismos de interacción colaborativa 3D y todos los conceptos que la acompañan, evidenciando la sencillez o dificultad en una actividad de selección y manipulación colaborativa. Esta medida hace un aporte directamente proporcional a la colaboración, ya que si la usabilidad es baja esto indica que la dificultad es alta, por consiguiente, hay problemas en la colaboración, implicando también un degrado en el rendimiento de los participantes dentro de la tarea.

La medida de usabilidad viene determinada por factores a tener en cuenta como: facilidad de uso, eficiencia, facilidad de aprendizaje, naturalidad y confort. Generalmente, estas métricas son subjetivas dadas las diversas percepciones de estas instancias por parte de los usuarios. Para la propuesta, esta métrica está determinada mediante cuestionarios.

Categoría de Inmersión

Se determina como la fidelidad en cuanto a estado, y percepción en general de lo que ocurre en un CVE. Esto es de suma importancia cuando hablamos de tareas colaborativas, ya que esto implica una comprensión mucho más amplia de la tarea y por ende, se podrán realizar aportes más significativos que ayuden a cumplir los objetivos. Los participantes deben tener la sensación de ser parte del entorno virtual, con el fin de generar un mayor índice de rendimiento y ser más productivos en una actividad de interacción 3D, particularmente en una tarea de selección y manipulación.

Para medir la inmersión hay que tener en cuenta factores importantes como sentido de presencia, similitud de vistas, concienan involucrimiento y co-presencia. Al igual que la usabilidad, estas medidas se pueden determinar mediante cuestionarios subjetivos ya que pueden darse diferentes puntos de vista, dadas las diferentes percepciones que un participante puede captar. Para nuestra propuesta se determinó la utilización de cuestionarios subjetivos para obtener los datos referentes a está métrica.

Categoría de Cooperación

Durante el proceso de colaboración se ve necesario supervisar todo el trabajo que ocurre cuando los participantes realizan una actividad colaborativa [68], dada la particularidad de nuestra actividad, al momento de realizar una selección y manipulación de objetos. Es por ello que esta medida revela factores influyentes como: esfuerzo de colaboración, coordinación y proveer ayuda. En otras palabras esta métrica evidencia el trabajo que realizan dos personas al momento realizar una selección y una manipulación de manera colaborativa. Esta medida evidencia la capacidad de los participantes para la coordinación, es decir, si los mismos son capaces de comprender si su trabajo se relaciona con los objetivos intrínsecos de la tarea de selección y manipulación. En la instancia de coordinación implica una sincronización de los participantes, generando toma de decisiones individuales y grupales para las acciones dentro de la tarea.

En cualquier actividad colaborativa intragrupal, se espera que la comunicación entre los integrantes del grupo, sea adecuada, es por ello que esta medida pretende establecer qué tanta comunicación hubo entre los participantes interpretando la cantidad de tiempo invertido en dicha comunicación, tanto para a tarea de selección como de manipulación. En muchos casos, cuando un grupo requiere de una comunicación repetitiva, significa que hay falencias en la colaboración, y es por ello que esta instancia no pretende establecer si la comunicación fue mala o buena, sino evidenciar si es la adecuada mediante los rangos establecidos.

Dado que las tareas colaborativas implica un trabajo grupal, se da el caso que los participantes tengas habilidades distintas, implicando un esfuerzo mayor por parte de uno de los integrantes del grupo. Se pretende mediante la instancia de esfuerzo de colaboración evidenciar estas diferencias.

Para esta propuesta se determinó la utilización de cuestionarios subjetivos y archivos logs para obtener los datos de las métricas particulares referentes a esta métrica.

3.2.6 Propiedades de las Métricas de Colaboración

Creemos que nuestras métricas de colaboración pueden ser eficaces para medir el grado de colaboración al momento de realizar una actividad colaborativa de selección y manipulación de objetos en un entorno virtual 3D. Para comprobar esta hipótesis, se estableció una serie de propiedades que se deben cumplir para el uso de las métricas de colaboración, las cuales están enmarcadas en una validación experimental con usuarios. Por lo tanto, las propiedades de las que se deba partir son:

- **Propiedad 1:** Considerar los elementos propios de la interacción 3D, que afecten la cuantificación de la colaboración en la actividad de selección y manipulación.
- **Propiedad 2:** Los factores externos e internos de los procesos de colaboración deben influir en la tarea de selección y manipulación colaborativa, además, estos factores resulten ser medibles.
- **Propiedad 3:** Las métricas se pueden establecer y calcular en cualquier tipo de escenario comparativo.
- **Propiedad 4:** Las métricas deben determinar el desempeño del trabajo colaborativo en una actividad de selección y manipulación de objetos.

3.2.7 Métricas Generalizadas

Tabla 5. Métricas de Rendimiento de la selección – Precisión de la Selección (PS)

ID	S-MR_01	NOMBRE	Precisión de la Selección (PS)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCION	<p>Hace referencia a la calificación que se le otorga al acto de seleccionar los objetos que están sobre la mesa, con el fin de identificar la calidad de selección en cuanto precisión se refiere. Esta métrica se aplica para cada uno de los N participantes de la tarea haciendo un promedio, para el total se la métrica.</p>		FÓRMULA		
			$\nabla X = fig.posX - impacto.X $ $\nabla Y = fig.posY - impacto.Y $ $\nabla Z = fig.posZ - impacto.Z $ $D = \sqrt{\nabla X^2 + \nabla Y^2 + \nabla Z^2}$ $PS = \begin{cases} 1 & , D \leq \min \\ f(D) & , \min < D < \max \\ 0 & , D \geq \max \end{cases}$ $f(D) = 1 - \frac{D}{\max}$ <p>Promedio entre los N participantes</p>		
MÉTODO DE APLICACIÓN	<p>En primea instancias se deben determinar los valores mínimos y máximos definidos en la fórmula, según los tamaños de los objetos que se están utilizando para las pruebas, posterior a esto se aplica la fórmula.</p>				
PREGUNTAS	¿Con qué precisión se seleccionaron los objetos?		INTERPRETACIÓN		
	Determinar la precisión al momento de efectuar la selección.		<p>Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo de precisión y 1 es su máximo valor reflejando un buena precisión.</p>		

Tabla 6. Métricas de Rendimiento de la selección – Seleccionados (Se)

ID	S-MR_02	NOMBRE	Seleccionados (Se)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	Esta métrica se calculó en base a la cantidad de Objetos que fueron Seleccionados exitosamente (OS), es decir que no fueron perdidos, este número de objetos seleccionados se compararon directamente con los N objetos seleccionable de la experimentación.		FÓRMULA		
			$Se = \frac{OS}{N}$		
MÉTODO DE APLICACIÓN	Una vez contabilizadas OS se aplica la fórmula.				
PREGUNTAS	¿Cuántos de los objetos seleccionables fueron exitosamente seleccionados?		INTERPRETACIÓN		
			Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo de para esta métrica y 1 es su máximo valor reflejando que se seleccionaron todos los objetos posibles.		
OBJETIVOS	Determinar qué porcentaje de objetos fueron seleccionados.				

Tabla 7. Métricas de Rendimiento de la selección – Error de Selección(ES)

ID	S-MR_03	NOMBRE	Error de Selección(ES)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	
DESCRIPCIÓN	Para el cálculo de esta métrica nos basamos en los errores de selección que cometieron los usuarios, es decir si el usuario 1 selecciono N o más Objetos Erróneos (OE) su calificación sería 0 en cambio si no hubo errores de selección la calificación será 1		FÓRMULA		
			$ES = \begin{cases} 1 & , OE = 0 \\ f(OE) & , 0 < OE < N \\ 0 & , OE \geq N \end{cases}$		
MÉTODO DE APLICACIÓN	Una vez contabilizadas OE se aplica la fórmula.		$f(OE) = 1 - \frac{OE}{N}$ <p>Promedio entre los N participantes</p>		
PREGUNTAS	¿Con qué margen de error se seleccionaron los objetos?		INTERPRETACIÓN		
OBJETIVOS	Determinar y calificar la cantidad de errores que se presentaron en la selección de objetos.		Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo de para esta métrica y 1 es su máximo valor reflejando que no se cometieron errores de selección.		

Tabla 8. Métricas de Rendimiento de la selección – Tiempo de Selección (TS)

ID	S-MR_04	NOMBRE	Tiempo de Selección (TS)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	Esta métrica hace referencia a la calificación obtenida respecto al Tiempo (Ts) que les tomó a los usuarios completar la tarea de selección. Donde N es el tiempo máximo que se da a los participantes para hacer la selección.		FÓRMULA		
			$TS = \begin{cases} 1 & , TS = 0 \\ f(Ts) & , TS > 0 \end{cases}$		
MÉTODO DE APLICACIÓN	Una vez se contabiliza Ts se aplica la fórmula.		$f(Ts) = 1 - \frac{Ts}{N}$		
PREGUNTAS	¿Con qué velocidad se seleccionaron los objetos?		INTERPRETACIÓN		
			Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo de para esta métrica y 1 es su máximo valor reflejando que se utilizó el menor tiempo posible en la selección.		
OBJETIVOS	Determinar y calificar el tiempo que utilizaron los participantes para efectuar la selección				

Tabla 9. Métricas de Rendimiento de la selección – Tiempo de Interacción Real en la Selección (TIRS)

ID	S-MR_05	NOMBRE	Tiempo de Interacción Real en la Selección (TIRS)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	<p>Si bien es cierto, la métrica anterior lo que busca es medir el Tiempo (T) que se utilizó para hacer la selección, esta métrica lo que evidencia es que cantidad de dicho tiempo se utilizó en realidad, es decir que tanto tiempo estuvo interactuado directamente con el video juego.</p> <p>Para llevar a cabo dicha medición se contabilizo el Tiempo de Interacción de la Selección (TIS) en el que los usuarios mantuvieron presionada el botón A del control Wii ya que esta permitía mover la mira con la que se seleccionaban los objetos</p>			FÓRMULA	
				$TIRS = \frac{TIS}{T}$	
				Promedio entre los N participantes	
				INTERPRETACIÓN	
MÉTODO DE APLICACIÓN	Una vez contabilizadas TIS se aplica la fórmula.			Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo para esta métrica indicando que en el tiempo que duro la selección no hubo interacción y 1 es su máximo valor reflejando que el tiempo que duro la tarea de selección se utilizó todo para su interacción.	
PREGUNTAS	¿Qué tiempo de interacción real con el video juego se mantuvo durante la tarea de selección?				
OBJETIVOS	Determinar y calificar el tiempo real de interacción que utilizaron los participantes para efectuar la selección				

Tabla 10. Métricas de Inmersión de la selección y manipulación

ID	S-MI_06	NOMBRE	Métricas de inmersión (<i>PCN</i>)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	Para medir la inmersión se utilizan preguntas subjetivas las cuales representan una métrica de inmersión, lo que se busca es tener medidas en cuanto a Sentido de Presencia, Paralelo a la Realidad, Co-presencia y Conciencia.			FÓRMULA	
				$PCN = \frac{\text{pregunta}}{5}$ <p>Promedio entre los N participantes</p>	
MÉTODO DE APLICACIÓN	Se recoge la percepción de los N participantes y se aplica la fórmula			INTERPRETACIÓN	
PREGUNTAS	¿Qué nivel de inmersión perciben los participantes?			Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo para esta métrica y 1 es su máximo valor reflejando estar de acuerdo con lo que afirma la pregunta realizada	
OBJETIVOS	Determinar y calificar la percepción de inmersión que tuvieron los participantes en la experimentación.				

Tabla 11. Métricas de Usabilidad de la selección y manipulación

ID	S-MU_07	NOMBRE	Métricas de Usabilidad (<i>PCN</i>)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	Para medir la usabilidad se utilizan preguntas subjetivas las cuales representan una métrica de usabilidad, lo que se busca es tener medidas en cuanto a Facilidad de Uso, Eficiencia, Facilidad de Aprendizaje, Naturalidad, Confort.			FÓRMULA	
				$PCN = \frac{\text{pregunta}}{5}$ <p>Promedio entre los N participantes</p>	
MÉTODO DE APLICACIÓN	Se recoge la percepción de los N participantes y se aplica la fórmula			INTERPRETACIÓN	
PREGUNTAS	¿Qué nivel de Usabilidad perciben los participantes?			Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo para esta métrica y 1 es su máximo valor reflejando estar de acuerdo con lo que afirma la pregunta realizada	
OBJETIVOS	Determinar y calificar la percepción de Usabilidad que tuvieron los participantes en la experimentación.				

Tabla 12. Métricas de Cooperación de la selección – Esfuerzo de Colaboración (Ec)

ID	S-MC_01	NOMBRE	Esfuerzo de Colaboración (Ec)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	Para medir Esfuerzo de Colaboración se utilizan preguntas subjetivas las cuales representan una métrica de Cooperación, lo que se busca es medir la percepción de estar colaborando en la tarea a los demás participantes.			FÓRMULA	
				$Ec = \frac{\text{pregunta}}{5}$ <p>Promedio entre los N participantes</p>	
MÉTODO DE APLICACIÓN	Se recoge la percepción de los N participantes y se aplica la fórmula			INTERPRETACIÓN	
PREGUNTAS	¿Qué nivel de Esfuerzo de colaboración perciben los participantes?			Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo para esta métrica y 1 es su máximo valor reflejando estar de acuerdo con lo que afirma la pregunta realizada	
OBJETIVOS	Determinar y calificar la percepción de Esfuerzo de Colaboración que tuvieron los participantes en la experimentación.				

Tabla 13. Métricas de Rendimiento de la manipulación – Precisión de Posición (PP)

ID	M-MR_01	NOMBRE	Precisión de Posición (PP)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	<p>La posición de la figura, es decir que tan cerca está en coordenadas X, Y, Z de la figura fantasma que es la posición ideal o meta a la que los usuarios deben llegar a posicionar la figura manipulada</p> <p>Para este propósito el mecanismo que se utilizó fue encontrar la Distancia (D) que hay desde el centro de masa del objeto que se está manipulando al centro de masa del objeto que se considera fantasma.</p>		<p>FÓRMULA</p> $\nabla X = fig.posX - fan.posX $ $\nabla Y = fig.posY - fan.posY $ $\nabla Z = fig.posZ - fan.posZ $ $D = \sqrt{\nabla X^2 + \nabla Y^2 + \nabla Z^2}$		
MÉTODO DE APLICACIÓN	<p>En primea instancia se deben determinar el valor máximo definido en la fórmula, según los tamaños de los objetos que se están utilizando para las pruebas, posterior a esto se aplica la fórmula.</p>		$PP = \begin{cases} 1 & , D = 0 \\ f(D) & , 0 < D < max \\ 0 & , D \geq max \end{cases}$ $f(D) = 1 - \frac{D}{5.4}$ <p>Promedio entre los N participantes</p>		
PREGUNTAS	<p>¿Qué tan precisa fue la colocación del objeto?</p>		<p>INTERPRETACIÓN</p>		
OBJETIVOS	<p>Determinar la precisión al momento de efectuar la ubicar la figura.</p>		<p>Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo de precisión y 1 es su máximo valor reflejando un buena precisión.</p>		

Tabla 14. Métricas de Rendimiento de la manipulación – Precisión de Rotación (PR)

ID	M-MR_02	NOMBRE	Precisión de Rotación (PR)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	<p>La rotación de la figura, es decir que tan cerca están los grados de rotación x, y, z de la figura fantasma que es la posición ideal o meta a la que los usuarios deben llegar a posicionar la figura que están manipulando</p> <p>Para este propósito el mecanismo que se utilizó fue hallar la función coseno de la diferencia de los ángulos fantasma y manipulada la cual nos arroja un valor entre 1 y -1, cuando este resultado sea negativo se considera que el resultado es 0, en los demás casos será el valor que devuelve la función coseno la calificación a determinada coordenada de rotación.</p>		FÓRMULA		
			$\nabla X = fan.rotX - fig.rotX$ $\nabla Y = fan.rotY - fig.rotZ$ $\nabla Z = fan.rotZ - fig.rotZ$ $X = \begin{cases} 0, & \cos(\nabla X) < 0 \\ \cos(\nabla X), & \cos(\nabla X) \geq 0 \end{cases}$ $Y = \begin{cases} 0, & \cos(\nabla Y) < 0 \\ \cos(\nabla Y), & \cos(\nabla Y) \geq 0 \end{cases}$		
MÉTODO DE APLICACIÓN	Una vez calculado las diferencias entre los ángulos se aplica la fórmula.		$Z = \begin{cases} 0, & \cos(\nabla Z) < 0 \\ \cos(\nabla Z), & \cos(\nabla Z) \geq 0 \end{cases}$ $PR = (X + Y + Z) / 3$ <p>Promedio entre los N participantes</p>		
PREGUNTAS	¿Qué tan precisa fue la colocación del objeto?		INTERPRETACIÓN		
OBJETIVOS	Determinar la precisión al momento de efectuar la ubicación de la figura.		Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo de precisión y 1 es su máximo valor reflejando una buena precisión.		

Tabla 15. Métricas de Rendimiento de la manipulación – Tiempo de Manipulación (TM)

ID	M-MR_04	NOMBRE	Tiempo de Manipulación (TM)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	Esta métrica hace referencia a la calificación obtenida respecto al Tiempo (Tm) que les tomó a los usuarios completar la tarea de manipulación. Donde N es el tiempo máximo que se da a los participantes para hacer la manipulación.		FÓRMULA		
			$TM = \begin{cases} 1, & TM = 0 \\ f(Tm), & TM > 0 \end{cases}$		
MÉTODO DE APLICACIÓN	Una vez se contabiliza Ts se aplica la fórmula.		$f(Tm) = 1 - \frac{Tm}{N}$		
PREGUNTAS	¿Con que velocidad se manipularon los objetos?		INTERPRETACIÓN		
OBJETIVOS	Determinar y calificar el tiempo que utilizaron los participantes para efectuar la manipulación		Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo de para esta métrica y 1 es su máximo valor reflejando que se utilizó el menor tiempo posible en la manipulación.		

Tabla 16. Métricas de Rendimiento de la manipulación – Tiempo de Interacción Real en la Manipulación (TIRM)

ID	M-MR_05	NOMBRE	Tiempo de Interacción Real en la Manipulación (TIRM)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	<p>Si bien es cierto, la métrica anterior lo que busca es medir el Tiempo (T) que se utilizó para hacer la Manipulación, esta métrica lo que evidencia es que cantidad de dicho tiempo se utilizó en realidad, es decir que tanto tiempo estuve interactuado directamente con el video juego.</p> <p>Para llevar a cabo dicha medición se contabilizo el Tiempo de Interacción en la Manipulación (TIM) en el que los usuarios mantuvieron presionada la techa A del control Wii ya que esta permitía mover la mira con la que se seleccionaban los objetos</p>			FÓRMULA	
				$TIRM = \frac{TIM}{T}$ <p>Promedio entre los N participantes</p>	
				INTERPRETACIÓN	
				<p>Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo para esta métrica indicando que en el tiempo que duro la selección no hubo interacción y 1 es su máximo valor reflejando que del tiempo que duro la tarea de manipulación se utilizó todo para su interacción.</p>	
MÉTODO DE APLICACIÓN	Una vez contabilizadas TIS se aplica la fórmula.				
PREGUNTAS	¿Qué tiempo de interacción real con el video juego se mantuvo durante la tarea de manipulación?				
OBJETIVOS	Determinar y calificar el tiempo real de interacción que utilizaron los participantes para efectuar la manipulación				

Tabla 17. Métricas de Cooperación de la manipulación – Esfuerzo de Colaboración (Ec)

ID	M- MC_01	NOMBRE	Esfuerzo de Colaboración (Ec)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	Para medir Esfuerzo de Colaboración se utilizan preguntas subjetivas las cuales representan una métrica de Cooperación, lo que se busca es medir la percepción de estar colaborando en la tarea a los demás participantes.			FÓRMULA	
				$E_c = \frac{\text{pregunta}}{5}$ <p>Promedio entre los N participantes</p>	
MÉTODO DE APLICACIÓN	Se recoge la percepción de los N participantes y se aplica la fórmula			INTERPRETACIÓN	
PREGUNTAS	¿Qué nivel de Esfuerzo de colaboración perciben los participantes?			Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo para esta métrica y 1 es su máximo valor reflejando estar de acuerdo con lo que afirma la pregunta realizada	
OBJETIVOS	Determinar y calificar la percepción de Esfuerzo de Colaboración que tuvieron los participantes en la experimentación.				

Tabla 18. Métricas de Cooperación de la manipulación – Coordinación en la Manipulación (CooM)

ID	M- MC_02	NOMBRE	Coordinación en la Manipulación (CooM)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	<p>Como ya se mencionó ,en la sección 3.3.4 la coordinación se mide de manera que los usuarios puedan demostrar una sincronía en sus acciones dentro de la tarea colaborativa, para este caso se mide el Tiempo (TC) en el que los usuarios estaban interactuado simultáneamente con el juego.</p> <p>Donde Tm hace referencia al Tiempo que les tomo a los usuarios completar la tarea de Manipulación.</p>			FÓRMULA	
				$CooM = 1 - \frac{TC}{Tm}$	
MÉTODO DE APLICACIÓN	Una vez tomadas las medidas TC y T se aplica la fórmula.			INTERPRETACIÓN	
PREGUNTAS	¿Qué coordinación existe entre los interacción de los participantes?			<p>Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo para esta métrica y 1 es su máximo valor reflejando buena interacción mutua.</p>	
OBJETIVOS	Determinar y calificar la coordinación entre los participantes.				

Tabla 19. Métricas de Cooperación de la manipulación – Comunicación de la Manipulación (CM)

ID	S-MC_01	NOMBRE	Comunicación en la Manipulación (CM)		
TIPO	Directa	ESCALA	Ratio	UNIDAD	No tiene
DESCRIPCIÓN	<p>En esta instancia se busca calificar la cantidad de tiempo de comunicación utilizada para la Selección en la tarea colaborativa. Recordemos que para cada acción de selección de cada objeto se tienen los tiempos en los que se mantuvo un flujo de comunicación permanente (TCP). Por otro lado tenemos el tiempo que demora la tarea de selección (TS) para cada objeto.</p> <p>N corresponde al número de objetos de la experimentación.</p>			FÓRMULA	
				$CM = \left(\sum_i^{n=n} \frac{TCP_i}{TM_i} \right) / N$	
MÉTODO DE APLICACIÓN	Con las medidas de TCP y TS se aplica la fórmula.			INTERPRETACIÓN	
PREGUNTAS	¿Qué tanta comunicación hubo entre los participantes?			<p>Los valores que puede tomar la métrica están entre [0,1] en donde 0 es el valor mínimo para esta métrica y 1 es su máximo valor reflejando una buena comunicación entre los participantes.</p>	
OBJETIVOS	Determinar y calificar la comunicación entre los participantes.				

CAPÍTULO 4. Diseño y validación experimental de una tarea de selección y manipulación.

Para el diseño de CVEs se deben afrontar múltiples desafíos, algunos de ellos se derivan de la parte virtual y otros de la parte colaborativa, y muchos de estos desafíos tienen una relación y dependencia entre los mismos. Como son las limitaciones relacionadas con la percepción, que se relaciona directamente con los problemas de consistencia y la interacción y expresividad, así mismo, se debe considerar la diversidad de las redes comunicación y la de dispositivos que permiten la inmersión e interacción.

Basados en los problemas mencionados anteriormente, se ha elegido realizar una validación experimental en la cual afrontaremos estos desafíos, y así poder proporcionar un prototipo virtual (Carpeta 1 de DVD de Anexos) en el que se pueda realizar una interacción de selección y manipulación de objetos entre dos usuarios ubicados geográficamente separados. Para tal fin, definimos un protocolo de diseño y elaboración de una tarea de selección y manipulación, que contará con una secuencia de actividades a realizar. Entre ellas destacamos el diseño de la actividad colaborativa y la elaboración del entorno virtual, que se relacionará directamente con las características propias de la selección y manipulación de objetos. Cabe destacar, que con el propósito de proporcionar y garantizar la calidad del prototipo se realizará unas pruebas dinámicas mediante las técnicas de caja negra y de usabilidad.

Dentro del protocolo, se planteará una sub-sección denominada validación experimental, en la cual se describirá en detalle todo el proceso en la que se realizará la validación experimental con usuarios. Por último, se plasma algunas apreciaciones globales de todo el proceso realizado.

La Figura 14 muestra cómo se llevó todo el proceso de elaboración de la tarea de selección y manipulación colaborativa de objetos 3D.



Figura 14. Proceso general de elaboración de la tarea de selección y manipulación.

4.1 Diseño de la tarea de Selección y Manipulación Colaborativa

4.1.1 Planeación de la tarea colaborativa

Análisis: Criterios de escogencia de características

En un primer punto se realizó un análisis para identificar las principales características operacionales del entorno virtual y de la tarea de selección y manipulación de objetos. Para ello se tuvo en cuenta el siguiente criterio.

- **Criterio 1. Particularidades de la actividad:** Dado que se la tarea de interacción 3D es de selección y manipulación de objetos de forma colaborativa, se generó un número de elementos específicos de la actividad, los cuales influyeron en la elección de las características que se tuvieron en cuenta en el diseño y elaboración de la tarea. Es por ello que se toma como único criterio la particularidad de la actividad, a partir de la experiencia adquirida en CVEs.

Es importante mencionar que durante la descripción de algunos elementos de la actividad colaborativa, se incluirán algunas de características mencionadas del apartado anterior (3.1).

Para la implementación del Entorno Virtual, se realizaron una serie de reuniones en mesa redonda conjuntamente con el director del proyecto y donde se comenzó a clarificar la tarea de selección y manipulación colaborativa para validar las métricas propuestas. El diseño de las tareas tenía como principal restricción que debía ser realizada por dos usuarios, debido a que el grupo de investigación solo tenía dispositivos de inmersión e interacción para una pareja de usuarios. Estas reuniones era grabadas para poder tener una evidencia de las decisiones y actividades a realizar.

Se discutió en primera instancia los elementos que se debía seleccionar y manipular. Luego, se resaltó el hecho de que la selección de objetos era una tarea netamente individual, y por ello, se debía plasmar una selección en conjunto, donde se pudiera realizar una selección colaborativa, dado que un proceso de selección colaborativa no se evidenciaba en la literatura de interacción 3D.

Luego, para el proceso de manipulación el cual debía ser colaborativo también, se decidió que los participantes debían manipular la figura, y que para poder determinar varios elementos de las métricas propuestas, se planteó que la figura debía de encajar en una figura “modelo” traslucida.

Dado que muchos autores plantean que la Selección y Manipulación son procesos que van de la mano, se decidió que continuó al proceso de selección, sigue el de manipulación de la misma figura.

Para dar un mayor entendimiento de las ideas, y poder dar un primer acercamiento al entorno virtual, se desarrolló una serie de bosquejos los cuales plasmaban a grandes rasgos el espacio y los elementos que se van a involucrar en el entorno a implementar.

Descripción de la actividad

Como ya se había mencionado antes, el proceso de selección es una actividad netamente individual, por ello, la descripción del siguiente concepto hace referencia a una actividad de selección colaborativa entre dos usuarios es propuesta en este trabajo.

Selección Colaborativa

Los dos participantes estarán ubicados en el entorno virtual a una distancia de una mesa virtual, en la cual se ubican un conjunto inicial de 25 figuras. Para comenzar con la selección, los dos participantes tendrán un recuadro dedicado en sus pantallas indicando una pista visual acerca de la figura a ser seleccionada. Para poder realizar una “*selección colaborativa*” uno de los participantes indica primero el objeto y el otro confirma, la selección será correcta cuando ambos participantes seleccionen la figura correcta.

Manipulación colaborativa.

Después de haber realizado la selección, los participantes inician la tarea de manipulación la cual consiste en rotar y trasladar las figuras de Tetris hasta la representación translúcida o “modelo” de la figura, la cual estará suspendida en el aire al frente de la visión de los participantes. Ambos participantes deben maniobrar la figura de Tetris haciendo las rotaciones y traslación adecuadas de esta para que coincida con la figura translúcida que se les muestra a los participantes. Los posibles movimientos a realizar serán las rotaciones sobre los 2 ejes coordenados denominados Roll y Yaw, y la traslación sobre los 3 grados de libertad. Todos los movimientos simultáneos de los dos usuarios serán promediados para encontrar el movimiento global del objeto.

Diseños de Figuras

Como resultado de la mesa redonda realizada con el director se decidió elegir figuras simples, fáciles de recordar y que fueran familiares para los usuarios. Se estableció usar figuras de Tetris ya que cumplen con los tres requisitos mencionados. Cada figura de Tetris se encuentra formada por cuatro bloques cúbicos, que al ser ensamblados de diferentes formas configuran cuatro posibles figuras “L”, “I”, “S”, “T”, “O”. Cada bloque cúbico tiene una arista con una longitud equivalente a 54 cm. Dichas figuras pueden presentarse de diferentes colores “Verde”, “Azul”, “Amarillo”, “Rojo” y “Rosa” para un total de 25 figuras. La Figura 9 muestra las figuras utilizadas en el entorno virtual.

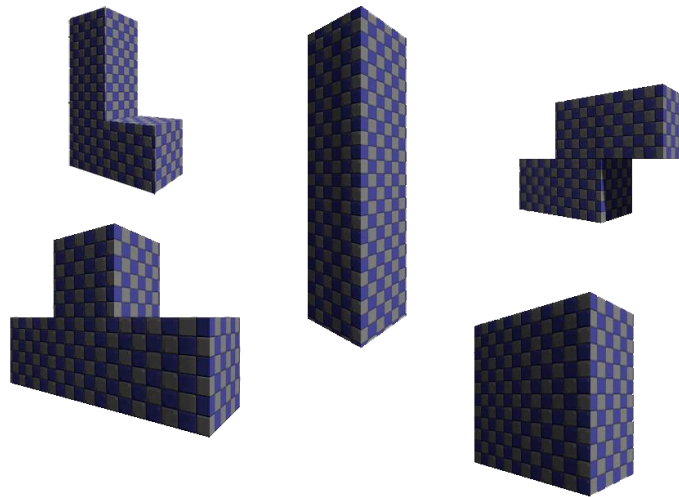


Figura 15. Figuras de Tetris para la tarea de Selección y Manipulación Colaborativa.

4.1.2 Diseño de la colaboración en la actividad

Dado que la colaboración ha sido evaluada en varios estudios en aspectos generales, y que no se evidencia un estudio de la colaboración como particularidad principal, como ya se había mencionado en el apartado 3 de este escrito, este estudio pretende parametrizar y analizar esta expresión en dos términos o escenarios, como los son: **Favoreciendo la Colaboración** y **Colaboración Libre**, donde los dos escenarios son alusivos al tipo de colaboración que se realizará.

Toda la actividad colaborativa presentada a los participantes se realizó bajo estos dos escenarios, donde se realizará de forma alternado a los grupos que participarán de la validación experimental. Es decir, a un grupo se le presenta el primer escenario de Colaboración Libre, seguida de Favoreciendo la colaboración, luego, al siguiente grupo se le presentará Favoreciendo la colaboración, seguida de la Colaboración Libre. Esto se hace con el fin de generar una mayor fiabilidad y variabilidad de los datos a querer obtener y no predisponer la actividad.

Con Colaboración Libre, nos referimos al hecho de que los usuarios pueden realizar una colaboración como lo deseen, es decir, que los usuarios pueden escoger y dirigir su actuar. En el caso de la selección en la Colaboración Libre, a los usuarios se les suministro una serie pistas para poder realizar la selección, la cual contiene dos ayudas visuales para ambos participantes, la primera visualización indicará el color de la figura a escoger y la otra la vista, hace alusión a una vista alterna del objeto. En cambio, en Favoreciendo la Colaboración, para la selección a un participante se le suministrará la ayuda visual del color, mientras que el otro se le proporcionará la

vista alterna de la figura ser seleccionada. En la siguiente ilustración se presenta como se determinó a selección en los dos escenarios.

En el proceso de la manipulación en Colaboración Libre, los usuarios tiene la posibilidad de cambiar los movimientos, es decir, el usuario puede decidir si desea realizar la rotación o traslación del objeto. En cambio, en la manipulación en Favoreciendo la Colaboración, cada usuario tendrá que realizar el movimiento predeterminado, o sea, si el participante 1 tiene traslación, el otro participante, tendrá que realizar la rotación del objeto y estos movimientos no podrán ser intercambiables hasta la siguiente interacción. La Figura 10 hace representa un ejemplo de los primeros bosquejos o prototipos de este proceso de diseño.

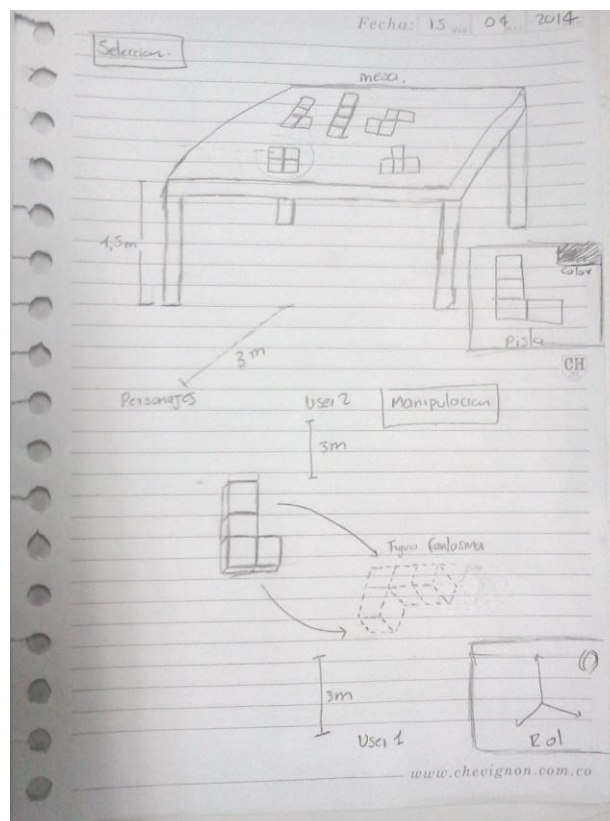


Figura 16. Prototipo general de la actividad colaborativa

Técnicas empleadas de selección y manipulación.

Hay una gran variedad de técnicas las cuales permiten la selección y/o manipulación, y así mismo hay técnicas híbridas que permiten hacer la selección para posteriormente hacer la manipulación. Para la experimentación emplearemos

la técnica HOMER (Hand-centered Object Manipulation Extending Ray-casting) [12] dado que esta técnica permite al usuario realizar el agarre del objeto con un “rayo de luz” referente a la técnica Ray-Casting, pero en lugar del objeto apegarse al rayo de luz, la “mano virtual” se mueve a la posición del objeto y el objeto se une a la mano.

Se determinó que para la herramienta de selección en la indicación del objeto se utilizara una especie de mira circular, la cual mapea los movimientos de la mano del brazo predominante. Paralelo a esto se empleó como herramienta de control un seguidor de mano (como se realiza en las metáforas de Mano Virtual) que es mapeado por el dispositivo Kinect – Microsoft. Se implementó como disparador de la selección, presionar dos botones en el dispositivo, del control Wii de Nintendo.

Interdependencia positiva de roles.

Johnson & Johnson afirman que si no hay una interdependencia positiva no hay colaboración [68]. Con esta premisa deseamos conceptualizar algunas características propias del aprendizaje y trabajo colaborativo en nuestra actividad colaborativa. Para ello tomamos algunas características de los procesos colaborativos, como es la interdependencia positiva y sus tipos. Otras características de las actividades colaborativas se plasman en el Anexo C del documento de Anexos.

Para tal fin, cada participante tendrá un rol complementario e interconectado, y que será intercambiable con cada uno de los participantes en la tanto en la tarea de manipulación como de selección colaborativa. En la selección, primeramente a un participante se le indicará el color de la figura a ser seleccionada, mientras que al otro se le mostrará una vista alterna de la misma figura a ser seleccionada. Esto estimulará la comunicación entre los dos participantes, teniendo en cuenta que uno de ellos realizará el rol de *indicador* de la figura, que hace referencia que fue el primero que realizó la indicación, el otro participante tendrá que ejercer el rol de *confirmador*, es decir que tiene que confirmar la selección de su compañero para saber si la figura es correcta, y así completar satisfactoriamente la selección.

En el momento de empezar la tarea de manipulación, la aplicación le informará a cada participante cuál va ser su rol durante la ejecución de esta. Un participante tendrá la posibilidad de realizar las rotaciones, mientras que el otro participante hará las traslaciones. Cabe resaltar que estos roles pueden ser alternados, en la actividad de manipulación colaborativa libre, en cambio en la manipulación de colaboración forzada no tendrá la posibilidad de alternar estos roles, es decir, que se mantendrán para cada participante durante todo el proceso de la manipulación. Al igual que en la tarea de selección, los participantes se tendrán que comunicar con el fin de coordinar los movimientos para poder realizar la actividad satisfactoriamente.

Comunicación

Siendo la comunicación uno de los ejes principales en los sistemas colaborativos, la tarea experimental cuenta con un sistema de comunicación el cual puede ser usado en cualquier momento en el que los usuarios les parezca apropiado para poder intercambiar información, aclarar dudas o sencillamente para lo que los participantes lo requieran. La herramienta de comunicación que se utilizó es TeamSpeake¹⁴. Cabe aclarar, que esta comunicación va a ser libre intencionalmente en todo momento de la experimentación con el fin de analizar algunos componentes referentes a la comunicación y colaboración.

Mecanismo de awareness.

El entorno 3D cuenta con mecanismos de awareness para mantener a los participantes enterados en tiempo real de la situación de la tarea, es decir, saber con certeza las acciones de los demás participantes e incluso confirmar sus propias acciones, todo esto con el fin de facilitar los procesos de colaboración en la selección y manipulación. En [52] plantea algunos tipos de awareness que apoya a la interacción colaborativa. Los mecanismos de awareness empleados en esta tarea de selección y manipulación son categorizados bajo este estudio.

- **Conciencia de objetos (Objects state awareness)**

Conciencia de la Pre-Selección: En la parte inferior derecha de la pantalla de los participantes se tiene un espacio dedicado para brindar a los participantes las pistas concernientes al objeto que se tienen que seleccionar.

Conciencia de la Selección Colaborativa: Cuando un participante selecciona un objeto, el compañero podrá visualizar esta indicación, ya que el objeto quedará traslucido y “titilando” a espera de la confirmación por parte del otro participante. Esta visualización se representará para ambos, sea el participante 1 o el participante 2 que primero la selección. La única diferencia es que la figura traslucida varía de tonalidad según se el participante 1 o 2. Una vez hayan seleccionado la figura correcta ambos, se continuará con la manipulación del objeto, esta será la manera para darse cuenta que el objeto que ambos seleccionaron es el correcto.

- **Conciencia de tareas (Task awareness)**

Conciencia del rol: en el momento que se esté realizando la manipulación colaborativa, habrá para ambos usuarios una representación visual en la parte

¹⁴ TeamSpeak hace referencia a un software de comunicación de chat por voz ip, que se empleó para la comunicación entre los participantes de la validación experimental. <http://www.teamspeak.com/>

inferior derecha del entorno el cual indica al usuario el rol que está ejerciendo en el momento, es decir, el movimiento de traslación o rotación.

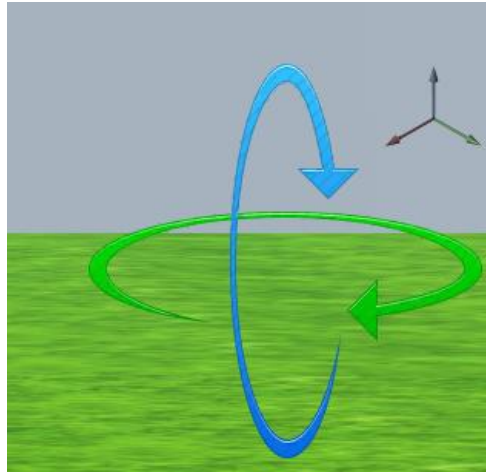


Figura 17. Representación gráfica de la conciencia de rol.

Progreso de la tarea: Indicador ubicado en la parte superior centrado de la pantalla el cual brinda información a los participantes sobre la cantidad de objetos que ya se han seleccionan como también los que faltan por ser seleccionados.



Figura 18. Representación gráfica del progreso de la tarea.

4.1.3 Desarrollo: Entorno Virtual

El escenario que se implementó para la validación experimental, consiste en un entorno sencillo donde tendrán la posibilidad de hacer las interacciones de selección y manipulación, además, este entorno contiene una mesa virtual donde estarán alojadas las figuras de Tetris a ser seleccionadas y manipuladas por los participantes. El ambiente no contendrá ningún tipo de obstáculos para permitir una libre interacción con los objetos.

Es importante aclarar que el entorno virtual se basó en un sistema anterior pues to a disposición por parte de director del proyecto, para re factorización, donde se involucrará los elementos particulares de esta propuesta.

Las actividades de los participantes en la experimentación se verán restringidas a nivel de locomoción, es decir no podrán moverse de su posición inicial, además se dispondrá de una avatar completo que representa a los usuarios. Las actividades permitidas a los participantes fueron descritas en las secciones “Selección colaborativa” y “Manipulación colaborativa” anteriormente descritas. Este entorno fue diseñado e implementado en UDK, donde para darle una mayor inmersión, tiene todas las características relacionadas a la vista estereoscópica 3D. La Figura 13 muestra el entorno ya implementado y adaptado.

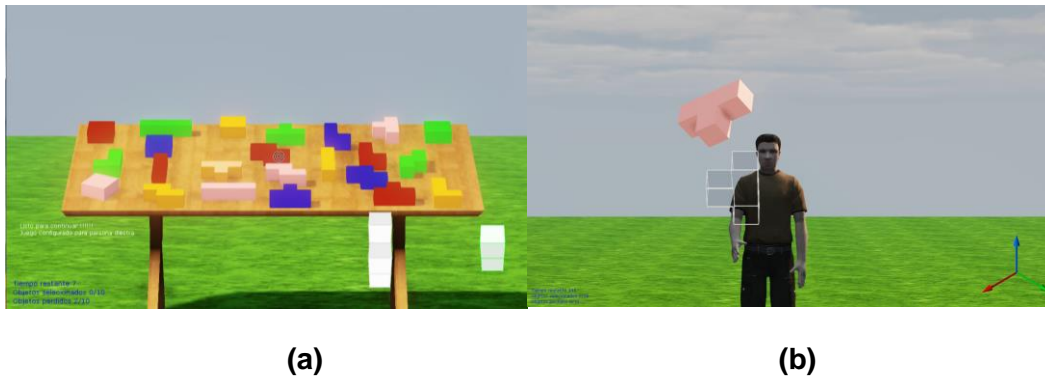


Figura 19. Gráfica del Entorno Virtual Colaborativo. (a) Selección, (b) Manipulación

4.1.4 Pruebas: Diseño de pruebas

Los productos software dependen en gran medida del trabajo humano, existen riesgos que se presentan fallos en cualquiera de las etapas de desarrollo, por esta razón es importante acompañar este desarrollo con una buena actividad que garantice la calidad del producto. Las pruebas de software son elemento importante que normalmente se hacen a requisitos funcionales y no funcionales, para ello se cuenta con las pruebas unitarias en el ámbito de requisitos funcionales. Para tal fin se hace necesario la intervención de las denominadas pruebas de sistema, como son:

- **Pruebas de Usabilidad:** son una forma de medir cómo puede una persona usar un objeto hecho por el hombre, como puede ser una página web, una interfaz de usuario, un entorno virtual, un documento o un dispositivo. Consisten en seleccionar a un grupo de usuarios de una aplicación y solicitarles que lleven a cabo las tareas para las cuales fue diseñada, en tanto el equipo de diseño, desarrollo y otros involucrados toman nota de la interacción, particularmente de los errores y dificultades con las que se encuentren los usuarios
- **Pruebas de Caja Negra:** se centran en lo que se espera de un módulo, es decir, intentan encontrar casos en que el módulo no se atiene a su especificación. Por ello se denominan pruebas funcionales, y el probador se limita a suministrarle datos como entrada y estudiar la salida, sin preocuparse de lo que pueda estar haciendo el módulo por dentro, es decir, el código.

La metodología empleada para llevar a cabo las pruebas de la aplicación es la siguiente:

- Definir los casos particulares de pruebas necesarios.
- Aplicar las pruebas.
- Realizar Informe de pruebas para correcciones.
- Probar que dichos cambios no afecten otras partes del sistema.

Pruebas piloto de la aplicación

Una vez se obtuvo un entorno consistente se llevaron a cabo una pruebas piloto con usuarios, las cuales dieron como resultado algunas pautas a implementar que no se habían considerado en la planeación preliminar de la validación experimental. Estas pruebas se llevaron a cabo con 4 grupos de usuarios, los cuales realizaron la prueba completa, es decir, desde el formulario de caracterización, seguido de los pre-test 1 y 2, posteriormente el test 1 (que contiene colaboración libre o forzada), seguido del formulario subjetivo de percepción de elementos como usabilidad, inmersión y colaboración; hasta el test 2 (con colaboración libre o forzada) seguido de su correspondiente formulario.

Cuando se terminaron estas pruebas, se realizó un análisis de esta actividad, donde se encontraron falencias en los tiempos estimados de la prueba, con llevando a determinar un mayor tiempo para la actividad. Así mismo, se encontró que la carga cognitiva de la actividad era bastante grande, para ello se planteó realizar un vídeo para los participantes, el cual explica y describe de forma visual todas las actividades y el protocolo que se iba llevar en la validación experimental.

Posteriormente a la culminación de cada prueba piloto, se les pidió a los usuarios realizarán opiniones y comentarios del entorno virtual. Se encontró que el entorno para los usuarios, en términos de expresividad de los movimientos eran bastantes precisos, y donde la única preocupación de los usuarios era el tiempo de desarrollo

de la tarea, dado que la actividad implicaba ser desarrollada de pie, generando un leve cansancio.

Para la parte de planeación y pruebas se realizaron una serie de bitácoras donde se determinan los cambios realizados según los datos y resultados obtenidos estas pruebas, y que se muestra en el Anexo G del documento de Anexos.

Diseño de cuestionarios

Es habitual que en las evaluaciones de CVEs se determinen diagnósticos de usabilidad, donde por lo general se miden tres parámetros, como son: eficiencia, eficacia y satisfacción [67]. La eficacia se determina a partir de los objetivos del usuario relacionando con la precisión y completitud en la realización de estos, por lo general se suele medir el número de errores. La eficiencia se relaciona directamente con la eficacia con los recursos consumidos, por lo general en forma de tiempo o esfuerzo. Estos dos parámetros se determinarán gracias a las métricas de rendimiento propuestas en una sección anterior. La satisfacción del usuario generalmente se recoge mediante la opinión subjetiva de cada usuario, normalmente en forma de cuestionarios. Este parámetro lo obtendremos mediante un cuestionario, el comprenda preguntas con temas como la usabilidad, colaboración e inmersión.

En los cuestionarios utilizados para evaluar diversos aspectos en los CVEs, generalmente se dividen en dos partes, uno acerca de los datos personales de los usuarios y los conocimientos previos o experiencias anteriores. La otra parte, se relaciona con el sistema que se va a probar.

Este formulario post-tarea comprende varias secciones, en la primera se realizan preguntas relacionadas con la usabilidad de la selección, posterior a esta, se pregunta con lo relacionado con la colaboración en este mismo proceso (selección). Luego, se realizan las mismas preguntas de las dos secciones mencionadas, pero relacionadas con la manipulación. Por último, se realizan interrogantes relacionados con la percepción de la inmersión en la actividad a realizar. La base conceptual de estos cuestionarios se basaron en el estudio realizado por Schroeder, el cual presenta los resultados y cuestionarios que se emplearon en una actividad colaborativa con dos usuarios [44], similar a la actividad realizada en este estudio.

Posterior a la creación de las evaluaciones, se dio la necesidad de realizar una serie de pruebas con pocos usuarios, con el fin de detectar errores o inconsistencias tanto en la tarea como en los cuestionarios. Esta detención temprana de problemas facilitó la realización a tiempo del experimento.

En los anexos A del documento de anexos, se plasman los cuestionarios que se entregaron a los participantes de la actividad.

4.2 Validación experimental de las Métricas de Colaboración.

Es adecuado puntualizar que las técnicas de interacción en 3D son consideradas un tema abierto de investigación, es decir, no existe una técnica perfecta que pueda ser usada en todas las tareas de interacción [17]. Por esta razón el proyecto propone dentro de sus actividades el desarrollo de un prototipo funcional que implemente una tarea de colaboración que involucre procesos de selección y manipulación en 3D, usando técnicas ya evaluadas y probadas mencionadas en el estado del arte de este documento. Lo anterior implica el diseño de una tarea colaborativa que pueda ser desarrollada por usuarios usando los equipos y recursos con que cuenta la Universidad. Otras tareas propuestas no pueden ser usadas, ya que fueron planteadas para sistemas software cerrados y usando hardware específico, como son los trabajos planteados por Goebbels y Veit, respectivamente [69], [70].

El proceso de validación experimental de las métricas a ser propuestas, incluye el desarrollo de la misma actividad colaborativa por un grupo de usuarios, usando una técnica de selección y manipulación, como se describió en el apartado Diseño de la actividad colaborativa. Así, se calcularán las métricas propuestas y se medirá la colaboración para cada uno de los casos.

Los procesos de evaluación en esta dirección han sido pocos, la mayoría de trabajos de evaluación de CVE incluyen la colaboración como punto más, no se centran en ella como objeto principal de la evaluación, y por lo tanto no concluyen si la o las técnicas de interacción son un factor de afecta la colaboración. Para tal fin se propone un protocolo para llevar a cabo la validación experimental de nuestra propuesta, que se describe a continuación.

4.2.1 Herramientas hardware para la validación experimental

El ambiente virtual pretende generar en los usuarios la sensación de estar inmersos en un entorno virtual mediante dos mecanismos complementarios. El primer mecanismo es utilizar dinámicas similares a las usadas por los videojuegos, introduciendo algunos aspectos de *gamificación*, buscando generar en los participantes un mayor nivel de interés y motivación, con el objetivo de hacer que la experimentación sea divertida, interesante y fácil, y en definitiva, que “engache más”. Para ello se implementó componentes y mecanismo como: Desafíos, Realimentación, Turnos y Estado de Éxito, así mismo, Avatares, el componente Social y el componente de Equipos. Esta parte se detalla en el Anexo E del documento de Anexos, donde encontrará los aspectos generales de la Gamificación.

Para generar a los participantes cierto grado de interacción e inmersión, la tarea fue presentada a los participantes mediante dispositivos básicos que brindan un mínimo de inmersión como lo son:

- **3D Smart TV - LG:** Televisor Smart 3D de 47 pulgadas con gafas pasivas para la visualización de efectos 3D, en este dispositivo conectado mediante

puerto HDMI se proyectará el entorno virtual utilizado para realizar la tarea colaborativa.

- **Kinect - Xbox:** Uno de los instrumentos utilizado por la compañía Microsoft para sus videojuegos que requiere un mapeo de los movimientos de los usuarios, para nuestra investigación esa será su labor permitiendo a los participantes el mapeo de los movimientos de las manos que se verán reflejados en el entorno virtual.
- **Control - Wii:** Este control será utilizado para poder realizar la selección del objeto, es decir, realizará la función de disparador de la selección, como se menciona en un apartado anterior.
- **Laptop Windows 7 con Tarjeta graficadora NVIDIA:** este equipo cuenta con características hardware 8GB de RAM, Intel i7 y NVIDIA Geforce 720M, suficiente para manejar el SDK de Unreal Development Kit en donde se implementa y despliega el Entorno Virtual Colaborativo.



Figura 20. Dispositivos Hardware para el desarrollo de la actividad.

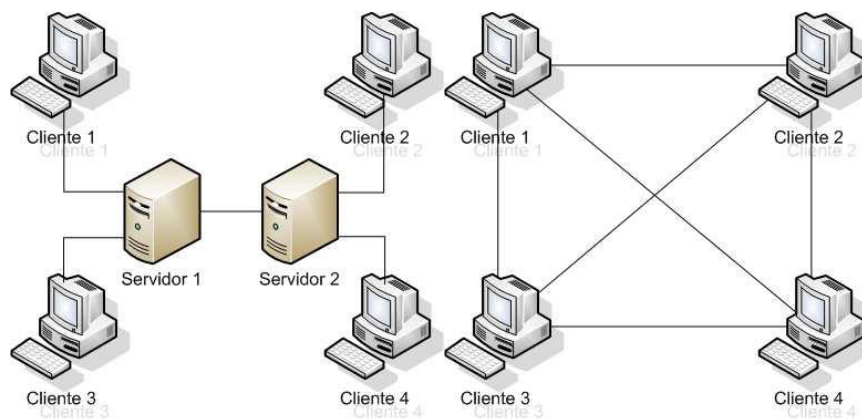
Como se observa en la Figura 14, para la experimentación se contó con 2 equipos hardware iguales, uno para cada participante, de igual modo la ubicación de estos equipos fueron localizados en dos puntos geográficamente distantes, desde donde cada participante realizará la experimentación. Es importante mencionar que cada participante estaba a una distancia de 2.5 metros desde el Televisor que proporcionaba la visión estereoscópica 3D.

Las topologías de red comúnmente utilizadas para CVEs condicionan sus características ya que algunas de ellas potencian aspectos como la fiabilidad, seguridad, eficiencia o escalabilidad. Entre ellas podemos destacar tres:

- **Cliente/servidor:** Denominada también centralizada, ya que un servidor mantiene el estado del mundo virtual. Esto se da porque los clientes no se

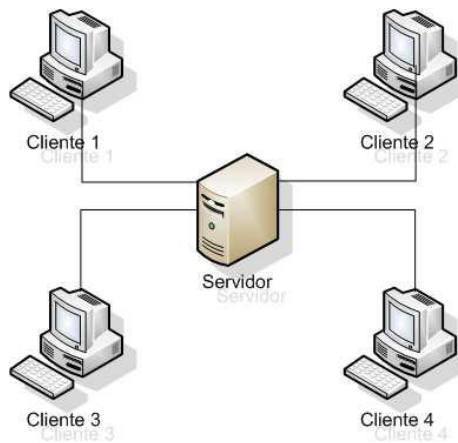
comunican directamente entre ellos, sino a través del servidor. Por lo general esta arquitectura se utiliza generalmente en videojuegos on-line dado que ofrece una mayor seguridad.

- *Distribuida o red de pares*: más conocida como *peer-to-peer*, dado que no se basa en un servidor central, sino en una red de pares que se comunican entre ellos para el proceso de intercambio de información del mundo virtual.
- *Híbrida*: Este tipo de arquitecturas generalmente contienen un servidor central que se encarga de gestionar las conexiones, pero la comunicación entre los clientes no pasa a través del servidor, sino que se comunican entre ellos. Otra posibilidad de arquitectura híbrida, es cuando existen varios servidores, donde la comunicación entre ellos sería *peer-to-peer*, pero los clientes solo se comunican con un servidor local dedicado a ello.



(a)

(b)



(c)

Figura 21. Arquitecturas de red más comunes. (a) Híbrida, (b) Peer-to-peer y (c) Cliente/Servidor.

Para la propuesta se utilizó la arquitectura de red Cliente/Servidor, donde contábamos con un computador dedicado a ser Servidor y dos Clientes (computadores) que se conectaban a este servidor, como se puede observar en la parte c de la Figura 15.

4.2.2 Secuencia de la validación experimentación

La experimentación se llevará a cabo tomando como referencia la organización que hace Collazos en su tesis doctoral [28], que es planteada por Johnson & Johnson en sus estudios [68]. Tomando de estas propuestas la idea de pre-tarea, tarea, post-tarea; y algunos de sus artefactos utilizados en cada etapa, y que serán descritos a continuación.

1. Pre-tarea

- **Organizar los grupos:** en esta etapa se realizó una búsqueda y organización de los participantes para la tarea. Esta organización se hace unos días antes de la experimentación buscando ajustar de la mejor manera los grupos para garantizar su asistencia y la mejor disponibilidad. El cronograma y organización de los participantes se presenta en el anexo A, apartado A.1 del documento de Anexos.
- **Organización del entorno y herramientas:** antes de la experimentación se hace una par de pruebas para garantizar que todo está funcionando a la perfección para atender a los participantes.
- **Socializar y especificar las reglas de juego:** unos minutos antes de iniciar la experimentación se proporciona información puntual visual de la tarea a los usuarios con el fin de resolver dudas y se planea estrategias para enfrentar la tarea. El vídeo de presentación de la actividad estará consignado en el CD de Carpeta 6.
- **Interacción con el entorno:** se da a los participantes unos minutos para que puedan familiarizarse con un entorno virtual 3D, este entorno es muy parecido en donde se lleva a cabo la experimentación, y que está dividimos en dos partes: pre-test 1 y pre-test 2. En el pre-test 1 los participantes podrán vislumbrar como se puede desarrollar la colaboración de forma *forzada*, así mismo, en el pre-test 2, pero esta se desarrollará la colaboración de forma *libre*.
- **Fórmula de caracterización de los usuarios:** con el fin de obtener información de los participantes se les proporcionara un formulario de caracterización que contendrá los datos personales de cada uno de ellos, un identificador del grupo y datos relevantes respecto a los conocimientos previos en entornos virtuales.

2. Tarea

- **Captura de métricas cuantitativas:** durante el desarrollo de la tarea, la aplicación plasmará en los archivos *logs* todas acciones que los participantes realicen en el entorno virtual.

- **Monitoreo de la comunicación:** mediante la herramienta TeamSpeake se realizará un seguimiento de la comunicación que realizan los dos participantes durante la interacción de la actividad.

Monitoreo de la actividad: Para no predisponer a los participantes durante el desarrollo de la actividad, se determinó que solo se ayudaría a los equipos en los pre-test 1 y 2, dado que estos procesos servían para familiarización de la actividad. Estos se implantó porque la carga cognitiva era bastante grande para los participantes. En los Test 1 y 2, los organizadores de actividad no proporcionarían ninguna ayuda a estos, con el fin de no influir en la actividad de selección y manipulación colaborativa.



Figura 22. Ilustraciones del desarrollo de la actividad por parte de los participantes.

En pro de agilizar la ejecución de cada una de las pruebas se implementó una pequeña aplicación en tecnología Microsoft C# que lanzaba el juego colaborativo con una serie de parámetros, como se observa en la Figura17, el cual permitió llevar una secuencia ordenada de los pre-Test y Test de la experimentación. Esta aplicación permite ejecutar cada uno de los test según el identificador de grupo asignado, entre otras configuraciones como la “ip” del servidor en los clientes para poder conectarse conjuntamente con topología de red utilizada para el CVE. Esta aplicación se encuentra en la AppAuxiliares, subcarpeta UDKLauncher

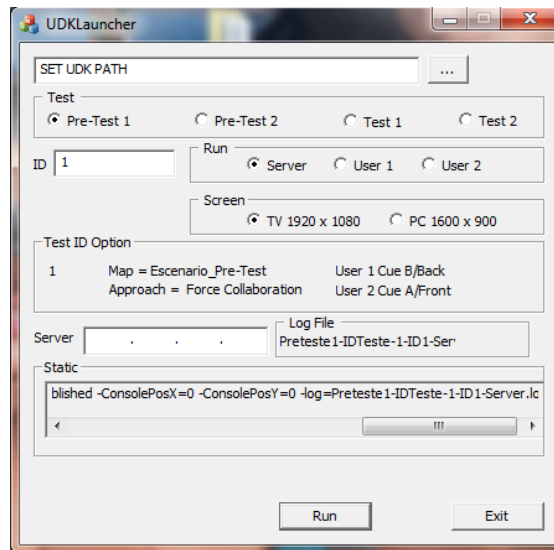


Figura 23. UDKLauncher utilizado para el lanzamiento de la actividad colaborativa (Microsoft C#)

3. Post-tarea.

- **Captura de métricas a través de los formularios:** cada vez que los participantes terminaban uno de los Test (Test 1 y Test 2), se les suministraba un formulario el cual capta las percepciones de Usabilidad Inmersión y Colaboración, por cada uno de los participantes. En la Figura 18 se observa un ejemplo de un participante realizando los formularios.

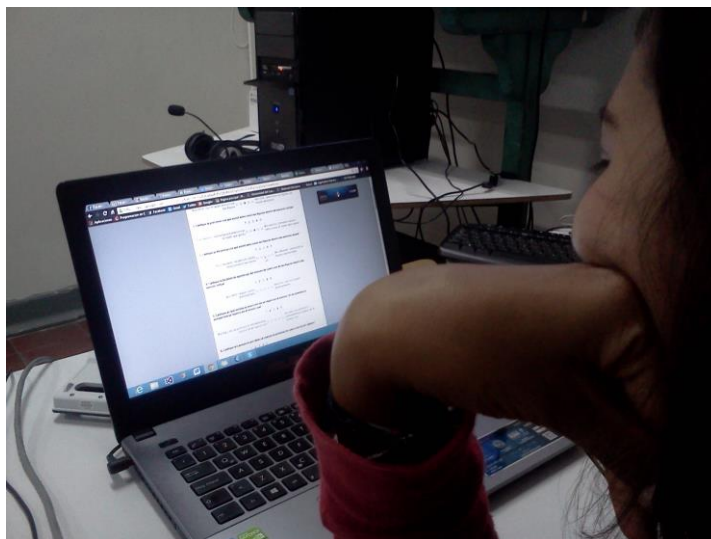


Figura 24. Ilustración de los participantes realizando la encuesta post-tarea.

- **Presentar el cierre de la actividad:** una vez los participantes hayan terminado la actividad, se les extiende un agradecimiento por ser partícipes de la validación experimental de esta investigación, seguido de un refrigerio dado lo extenuante que resultaba ser la experimentación.
- **Inspeccione los criterios de éxito:** realizado el cierre de cada experimentación, los organizadores se prestan a realizar una inspección de los logs y audios, para determinar si la actividad se realizó satisfactoriamente y si los datos suministrados son correctos.
- **Resultados preliminares de la validación experimental:** se realizan una serie de conclusiones preliminares enfocadas al desarrollo de la actividad, así mismo, de la validez de datos y audios.

4.2.3 Recolección de datos mediante archivos de registro log, encuesta y captura de audios

Los archivos log como ya se mencionó anteriormente son registros cuya intención es plasmar en un registro el comportamiento de determinado sistema, en nuestro caso estos archivos log contendrán el registro de todo aquello que paso durante la ejecución de cada uno de los pre-test y test que se ejecutaron en nuestra experimentación, por lo que se obtuvieron 30 logs, 15 de las tarea favoreciendo la Colaboración y 15 de los tarea la Colaboración Libre. Estos archivos se encuentran en la Carpeta 2, subcarpeta “*LogsOriginales*”

Estos archivos log se configuraron en el código del juego para que imprimirá información relevante para este estudio pero no necesariamente lo único, por lo que estos log se sometieron a una serie de tratamientos para su análisis.

Extraer de los log toda la información relevante para el análisis, guardando de manera limpia en archivos “.csv” organizados según la información que contiene, por ejemplo startsel.csv y endsel.csv que contiene la información del instante de tiempo que en la que comenzó y finalizo la selección respectivamente para cada Identificador de prueba, tipo de prueba y usuario.

Para cada prueba se sintetizaron y guardaron 50 archivos que guardan información acerca de la selección y manipulación de los dos Usuarios, para contextualizar la cantidad de información que se procesó consideremos el siguiente calculo.

$$\text{Arch} = 50 \text{ Archivos} * 2 \text{ (Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre)} \\ * 15 \text{ (parejas que hicieron el test)}$$

$$\text{Arch} = 1500 \text{ archivos}(.csv)$$

Este proceso se llevó a cabo mediante un software diseñado para tal fin elaborado en la herramienta de desarrollo Matlab. . Estos archivos se encuentran en la Carpeta 2, subcarpeta “*LogsLimpios*”.

Una vez se limpiaron los datos que se requerían para el cálculo de las métricas planteadas, se empezaron a aplicar las fórmulas planteadas en la sección 3.2.7 que se describen las Métrica Generalizadas.

Para hacer un trabajo mucho más efectivo se implementó un pequeño programa SW en la tecnología Microsoft C# para que ejecutara estas fórmulas aplicándolas a todos los 1500 archivos de extensión “.csv” de entrada e imprimía como resultado 30 archivos “.csv”, 15 de las tareas de Colaboración Libre y 15 de la tarea de Favoreciendo la Colaboración. . Estos archivos se encuentran en la Carpeta 2, subcarpeta “LogsProcesados”. Una vez obtenido el compendio de métricas calculadas, se realizó como paso final la organización de un archivo con extensión “.xlsx” para hacer el respectivo estudio estadístico.

Como se había mencionado, para obtener los datos alusivos a las métricas de Usabilidad e Inmersión se realizó una serie de cuestionarios subjetivos, en los cuales se capturaba las percepciones de los participantes después de cada experimentación.

De igual manera como se obtuvieron logs, para cada uno de los pruebas se obtuvieron audios los cuales se les dio un tratamiento especial ya que si bien es cierto se tenía la comunicación esta era de toda la actividad y no de una selección de un objeto en particular, por lo que sometió a un proceso de edición de audio con el fin de limpiar ruidos, dividir lo que era manipulación de selección y por último y más importante recortar todo aquello que no fuera comunicación y posteriormente guardar todos estos audios con la comunicación efectiva de los participantes. La herramienta utilizada para editar estos audios fue *Adobe Audition 3.0*. Los Audios Originales que se referencian en esta sección se encuentran en la Carpeta 3

Al finalizar este proceso de edición resultaron 600 archivos de audio los cuales corresponden a 2 archivos por objeto selección y manipulación multiplicado por los 10 objetos de las pruebas y finalmente multiplicado por las 30 pruebas realizadas tanto de Favoreciendo la Colaboración como Colaboración Libre.

$$\text{audios} = (2 * 10) * 30 = 600$$

Una vez de obtuvo los tiempos efectivos de comunicación segmentado por selección y manipulación se dio paso calcular las métricas planteadas en la sección 3.2.7 que se describen las Métrica Generalizadas.

4.2.4 Población para la validación experimental.

Para la validación experimental de la propuesta se consiguió reunir un total de 30 voluntarios que hicieron parte del experimento, haciendo un total de 15 parejas. La edad de los participantes estaba comprendida entre los 22 y 32 años, con un promedio de 25 años.

No se buscó ninguna paridad de géneros, y es por ello que cualquiera podía hacer parte de la experimentación, que contó con un 80% de los participantes hombres, y un 20% de mujeres. Es importante mencionar que el entorno virtual da la posibilidad de poder seleccionar su mano preferencial, (zurdo o diestro), pero se dio el caso que todos los participantes que hicieron parte fueron diestros. Con respecto a los problemas de visión, solo el 13% de los participantes presentaban problemas de Miopía, además, el 10% de Astigmatismo y el 60% restante no presentaba ningún problema. De los participantes el 33% de los participantes ponderaron una disposición para el trabajo de 4 en una escala de Likert 1 a 5, así mismo, el 57% indicó un grado 5 puntos, el restante representó una indicación de tres.

4.3 Resultados del proceso de validación experimental en la Selección

En las siguientes subsecciones presentaremos el resumen de los resultados obtenidos de nuestro estudio, Para observar más detalles sobre estos resultados diríjase al Anexo B del documento de Anexos en donde se encuentra consignado toda la información completa de los resultados.

Este análisis estadístico pretende corroborar basado en el conjunto de métricas propuestas si existe alguna diferencia significativa en el grado de colaboración en esta actividad para los escenarios establecidos. Para ello, como primera medida se vio necesario realizar una prueba de normalidad para determinar qué estudio estadístico utilizar, si las dos muestras son normales se utilizó *T-Student* en cualquier otro caso se utilizó *Wilcoxon*, cualquiera de las dos pruebas se aplicó para muestras relacionadas. A continuación se plantean las hipótesis H1 y H2 que hacen referencia la hipótesis nula y la hipótesis alterna respectivamente en las cuales recaerán las métricas según sea su condición.

H1= La métrica calculada en el escenario de Favoreciendo la Colaboración no posee una diferencia significativa a la métrica calculada en el escenario de Colaboración Libre.

A partir del resultado de la prueba estadística, se definirá la probabilidad de rechazo de la Hipótesis H1, dando paso a siguiente hipótesis alterna:

H2 = La métrica calculada en el escenario de Favoreciendo la Colaboración posee una diferencia significativa con respecto a la métrica calculada en el escenario de Colaboración Libre.

Para investigaciones actuales se acepta como referencia una significancia estadística del 95%, lo cual implica un porcentaje de error del 5%, por lo que el P-valor debe ser menor a 0.05, es decir que para la aceptación de la H1 o hipótesis nula P-valor debe mayor de 0.05 si no es así, dará paso a la aceptación de la H2 o hipótesis alterna [71].

De esta manera se obtuvo los valores estadísticos (P-valor) tanto para la selección como para manipulación en las tablas 20 y 21 reflejan los valores de la prueba estadística.

Tabla 20. Análisis estadístico para las métricas de Selección

	Métrica	Instancia	P-valor estadístico
Selección	Precisión	Precisión de la Selección	0,042
		Seleccionados	0,038
		Error de Selección	0,513
		Tiempo de Selección	0,658
		Tiempo de Interacción Real	0,833
	Inmersión	Sentido de Presencia	0,670
		Paralelo a la Realidad 1	0,039
		Paralelo a la Realidad 2	0,714
		Coopresencia 1	0,806
		Coopresencia 2	0,486
		Conciencia	1,000
	Usabilidad	Facilidad de Uso	0,035
		Eficiencia 1	0,166
		Eficiencia 2	0,684
		Facilidad de Aprendizaje	0,298
		Naturalidad	0,512
		Confort 1	0,744
		Confort 2	0,876
	Cooperación	Esfuerzo de Colaboración 1	0,130
		Esfuerzo de Colaboración 2	0,582
Coordinación		0,036	
Comunicación en la Selección		0,882	

Tabla 21. Análisis estadístico para las métricas de Manipulación

	Métrica	Instancia	P-valor estadístico
Manipulación	Precisión	Precisión de Posición	0,320
		Precisión de Rotación	0,705
		Tiempo de Manipulación	0,776
		Tiempo de Interacción Real	0,349
	Inmersión	Sentido de Presencia	0,670
		Paralelo a la Realidad 1	0,039
		Paralelo a la Realidad 2	0,714
		Coopresencia 1	0,806
		Coopresencia 2	0,486
		Conciencia	1,000
	Usabilidad	Facilidad de Uso	0,082
		Eficiencia 1	0,253
		Eficiencia 2	0,061
		Facilidad de Aprendizaje	0,914
		Naturalidad	0,469
		Confort 1	0,135
		Confort 2	0,484
	Cooperación	Esfuerzo de Colaboración 1	0,856
		Esfuerzo de Colaboración 2	0,582
		Coordinación	0,150
Comunicación		0,321	

P-valor estadístico hace referencia al nivel de diferencia existente entre las dos condiciones Colaboración Favorecida y Colaboración Libre si el P-valor $< 0,05$ existe diferencia significativa en caso contrario no existe una diferencia estadísticamente significativa.

4.3.1 Rendimiento

Los resultados obtenidos para esta métrica los podemos evidenciar en la Figura 28. Como análisis preliminar podemos intuir por el aspecto de la gráfica una leve diferencia visual, pero esto no implica necesariamente una diferencia estadísticamente significativa, por lo que entraremos a revisar brevemente cada una de las instancias teniendo en cuenta el estudio estadístico realizado.

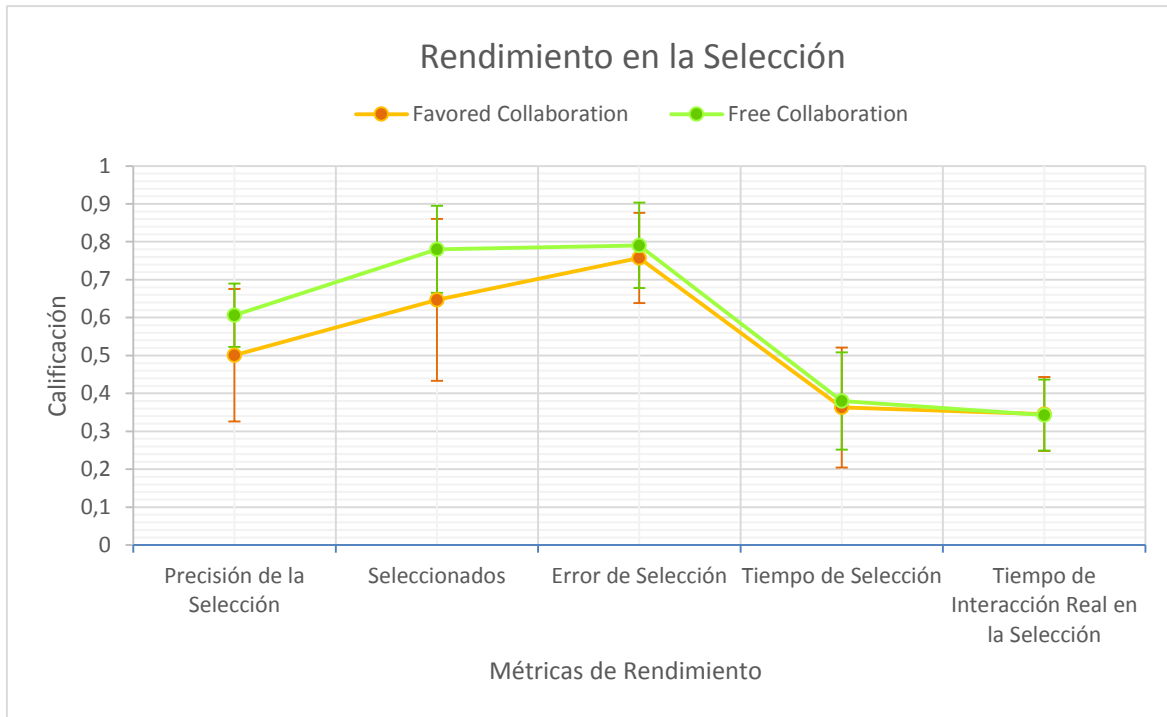


Figura 25. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre del rendimiento en la Selección

Para *Precisión de selección* y *Seleccionados* la prueba estadística arrojó valores de 0,042 y 0,038 respectivamente indicando que su significancia es por debajo del margen de error que es del 0,05 por lo que se considera que hay una diferencia significativa, de forma contraria las instancias *Error de Selección*, *Tiempo de Selección* y *Tiempo de Interacción Real en la Selección* la prueba estadística arrojó valores muy superiores a 0,05 por lo que se concluye que estadísticamente NO hay diferencia significativa.

4.3.2 Inmersión

En la Figura 28 encontramos los resultados obtenidos para esta métrica, en la que se puede apreciar un comportamiento en términos generales bastante uniforme exceptuando la instancia *Paralelo a la Realidad 1* para la que si se mira una clara diferencia en sus calificaciones.

Aplicando el estudio estadístico obtuvimos como resultado el valor 0,039 indicando que la instancia *Paralelo a la Realidad 1 efectivamente* tiene una diferencia estadísticamente significativa, por el contrario las demás instancias a pesar de que en el grafico se pueda apreciar una leve diferencia estadísticamente no es significativa

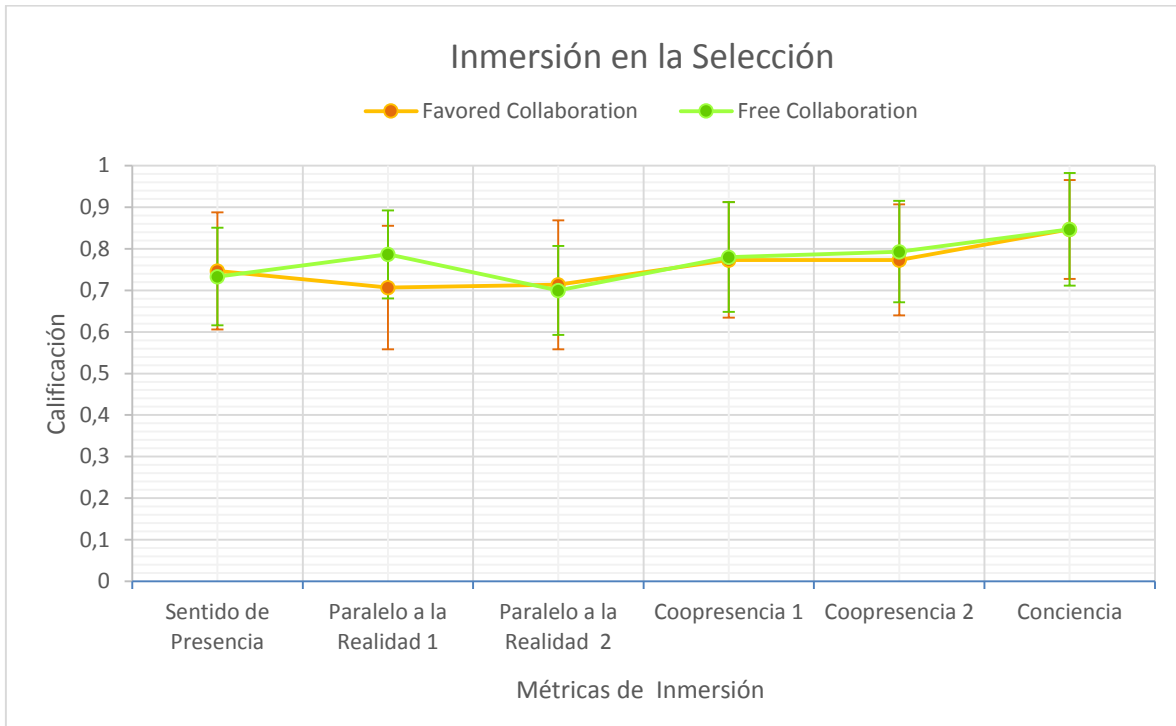


Figura 26. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Inmersión en la Selección

4.3.3 Usabilidad

En la Usabilidad se obtuvieron los siguientes resultados Figura 30, en esta grafica podemos observar que la instancia de *facilidad de uso* es el componente o instancia como la llamamos con más diferencia aparentemente, al hacer la prueba estadística correspondiente para esta métrica nos dio como resultado el valor de 0,035 lo cual nos indica que si existe diferencia estadísticamente significativa lo cual no ocurre para el resto de la instancias a pesar de que el gráfico se aprecia una leve diferencia no es lo suficiente grande para considerarse significativa.

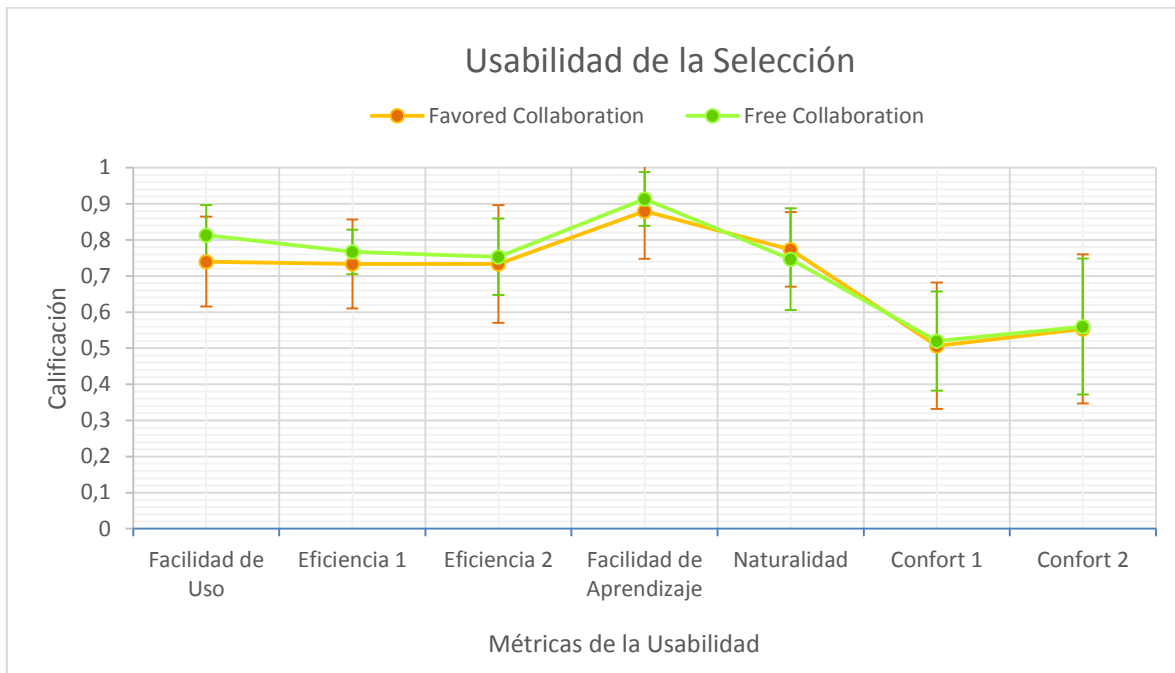


Figura 27. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Usabilidad en la Selección

4.3.4 Cooperación

De igual modo los resultados para esta métrica, se pueden evidenciar en la Figura 31, los resultados estadísticos obtenidos para esta métrica favorecen a la instancia llamada coordinación la cual su valor estadístico fue de 0,036 evidenciando que existe diferencia significativa, para el resto de las instancias no ocurre a pesar de que se logre evidenciar en el grafico una considerable diferencia estadísticamente no es suficiente.

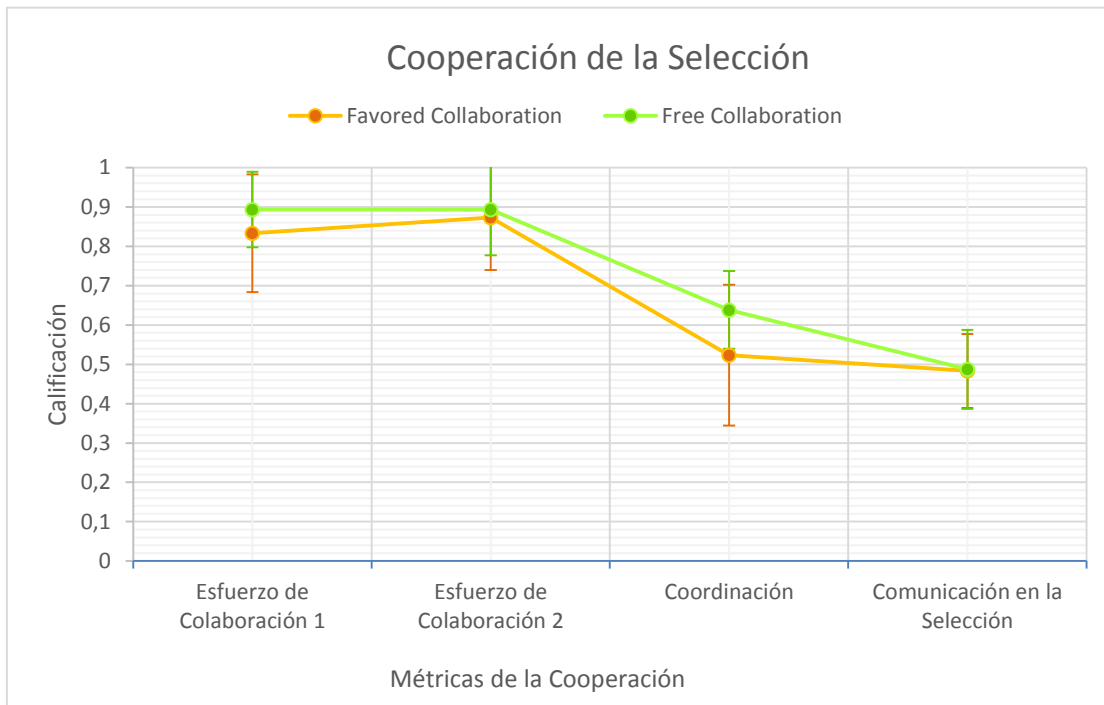


Figura 28. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Cooperación en la Selección

4.4 Resultados del proceso de validación experimental **Manipulación**

4.4.1 Rendimiento

Los resultados obtenidos para esta métrica los podemos evidenciar en la Figura 32, como análisis preliminar podemos intuir por el aspecto de la gráfica una leve diferencia visual, pero esto no implica necesariamente una diferencia estadísticamente significativa, por lo que entraremos a revisar brevemente cada una de las instancias teniendo en cuenta el estudio estadístico realizado.

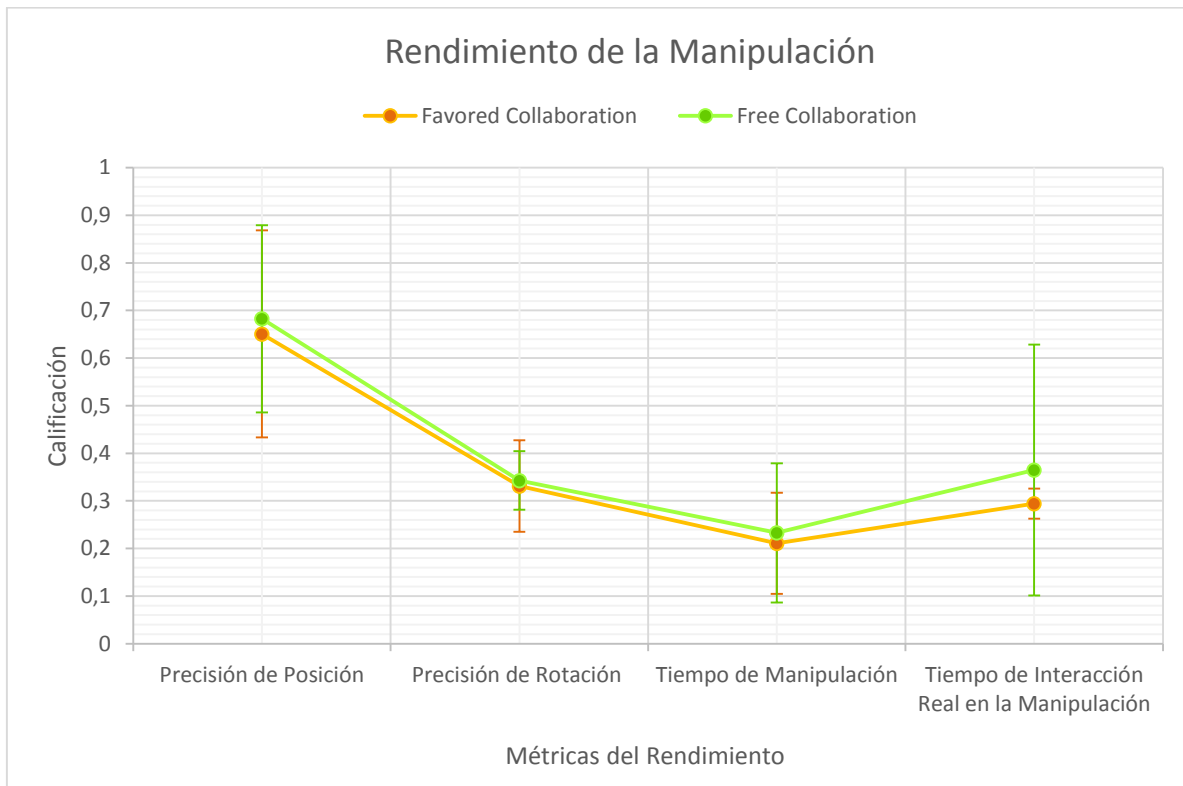


Figura 29. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre del rendimiento en la Manipulación

Al aplicar la prueba estadística obtuvimos como resultados para cada una de las instancias valores por encima del lumbral de error es decir mayor a 0,05 por lo que para ninguna de las instancias se encuentra una clara diferencia significativa estadísticamente hablando.

4.4.2 Inmersión

En la Figura 33 encontramos los resultados obtenidos para esta métrica, en la que se puede apreciar un comportamiento en términos generales bastante uniforme exceptuando la instancia *Paralelo a la Realidad 1* para la que si se mira una clara diferencia en sus calificaciones.

Aplicando el estudio estadístico obtuvimos como resultado el valor 0,039 indicando que la instancia *Paralelo a la Realidad 1 efectivamente* tiene una diferencia estadísticamente significativa, por el contrario las demás instancias a pesar de que en el grafico se pueda apreciar una leve diferencia estadísticamente no es significativa

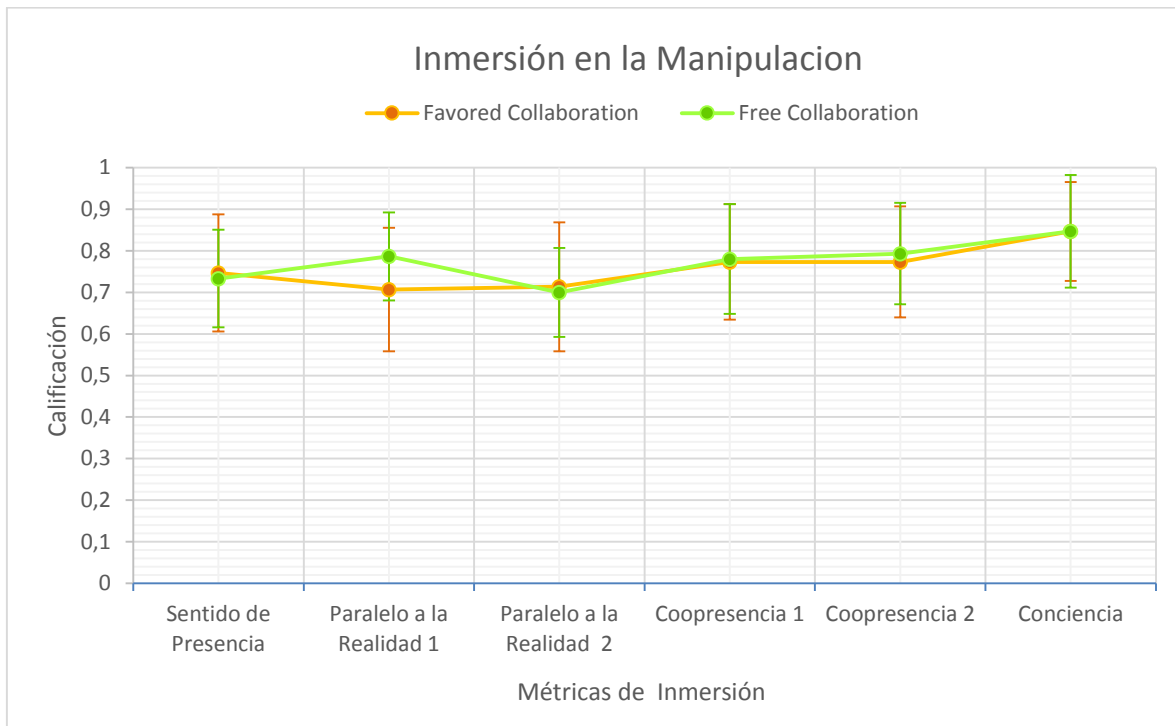


Figura 30. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Inmersión en la Selección

4.4.3 Usabilidad

En la Usabilidad se obtuvieron los siguientes resultados Figura 34, Al hacer la prueba estadística correspondiente para esta métrica nos arrojó como resultado valores por encima del margen de error lo cual nos indica que NO existe diferencia estadísticamente significativa para ninguna de las instancias que comprenden la métrica, si bien es cierto la gráfica muestra nuestra visualmente diferencias en algunas instancias como *facilidad de uso*, *Eficiencia 1*, *Eficiencia 2* y *Confort 1no alcanzan a ser suficientes para considerarse diferencias significativas*

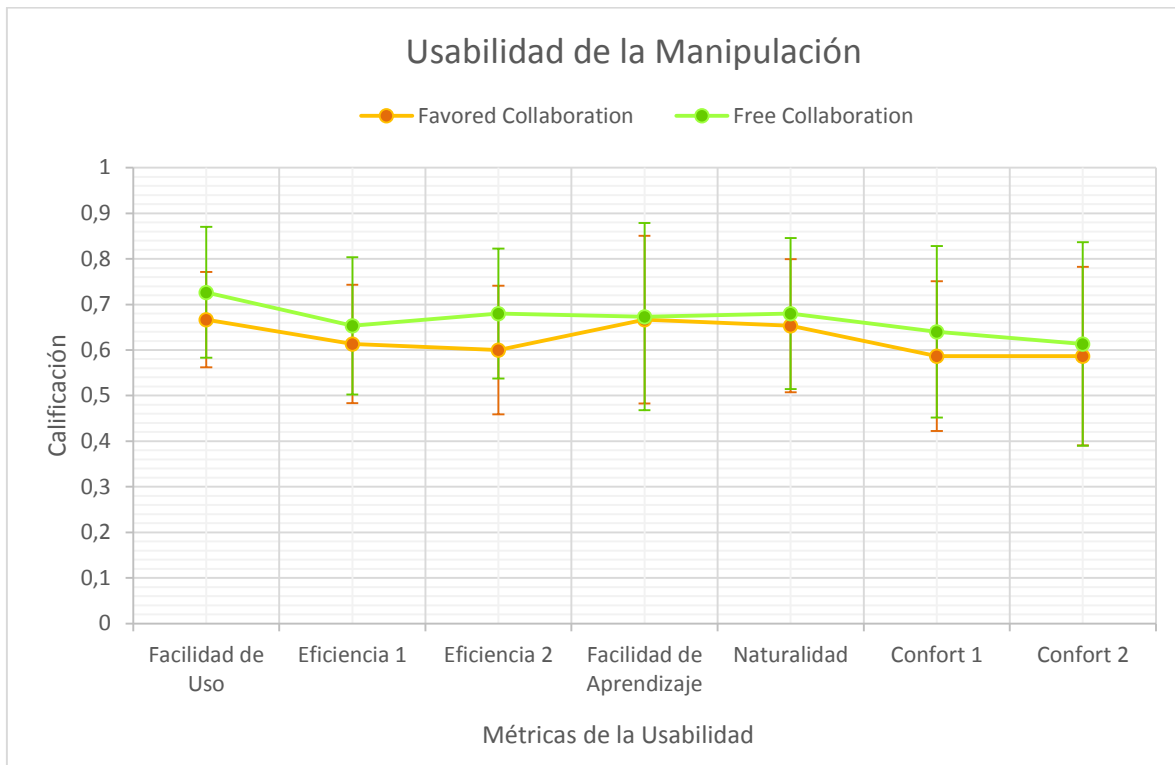


Figura 31. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Usabilidad en la Selección

4.4.4 Cooperación

De igual modo los resultados para esta métrica, se pueden evidenciar en la Figura 35. Al hacer la prueba estadística correspondiente para esta métrica nos arrojó como resultado valores por encima del margen de error lo cual nos indica que NO existe diferencia estadísticamente significativa para ninguna de las instancias que comprenden la métrica, si bien es cierto en la gráfica se puede evidenciar una leve variación, esta no es estadísticamente significativa.

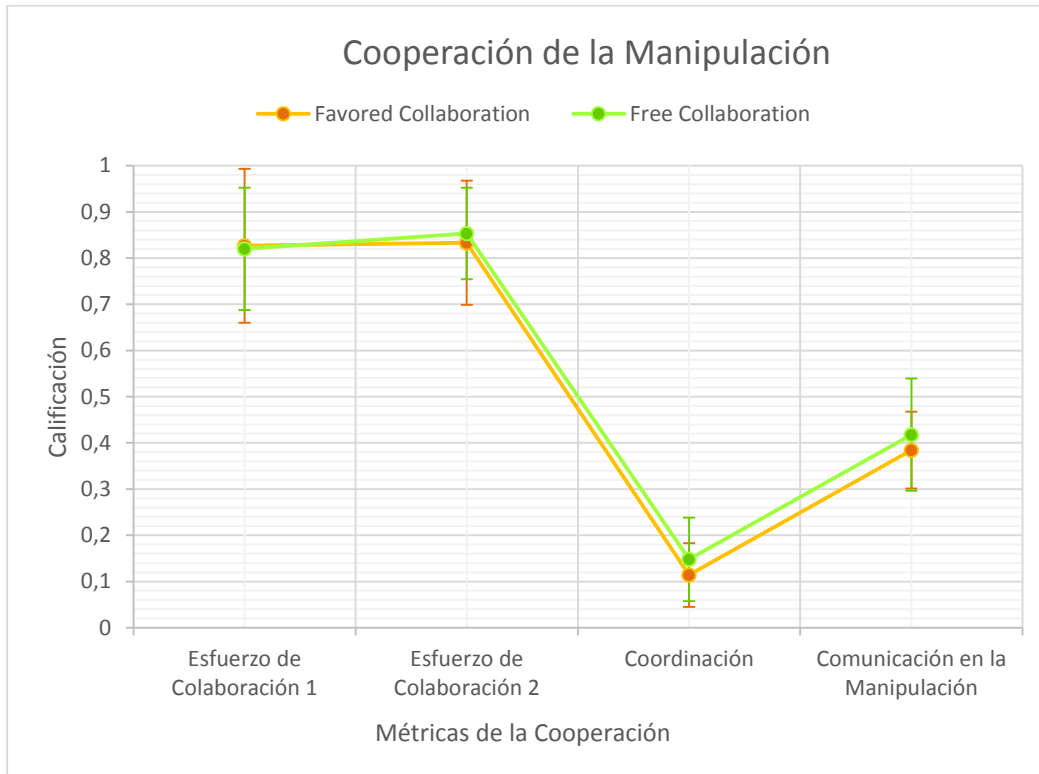


Figura 32. Grafico comparativo, Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre de Cooperación en la Selección

CAPÍTULO 5. Conclusiones y recomendaciones.

En este capítulo se plasmas las conclusiones que se lograron de los procesos metodológicos de la investigación, como son: caracterización de las técnicas más importantes, además, de la exploración, identificación y refinamiento de un conjunto de métricas que llevan como intención determinar en los CVE cómo se comporta puntualmente la colaboración en una de las actividades más comunes dentro de estos entornos, como lo es la selección y la manipulación, y para ello se diseñó e implemento un prototipo para la validación experimental del conjunto de métricas propuesto.

Por medio de este estudio se logró caracterizar propiedades, conceptos y técnicas relevantes en la selección y manipulación de objetos, para poder sintetizar aspectos importantes de los cuales depende directamente la colaboración, logrado así, una gran cantidad de conocimientos y generando una base conceptual para las métricas y el diseño de un CVE.

Algunos de los conceptos más importantes que se encontraron tras esta revisión bibliográfica fueron la comunicación, facilidad de uso, rendimiento, entre otras, así como también las técnicas más robustas utilizadas como Ray-Casting, HOMER y Virtual Hand.

Se identificaron los referentes de valor más relevantes para el desarrollo de esta investigación, donde se destacan los estudios realizados por Bowman [12], [13], [32] en la parte de medidas en la selección y manipulación de objetos, y Collazos [28] que proporcionó una organización y un referente de evaluación mediante sus indicadores de cooperación, permitiendo adaptar las métricas ya propuestas y así construir las métricas de colaboración que permitan medir el grado de colaboración en una tarea de selección y manipulación de objetos 3D.

El desarrollo de este proyecto permitió proponer con conjunto de métricas que permiten evaluar la colaboración en una actividad de selección y manipulación de objetos 3D.

Se logró identificar y definir un conjunto de métricas, basada en una amplia revisión de la literatura en áreas como la interacción 3D y procesos colaborativos, donde se obtuvo un conglomerado de 95 posibles métricas, las cuales se llevaron a un profundo análisis para lograr un refinamiento adecuado, que representaran la esencia de la colaboración, consiguiendo así definir 4 métricas como son: Rendimiento, Inmersión, Usabilidad y Cooperación.

Se diseñó una tarea de selección y manipulación colaborativa, para ser utilizada por dos personas, esto por las limitaciones en cuanto a equipos disponibles para tal fin. Basados en esta tarea colaborativa se diseñó un prototipo funcional de una entorno virtual colaborativo basado en un sistema anteriormente construido por el director de tesis para la validación experimental, la cual fue ejecutada por 15 parejas quienes tenían que cumplir con objetivos específicos en determinado tiempo con el fin de aplicar las métricas propuestas para dos casos particulares como colaboración libre y favoreciendo la colaboración.

La experimentación realizada permite mostrar cómo implementar las métricas definidas en una actividad particular con dos escenarios de colaboración (Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre).

Se incorporó en el diseño de la actividad aspectos básicos de Gamificación como componentes y mecanismo, que dentro de ellos están: los desafíos, realimentación, turnos y estado de éxito, así mismo, avatares, el componente social y el componente de equipos.

Se muestra mediante la aplicación de las métricas en la tarea selección y manipulación de objetos, cómo evaluar la métrica de rendimiento mediante las instancias de: precisión de la selección, seleccionados, error de selección, tiempo de selección, tiempo de interacción real en la selección, precisión de posición, precisión de rotación, tiempo de manipulación, tiempo de interacción real en la manipulación, además de la inmersión mediante: sentido de presencia, paralelo a la realidad, co-presencia, conciencia, así mismo en usabilidad mediante: facilidad de uso, eficiencia, facilidad de aprendizaje, naturalidad, confort; y cooperación mediante las instancias de: esfuerzo de colaboración, coordinación, comunicación en la selección y comunicación en la manipulación.

Se calculó las métricas mediante la utilización de registros de archivos log, cuestionarios y material audio visual para posteriormente ser comparadas mediante un test estadístico buscando determinar algunas diferencias significativas existente entre las dos condiciones (Favoreciendo la Colaboración y Colaboración Libre).

Algunos aspectos importantes que son necesarios mencionar en este apartado, es el hecho de que algunas de las métricas propuestas no evidenciaron para el caso de estudio particular una diferencia significativa, lo cual nos lleva a pensar que las tareas propuestas da igual si se hacen de forma colaborativa o no, pero esto no es del todo cierto, ya que por la particularidad de la tarea, puede influir el grado de complejidad llevando a que las métricas propuestas se comporten de esta manera, llegando a concluir que tiene el mismo grado de colaboración.

El estudio realizado cumplió ampliamente nuestras expectativas y objetivos que se trazaron para esta tesis, por lo que no queda más que mencionar bajo nuestra experiencia y conocimientos adquiridos, posibles mejoras para posteriores trabajos que serán descritos a continuación.

Es de vital importancia para los futuros investigadores en CVE en general contar en la medida de lo posible con herramientas de un buen rendimiento y de última generación ya que esto impacta directamente la comodidad y concentración de los participantes afectando la fiabilidad de los datos obtenidos. De igual modo, en la prueba experimental que se realizó los participantes ocasionalmente expresaban su inconformidad por detalles en cuanto a aspectos puntuales del interfaz de la tarea, evidenciados en los audios capturados que se pueden encontrar en la Carpeta 3. Todos estos aportes de los participantes son importantes por lo que sería interesante hacer un análisis de ello para una posterior versión de la tarea.

Si bien es cierto que se realizó un caso de estudio para aplicar las métricas propuestas, ya que en la actualidad no se encontró sistemas que implementaran la colaboración

puntualmente a la selección y manipulación, estas métricas han sido diseñadas para poder ser aplicadas a cualquier tarea de selección y manipulación por lo que es pertinente mencionar que se puede seguir trabajando con algunas variaciones que este estudio no considera, como lo es el trabajo colaborativo con más de dos usuarios.

Así mismo, se puede considera ampliar el conjunto de métricas considerando evaluaciones emotivas y satisfacción del usuario.

También es posible ampliar el estudio experimental de esta propuesta usando diferentes metáforas de selección y manipulación, así mismo, con diversas técnicas de selección y manipulación, para generar un banco de pruebas y determinar el impacto de éstas en una tarea de selección y manipulación colaborativa. Por otra parte se puede incluir otras tareas de selección y manipulación.

Por otra parte como ya se mencionó en las conclusiones no fue posible concluir la parte de manipulación debido a que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, teniendo en cuenta que solo se utilizó un caso de estudio se puede llegar a pensar que la complejidad y el tamaño de las muestras no son suficientes para llegar a una conclusión o por otra parte que las métricas nos son aplicables a la manipulación.

REFERENCIAS

- [1] J. L. Giannandrea and J. Vargas, "Interfaces de Usuario 3D," 2011.
- [2] D. A. Bowman, E. Kruijff, J. J. Laviola Jr, and I. Poupyrev, "An Introduction to 3-D User Interface Design," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 10, no. 1, pp. 96–108, 2001.
- [3] A. S. García Jiménez, "Estudio y mejoras de la interacción en entornos virtuales colaborativos.," Universidad de Castilla la Mancha, Tesis Doctoral, 2010.
- [4] J. M. A. Juan Manuel González Calleros, "CUDI 2013," *Desarrollo Basado en Modelos para Interfaces 3D*, 2013. .
- [5] G. Lu, L.-K. Shark, G. Hall, and U. Zeshan, "Immersive manipulation of virtual objects through glove-based hand gesture interaction," *Virtual Real.*, vol. 16, no. 3, pp. 243–252, Aug. 2012.
- [6] J. Jankowski and M. Hachet, "A Survey of Interaction Techniques for Interactive 3D Environments," in *Eurographics 2013 - State of the Art Reports*, 2013, pp. 65–93.
- [7] H. Hrimech and F. Merienne, "Interaction and evaluation tools for collaborative virtual environment," *Int. J. Interact. Des. Manuf.*, vol. 4, no. 3, pp. 149–156, 2010.
- [8] E. F. Churchill and D. Snowdon, "Collaborative virtual environments: An introductory review of issues and systems," *Virtual Real.*, vol. 3, no. 1, pp. 3–15, 1998.
- [9] S. Benford, C. Greenhalgh, T. Rodden, and J. Pycock, "Collaborative virtual environments," *Commun. ACM*, vol. 44, no. 7, pp. 79–85, Jul. 2001.
- [10] C. Hand, "A Survey of 3D Interaction Techniques," *Comput. Graph. Forum*, vol. 16, no. 5, pp. 269–281, Dec. 1997.
- [11] M. R. Mine, "Collaborative virtual environment for feature based modeling," *Proc. ACM SIGGRAPH Int. Conf. Virtual Real. Contin. its Appl. Ind.*, pp. 120–126, 1995.
- [12] D. a. Bowman and L. F. Hodges, "An evaluation of techniques for grabbing and manipulating remote objects in immersive virtual environments," in *Proceedings of the 1997 symposium on Interactive 3D graphics - SI3D '97*, 1997, p. 35–ff.
- [13] D. A. Bowman, D. B. Johnson, and L. F. Hodges, "Testbed Evaluation of Virtual Environment Interaction Techniques," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 10, no. 1, pp. 75–95, 2001.

- [14] M. S. Pinho, D. A. Bowman, and C. M. D. S. Freitas, "Cooperative object manipulation in collaborative virtual environments," *J. Brazilian Comput. Soc.*, vol. 14, no. 2, pp. 54–67, 2008.
- [15] M. S. Pinho, D. A. Bowman, and C. M. D. S. Freitas, "Cooperative object manipulation in immersive virtual environments: Framework and Techniques," in *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology - VRST '02*, 2002, pp. 171–178.
- [16] M. S. Pinho, D. A. Bowman, and C. M. D. S. Freitas, "Cooperative Object Manipulation in Immersive Virtual Environments," in *Anais do XXIII Congresso da Sociedade Brasileira de Computação.*, 2003, pp. 81–87.
- [17] D. A. Bowman, S. Coquillart, B. Froehlich, M. Hirose, Y. Kitamura, K. Kiyokawa, and W. Stuerzlinger, "3D User Interfaces: New Directions and Perspectives," *Comput. Graph. Appl. IEEE*, vol. 28, no. 6, pp. 20–36, 2008.
- [18] T. Duval and C. Fleury, "An asymmetric 2D Pointer/3D Ray for 3D interaction within collaborative virtual environments," in *Proceedings of the 14th International Conference on 3D Web Technology*, 2009, vol. 1, no. 212, pp. 33–41.
- [19] P. Antunes, V. Herskovic, S. F. Ochoa, and J. A. Pino, "Structuring dimensions for collaborative systems evaluation," *ACM Comput. Surv.*, vol. 44, no. 2, pp. 1–28, 2012.
- [20] L. Guerrero, R. Alarcón, and C. Collazos, "Indicadores de cooperación en el trabajo grupal," *Memorias la Conf. Latinoam. Informática, CLEI 2000*, 2000.
- [21] S. Ochoa and C. Collazos, "Una técnica de evaluación colaborativa soportada por computador para escenarios de educación superior," *IX Congr. Int. Interacción*, p. 10, 2008.
- [22] I. Muñoz, E. Daza, and P. Máge, "Identificación y Selección de Mecanismos de Awareness para soportar MOCET en un Entorno Colaborativo Distribuido.," *dcc.uchile.cl*, 2009.
- [23] C. A. Collazos, L. A. Guerrero, J. A. Pino, S. Renzi, J. Klobas, M. Ortega, M. A. Redondo, and C. Bravo, "Evaluating Collaborative Learning Processes using System-based Measurement," *Educ. Technol. Soc.*, vol. 10, no. 3, pp. 257–274, 2007.
- [24] N. Zea, J. Sánchez, F. Gutiérrez, and C. Collazos, "Un método de Evaluación de la Colaboración para Procesos de Aprendizaje Soportado por Videojuegos," 2009.
- [25] Carina Gonzalez, *Student Usability in Educational Software and Games: Improving Experiences*. 2013, p. 439.

- [26] R. B. Johnson and a. J. Onwuegbuzie, "Mixed Methods Research: A Research Paradigm Whose Time Has Come," *Educ. Res.*, vol. 33, no. 7, pp. 14–26, Oct. 2004.
- [27] C. Collazos and L. Guerrero, "A method for evaluating computer-supported collaborative learning processes," *Int. J. ...*, vol. 19, pp. 151–161, 2004.
- [28] C. A. Collazos, "Una metodología para el apoyo computacional de la evaluación y monitoreo en ambientes de aprendizaje colaborativo," Universidad de Chile, Escuela de Posgrado, 2003.
- [29] S. Burigat and L. Chittaro, "Navigation in 3D virtual environments: Effects of user experience and location-pointing navigation aids," *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, no. August 2007, 2007.
- [30] H. Hrimech, L. Alem, and F. Merienne, "How 3D Interaction Metaphors Affect User Experience in Collaborative Virtual Environment," *Adv. Human-Computer Interact.*, vol. 2011, pp. 1–11, 2011.
- [31] I. Poupyrev and T. Ichikawa, "Manipulating objects in virtual worlds: categorization and empirical evaluation of interaction techniques," *J. Vis. Lang. Comput.*, vol. 10, no. 1, pp. 19–35, Feb. 1999.
- [32] D. A. Bowman, "Interaction Techniques For Common Tasks In Immersive Virtual Environments Design, Evaluation, and Application.," Georgia Institute of Technology, 1999.
- [33] C. Collazos and L. Guerrero, "Evaluating collaborative learning processes," *Springer-Verlag Berlin Heidelb.*, pp. 203–221, 2002.
- [34] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, "Ieee standard glossary of software engineering terminology," vol. 121990, p. 84, 1990.
- [35] D. Neale, J. Carroll, and M. Rosson, "Evaluating computer-supported cooperative work: models and frameworks," *Proc. 2004 ACM Conf. Comput. Support. Coop. Work*, pp. 112–121, 2004.
- [36] S. R. Haynes, S. Purao, and A. L. Skattebo, "Situating evaluation in scenarios of use," in *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work*, 2004, pp. 92–101.
- [37] J. A. A. M, D. F. M. R, and J. Moreno, "Evaluando y Monitoreando Actividades Colaborativas en Dispositivos Móviles.," *IX Congr. Int. Interacción*, vol. 5, no. 1, 2008.
- [38] A. De Lucia, R. Francese, I. Passero, and G. Tortora, "SLMeeting: supporting collaborative work in Second Life," in *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, 2008, pp. 301–304.

- [39] T. Kim, A. Chang, L. Holland, and A. Pentland, "Meeting mediator: enhancing group collaboration with sociometric feedback," *CHI'08 Ext. Abstr. Hum. Factors Comput. Syst.*, pp. 3183–3188, 2008.
- [40] F. Argelaguet and A. Kunert, "Improving co-located collaboration with show-through techniques," *3D User Interfaces (3DUI), 2010 IEEE Symp.*, pp. 55–62, Mar. 2010.
- [41] M. S. Pinho and C. Freitas, "Cooperative and Simultaneous Object Manipulation in Collaborative Virtual Environments," in *IEE Workshop on the Future of VR and AR Interfaces, 2001*, 2001.
- [42] L. Aguerreche, "Comparison of three interactive techniques for collaborative manipulation of objects in virtual reality," *CGI 2010 (Computer Graph. Int.*, vol. 2010, pp. 1–4, 2010.
- [43] R. a. Ruddle, J. C. D. Savage, and D. M. Jones, "Symmetric and asymmetric action integration during cooperative object manipulation in virtual environments," *ACM Trans. Comput. Interact.*, vol. 9, no. 6, pp. 285–308, Nov. 2002.
- [44] R. Schroeder, A. Steed, and A. Axelsson, "Collaborating in networked immersive spaces: as good as being there together?," *Comput. ...*, vol. 25, no. 5, pp. 781–788, Oct. 2001.
- [45] F. J. Pino, F. García, and M. Piattini, "Software process improvement in small and medium software enterprises: a systematic review," *Softw. Qual. J.*, vol. 16, no. 2, pp. 237–261, Nov. 2007.
- [46] Real Academia Española, "Diccionario de la Lengua Española," 2015. .
- [47] A. Forsberg, K. Herndon, and R. Zeleznik, "Aperture Based Selection for Immersive Virtual Environments," *Proc. 9th Annu. ACM Symp. User interface Softw. Technol.*, pp. 95–96, 1996.
- [48] J. Oh and W. Stuerzlinger, "Moving objects with 2D input devices in CAD systems and Desktop Virtual Environments," *Proc. Graph. Interface 2005*, pp. 195–202, 2005.
- [49] A. Steed and C. Parker, "Evaluating effectiveness of interaction techniques across immersive virtual environmental systems," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, pp. 511–527, 2005.
- [50] J.-Y. Oh, W. Stuerzlinger, and D. Dadgari, "Group Selection Techniques for Efficient 3D Modeling," in *3D User Interfaces (3DUI'06)*, 2006, pp. 95–102.
- [51] A. Kadri, A. Lecuyer, J.-M. Burkhardt, and S. Richir, "The Influence of Visual Appearance of User's Avatar on the Manipulation of Objects in Virtual Environments," *2007 IEEE Virtual Real. Conf.*, pp. 291–292, 2007.

- [52] A. García and J. Molina, "Enhancing collaborative manipulation through the use of feedback and awareness in CVEs," *Proc. 7th ACM SIGGRAPH Int. Conf. Virtual-Reality Contin. Its Appl. Ind. ACM.*, p. 32, 2008.
- [53] R. Schmidt, "Sketching and composing widgets for 3d manipulation," *Comput. Graph. Forum*, vol. 27, no. 2, pp. 301–310, Apr. 2008.
- [54] M. Hancock, T. Ten Cate, and S. Carpendale, "Sticky tools: full 6DOF force-based interaction for multi-touch tables," *Proc. ACM ...*, pp. 133–140, 2009.
- [55] F. Argelaguet and C. Andujar, "A survey of 3D object selection techniques for virtual environments," *Comput. Graph.*, vol. 37, no. 3, pp. 121–136, May 2013.
- [56] S. Fussell, R. Kraut, and J. Siegel, "Coordination of communication: Effects of shared visual context on collaborative work," ... *2000 ACM Conf. ...*, 2000.
- [57] L. Setlock, S. Fussell, and C. Neuwirth, "Taking it out of context: collaborating within and across cultures in face-to-face settings and via instant messaging," ... *2004 ACM Conf. ...*, 2004.
- [58] A. Martinet, G. Casiez, and L. Grisoni, "The design and evaluation of 3d positioning techniques for multi-touch displays," *3D User Interfaces (3DUI)*, ..., pp. 115–118, Mar. 2010.
- [59] M. M. Montoya, A. P. Massey, and N. S. Lockwood, "3D Collaborative Virtual Environments: Exploring the Link between Collaborative Behaviors and Team Performance," *Decis. Sci.*, vol. 42, no. 2, pp. 451–476, May 2011.
- [60] M. Prachyabrued and C. Borst, "Dropping the ball: Releasing a virtual grasp," *3D User Interfaces (3DUI), 2011 ...*, 2011.
- [61] R. Kopper, F. Bacim, and D. a. Bowman, "Rapid and accurate 3D selection by progressive refinement," *2011 IEEE Symp. 3D User Interfaces*, pp. 67–74, Mar. 2011.
- [62] J. Cashion, C. Wingrave, and J. J. LaViola, "Dense and dynamic 3D selection for game-based virtual environments.," *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 18, pp. 634–42, 2012.
- [63] K. Yatani, D. Gergle, and K. Truong, "Investigating effects of visual and tactile feedback on spatial coordination in collaborative handheld systems," *Proc. ACM 2012 Conf. Comput. Support. Coop. Work - CSCW '12*, p. 661, 2012.
- [64] M. Ortega, "Hook: Heuristics for selecting 3D moving objects in dense target environments," *3D User Interfaces (3DUI), 2013 IEEE Symp. ...*, 2013.

- [65] D. A. Bowman, J. L. Gabbard, and D. Hix, "A Survey of Usability Evaluation in Virtual Environments: Classification and Comparison of Methods," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 11, no. 4, pp. 404–424, Aug. 2002.
- [66] L. Aguerreche, T. Duval, and A. Lécuyer, "Short paper: 3-Hand Manipulation of Virtual Objects," in *JVRC 2009*, 2009, p. 4 p.
- [67] ISO, "ISO 9241-11:1998 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)," 1998. [Online]. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-11:ed-1:v1:en>. [Accessed: 15-Aug-2014].
- [68] D. W. J.-R. T. Johnson and E. J. Holubec, "Cooperatiae Learning in the Classroom," Reprint., Editorial Paidós, 1999, p. 146.
- [69] G. Goebbels, V. Lalioti, and M. Göbel, "Design and evaluation of team work in distributed collaborative virtual environments," ... *ACM Symp. Virtual ...*, pp. 231–238, 2003.
- [70] M. Veit, "An experimental analysis of the impact of touch screen interaction techniques for 3-d positioning tasks," *Virtual Real. Conf. ...*, pp. 75–82, Mar. 2011.
- [71] M. Rubio and V. Berlanga, "Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico," *REIRE, Rev. d'Innovació i Recer. en Educ.*, vol. 5, pp. 83–100, 2012.