

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D



KLAUSS SHEFFIELD RENDÓN MUÑOZ  
JHON FREDY PAZ PINO

Monografía para optar al título de  
Ingeniero de Sistemas

Director: Wilson Javier Sarmiento, PhD. (c).  
Grupo IDIS – Depto. Sistemas - FIET

Co-Director: Dr. César Alberto Collazos, PhD.  
Grupo IDIS – Depto. Sistemas - FIET

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

## Agradecimientos

*Deseamos agradecer principalmente a Dios, por estar presente en cada momento y guiarnos en esta gran importante etapa de nuestras vidas, por habernos bendecido con sabiduría para culminar con éxito nuestros estudios profesionales.*

*A nuestros familiares por su gran apoyo incondicional durante todo este proceso, por sus incalculables sacrificios en busca de nuestro bienestar, por guiarnos en la vida, por creer en nosotros y sembrarnos valores que hacen de nosotros unas grandes personas.*

*A nuestro director de tesis, PhD. (c) Wilson Javier Sarmiento, por su paciencia, gran apoyo y confianza, esenciales para nuestra formación como futuros profesionales, quien con sus conocimientos, experiencia y dedicación nos ha permitido llevar a feliz término la culminación de este trabajo de grado.*

*A nuestro codirector de tesis, PhD. Cesar Collazos por el valioso apoyo que nos brindó para realizar este proyecto.*

*A la Universidad del Cauca nuestra alma máter especialmente a la Facultad de Ingeniería Electrónica y telecomunicaciones, y a todos sus docentes que durante todos estos años participaron de nuestro crecimiento como estudiantes y formación personal.*

*A todos nuestros compañeros, amigos y conocidos con los que tuvimos el privilegio de compartir y disfrutar muchos momentos en el camino universitario.*

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO .....	III
LISTA DE TABLAS .....	V
LISTA DE FIGURAS .....	VI
Introducción .....	1
1.1 Motivación.....	2
1.2 Solución propuesta .....	4
1.3 Resumen de la propuesta.....	4
1.3.1 Objetivos .....	5
1.3.2 Planteamiento del problema.....	5
1.4 Estructura del documento .....	8
2 Marco teórico y trabajos relacionados .....	10
2.1 Marco teórico .....	10
2.1.1 CSCW .....	10
2.1.2 Actividad colaborativa .....	11
2.1.3 Realidad virtual y entornos virtuales colaborativos CVEs .....	14
2.1.4 Métrica, medida, medición e indicador .....	19
2.2 Trabajos relacionados.....	19
2.2.1 Evaluación de sistemas colaborativos.....	19
2.2.2 Evaluación de CVEs.....	21
2.2.3 Evaluación de navegación en CVEs .....	22
3 Métricas de evaluación de colaboración en navegación 3D .....	27
3.1 Referentes teóricos.....	27
3.1.1 Indicadores de colaboración en el trabajo grupal .....	27
3.1.2 Tres niveles de métricas para evaluar el planeamiento de rutas .....	28
3.2 Métricas de colaboración en navegación 3D .....	30
3.2.1 Desempeño .....	31
3.2.2 Aplicación de estrategias .....	32
3.2.3 Cooperación intragrupal .....	33
3.2.4 Coordinación .....	33
3.2.5 Orientación espacial.....	34

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

3.2.6	Inmersión .....	35
4	Metodología .....	36
4.1	Proceso metodológico para definir un conjunto de métricas que permitan evaluar el grado de colaboración en una tarea de navegación .....	36
4.1.1	Identificación de métricas utilizadas en el proceso de evaluación de colaboración y navegación en trabajos previos .....	36
4.1.2	Depuración de la información.....	38
4.2	Proceso metodológico para formular e implementar una tarea de navegación colaborativa en un entorno virtual 3D, para ser usada en una evaluación experimental.....	38
4.2.1	Diseño de la tarea de navegación colaborativa.....	38
4.2.2	Implementación del Entorno Virtual Colaborativo (CVE).....	44
4.3	Proceso metodológico para evaluar las métricas propuestas en la tarea de navegación colaborativa.....	45
4.3.1	Hipótesis experimental .....	45
4.3.2	Métricas a ser validadas.....	46
4.3.3	Diseño del procedimiento .....	52
4.3.4	Dispositivos y equipos .....	54
4.3.5	Instrumentos y procesos de captura de datos.....	56
4.3.6	Población .....	57
5	Resultados.....	59
5.1	Métricas propuestas.....	59
5.2	Prototipo de navegación .....	60
5.2.1	Pruebas con usuarios.....	64
5.2.2	Análisis de resultados .....	69
6	Conclusiones y trabajo futuro .....	73
7	Referencias.....	77

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Organización de las carpetas en el DVD de entrega. ....	9
Tabla 2: Fuentes de información.....	36
Tabla 3: Métricas utilizadas en evaluación de colaboración. ....	37
Tabla 4: Métricas utilizadas en evaluación de navegación (Locomoción).....	37
Tabla 5: Métricas utilizadas en evaluación de navegación (Way finding). ....	37
Tabla 6: Métricas cuantitativas (objetivas). ....	59
Tabla 7: Métricas cuantitativas (subjetivas). ....	60
Tabla 8: Promedio del conjunto de métricas.....	68
Tabla 9: Resultados Estadísticos.....	70

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Tareas de interacción según Jankowski. Fuente: [37].	16
Figura 2: Taxonomía del proceso de planeamiento de rutas propuesto por Corrales. Fuente [38].	18
Figura 3: Conjunto de métricas propuesto para evaluación de navegación 3D.	31
Figura 4: Bocetos mundo virtual. a) boceto en papel, b) boceto digital.	40
Figura 5: Bocetos mundo virtual a) mapas, b) vista del usuario.	40
Figura 6: Grados o movimientos de libertad.	40
Figura 7: Vista del radar de los participantes. a) Lejos de la bandera, b) Cerca de la bandera.	41
Figura 8: Vista del mapa global de los participantes.	41
Figura 9: Vista del radar - minimapa local de los participantes.	42
Figura 10: Elementos visuales de jugabilidad.	44
Figura 11: Salón individual.	52
Figura 12: Evaluación Test 1	53
Figura 13: Evaluación Test 2	53
Figura 14: Mapas. a) Escenario 1 b) Escenario 2.	54
Figura 15: Dispositivos a) Smart Tv, b) Kinect, c) Auriculares, d) Controles Xbox360, e) Gafas pasivas 3D, f) CPU, g) Portátil.	54
Figura 16: Montaje realizado para la experimentación.	55
Figura 17: Participante con los elementos para la evaluación.	55
Figura 18: Arquitectura cliente servidor implementada para la evaluación distribuida.	56
Figura 19: Participantes en habitación 1 y 2.	56
Figura 20: Diagrama de Clases.	61
Figura 21: Prototipo de navegación colaborativa.	63
Figura 22: Prototipo final de navegación. Vista de usuarios.	63
Figura 23: Avatar del participante.	64
Figura 24: Usuarios en el experimento.	64
Figura 25: Graficas de Desempeño.	65
Figura 26: Graficas de Aplicación de estrategias.	66
Figura 27: Graficas de Cooperación intragrupal.	66
Figura 28: Graficas de Coordinación.	67
Figura 29: Grafica de Orientación espacial.	67
Figura 30: Promedio de métricas	68
Figura 31: Grado de colaboración en navegación.	69
Figura 32: Graficas de comparación de las medias de las métricas en las dos condiciones (C. F y C. L).	72

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## Introducción

La estrategia de trabajar en grupo es natural al ser humano, a lo largo de la historia ha sido bastante usada y gracias a ella la humanidad ha alcanzado logros importantes. Sin embargo, trabajar efectivamente de forma colaborativa no es una tarea fácil, para esto se hace necesario estructurar actividades con el fin de alcanzar un objetivo [1]. El trabajo colaborativo es un proceso que involucra el trabajo de varias personas en grupo, lo cual implica una interacción entre los miembros del equipo, que puede ser realizada de diferentes formas, dependiendo de la configuración temporal o espacial de la tarea. Entonces, el equipo puede trabajar en tiempo real ó de manera asíncrona, y también lo puede hacer en el mismo lugar ó en distintos lugares geográficos [2].

El trabajo colaborativo soportado por computador, en inglés *Computer-Supported Cooperative Work* (CSCW), estudia y analiza mecanismos de coordinación para una comunicación y colaboración más efectiva entre las personas que trabajan como equipo en una tarea en común [3]. Los sistemas colaborativos permiten a las personas trabajar en grupo estando en diferentes lugares de trabajo, conectados a través de una red [4]. Los sistemas colaborativos, también llamados groupware, son sistemas que soportan tareas específicas para ser realizadas por grupos de personas y proveen una interfaz en un entorno compartido [3].

Los entornos virtuales colaborativos, en inglés *Collaborative Virtual Environment* (CVE), son sistemas colaborativos que crean un espacio (mundo) virtual de trabajo, donde las personas pueden interactuar entre ellas o con objetos virtuales [5]. En un CVE, todos los objetos y los participantes se encuentran en un lugar virtual compartido que facilita y promueve la interacción en tiempo real [6]. Así, un CVE brinda la posibilidad de que varios usuarios interactúen usando elementos de realidad virtual, en inglés *Virtual Reality* (VR). La VR es una tecnología que usa gráficos tridimensionales, sonido 3D, retroalimentación táctil, entre otras técnicas, para dar a los usuarios la sensación de realidad en un entorno o mundo virtual [7].

En un sistema de RV los usuarios deben interactuar a través de técnicas y tareas de interacción 3D [8]. Dentro de las tareas de interacción 3D se encuentran: la navegación, la selección, la manipulación y el control del sistema [9]. Entre las cuales, la navegación tiene gran importancia porque es la que permite al usuario desplazarse en el entorno virtual. La navegación consta de dos componentes: un componente que permite el desplazamiento o movimiento del usuario en el espacio, en inglés *Locomoción* (L), y un componente cognitivo, el planeamiento de rutas, en inglés *Way finding* (W). El término way finding traducido textualmente es “encontrar el camino” y se refiere al proceso cognitivo de la determinación de un

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

camino (ruta) basado en señales visuales, el conocimiento del entorno y de ayudas como mapas, brújulas, etc. [9].

Para efectuar el proceso de navegación en un ambiente virtual, se requiere del uso de técnicas de locomoción, las cuales se pueden clasificar de acuerdo con las metáforas de navegación, tales como caminar, navegar en un vehículo, volar, la teletransportación, etc. [10]. Para efectuar el proceso de planeamiento de rutas se requiere adaptar la experiencia del mundo real a los problemas y restricciones de la navegación en 3D. Por esta razón y para efectuar un mejor planeamiento de rutas en un ambiente virtual, es necesario proporcionar algunas ayudas como indicadores de dirección, mapas y otros recursos que apoyen el planeamiento de rutas y así mismo apoyar a los usuarios en la realización de tareas en aplicaciones 3D [6].

La interacción en los CVEs debe ser eficaz y similar a la interacción entre los participantes que realizan una tarea en común [2]. Si bien, se hace uso de las estrategias de la interacción en 3D, se debe contemplar que la interacción grupal posee sus propias dinámicas [11]. Puntualmente, la navegación en un CVE tiene características propias que van más allá de la navegación individual. En un CVE se espera que los participantes trabajen juntos como equipo, por lo tanto en la navegación se debe aprovechar información de la proximidad espacial de los miembros del equipo, que participan en la navegación colaborativa [6].

Sin embargo, existen grandes interrogantes de cómo diseñar y desarrollar CVEs de forma que realmente se fomente el trabajo colaborativo. Entonces surge la necesidad de establecer parámetros adecuados que permitan determinar cuándo y cómo, una interfaz 3D ayuda y apoya un proceso colaborativo. Teniendo en cuenta que la navegación es un proceso fundamental en la interacción en 3D, este trabajo propone un conjunto de métricas cuantitativas que permitan establecer cuándo en una tarea de navegación se mejora la colaboración y de esta manera, entender cómo la navegación afecta la colaboración.

En este trabajo de grado se propone abordar la evaluación de uno de los procesos de interacción colaborativa 3D, puntualmente la tarea de navegación, y de esa forma plantear respuestas a las siguientes preguntas de investigación, ¿Qué métricas cuantitativas serán las adecuadas para medir el grado de colaboración en una tarea de navegación en un entorno virtual 3D? ¿Cómo pueden adaptarse dichas métricas para medir el grado de colaboración en una tarea de navegación?

## 1.1 Motivación

Los recientes desarrollos han permitido que el usuario final tenga acceso a los resultados de las últimas décadas en interacción 3D como aplicaciones de Realidad Virtual y de Realidad Aumentada en videojuegos, donde el factor significativo es la forma como los usuarios interactúan con el contenido 3D. Esto



## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

se evidencia principalmente en los videojuegos, en los cuales la interacción anteriormente se realizaba mediante teclados, joystick y mouse [12]. Hoy en día los videojuegos permiten que los usuarios interactúen a través de gestos e interacciones físicas. Dichos desarrollos surgieron de la investigación en campos como la realidad virtual y la realidad aumentada, la interacción humano-computador, computación gráfica, y la ingeniería de factores humanos [13].

Desde estas áreas se ha buscado dar respuesta a preguntas en el diseño, evaluación y aplicación de interfaces de usuario 3D, entre las cuales podemos mencionar ¿Qué técnicas de interacción 3D funcionan mejor en una determinada tarea, como la navegación y la manipulación? ¿Cómo debemos diseñar dispositivos de entrada 3D? ¿Cuáles son las asignaciones más adecuadas entre los dispositivos de entrada 3D, pantallas, y las técnicas de interacción? ¿Cómo podemos integrar varias técnicas de interacción 3D en una interfaz de usuario 3D? [13].

Otro interrogante abierto hace referencia al trabajo colaborativo en entornos 3D, teniendo en cuenta que actualmente todos los dispositivos se encuentran conectados facilitando una constante interacción con usuarios distribuidos remotamente. De esta forma es posible afirmar que la tecnología ha permitido acercar los CVEs con los usuarios finales, ya sea a partir de entornos como Second Life o a través de los videojuegos [14].

La colaboración es un aspecto fundamental para el logro de los resultados de una actividad grupal. La colaboración implica que dos o más personas trabajen de forma grupal para alcanzar un objetivo, haciendo tareas, que de forma individual serían muy costosas, en tiempo o recursos. Sin embargo, en el campo de los CVEs algunos estudios han mostrado que la colaboración en mundos virtuales mejora la eficiencia en la realización de las tareas. De esta manera, se hace necesario evaluar la colaboración en un grupo de personas desarrollando una actividad en equipo con el fin de obtener un diagnóstico de la interacción grupal.

La interacción del usuario en un CVE debe evaluarse con criterios propios del trabajo colaborativo y de la interacción en RV [9], de esta última se puede señalar que la mayoría de los estudios se han enfocado en la evaluación de la interacción de un único usuario en un VE [9], donde algunas investigaciones en evaluación de colaboración están ampliando al proceso de interacción colaborativa [6], de modo que se pueda evaluar a varios usuarios interactuando con la misma aplicación, lo que permite establecer parámetros que ayuden a determinar la forma en que un equipo interactúa en un mundo virtual y desarrolla una actividad grupal.

A pesar de los estudios realizados y métricas propuestas, estos no abarcan todas las necesidades de evaluación, por lo cual surge la necesidad de establecer parámetros que permitan evaluar la colaboración en tareas específicas como la navegación 3D, donde se pueda obtener un diagnóstico de la interacción de un

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

equipo de usuarios, que permita obtener información de cuándo en una tarea de navegación se favorece la colaboración entre los usuarios que participan en el desarrollo de una actividad grupal.

## 1.2 Solución propuesta

En este proyecto de grado se propuso la definición de un conjunto de métricas que permiten evaluar el grado de colaboración en una tarea de navegación en un entorno virtual 3D. Para esto, se recopiló un conjunto de métricas, definidas por diferentes autores en diferentes fuentes de información tales como libros, monografías, tesis, artículos, y trabajos relacionados tales como evaluación de colaboración en CSCW y CSCL, evaluación de interacción en entornos virtuales e interfaces de usuario 3D (3DUI), de tal forma que se pudo generar un conjunto de métricas que ayuden a evaluar la interacción de los usuarios en un ambiente 3D.

A partir del proceso anteriormente descrito, se formuló una propuesta que define un conjunto de métricas aplicables para la evaluación de una tarea de navegación colaborativa en entornos virtuales tridimensionales. Las métricas identificadas están basadas en referentes teóricos [15], [16], de acuerdo con criterios que incorporan colaboración mutua entre los participantes y otros elementos que se deben tener en cuenta en una tarea de navegación colaborativa, como lo es el proceso de locomoción y el planeamiento de rutas.

Para validar la propuesta, se diseñó una actividad de navegación colaborativa donde los usuarios interactuaron como equipo, con el fin de dar solución a dicha actividad. La actividad de navegación colaborativa permitió evaluar el conjunto de métricas propuestas. De acuerdo con lo anterior, para la actividad, se incluyeron características esenciales que consistían en delegar responsabilidades individuales, generar interdependencia positiva y finalmente garantizar la igual participación de los integrantes del equipo en la actividad. El desarrollo de la actividad fue orientado por el director de este trabajo como experto y haciendo uso de trabajos previos.

El conjunto de métricas propuestas se calculó a partir tanto de datos objetivos como subjetivos. Los datos objetivos se obtuvieron a través de logs o archivos de registro de la interacción de los participantes durante el desarrollo de la actividad de navegación colaborativa, las métricas subjetivas se obtuvieron a través de datos registrados en cuestionarios, los cuales fueron aplicados a los participantes una vez finalizaron cada test.

## 1.3 Resumen de la propuesta

Con la finalidad de dar claridad a los alcances, compromisos y metas planteados en este proyecto de grado, a continuación se copia de manera textual el

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

planteamiento del problema y objetivos consignados en el documento de la propuesta del proyecto.

## 1.3.1 Objetivos

### 1.3.1.1 Objetivo general

Proponer un conjunto de métricas para evaluar el grado de colaboración en una tarea de navegación en un entorno virtual 3D.

### 1.3.1.2 Objetivos específicos

- Definir un conjunto de métricas que permitan evaluar el grado de colaboración en una tarea de navegación.
- Formular e implementar una tarea de navegación colaborativa en un entorno virtual 3D, para ser usada en una evaluación experimental.
- Evaluar las métricas propuestas en la tarea de navegación colaborativa.

## 1.3.2 Planteamiento del problema

Los ambientes virtuales colaborativos CVEs, son sistemas que permiten a un grupo de trabajo realizar diferentes tareas de forma colaborativa. De esta forma los CVEs brindan un espacio de colaboración entre los usuarios, permitiéndoles además interacción e inmersión 3D [17]. Los CVEs presentan algunas ventajas y características que facilitan la colaboración, es el caso de la interacción con el mundo virtual a través de una personalización gráfica denominada avatar [17]. Un avatar permite opciones de apariencia visual, expresión facial e interacción física similares a los que se tienen en una interacción cara a cara [2]. En los CVEs otro aspecto importante es donde se desarrolla la actividad colaborativa, el espacio de trabajo compartido o escenario compartido, el cual debe ser diseñado con el fin de generar una participación efectiva del equipo de trabajo [18]. Para el desarrollo de una actividad colaborativa en un CVE es importante hacer uso de metáforas adecuadas [8], por ejemplo, los objetos pueden ser seleccionados y atrapados a través de una mano virtual [8], [19], cuando un miembro del equipo se desconecta su avatar desaparece, etc.

Otro aspecto importante en un CVE son las técnicas y dispositivos de interacción y visualización, los cuales deben ser adecuados a la tarea colaborativa en un entorno 3D [17], lo cual no se puede lograr por medio de interfaces convencionales. Las técnicas de interacción 3D se consideran como un conjunto de métodos que definen la utilización del conjunto hardware - software [13], para permitir al usuario llevar a cabo una tarea específica en un VE.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

La interacción en 3D ha sido estudiada a partir de cuatro tareas fundamentales: la selección, la manipulación, la navegación y el control del sistema. Dentro de los procesos de interacción en 3D, la tarea de navegación tiene un interés particular, ya que permite el movimiento del usuario dentro de un entorno o mundo virtual. La navegación es definida como el proceso mediante el cual las personas determinan dónde están, dónde están los demás y cómo llegar a los objetos y lugares en particular [20]. La navegación se entiende como una actividad espacial que es guiada por la información visual del espacio y va desde una ubicación inicial a un destino [21]. Parush y Berman señalan que la navegación es simplemente ir de un punto a otro dentro de un entorno determinado ó 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 [22]. La navegación es algo complejo, en especial en entornos no familiares [6]. Cuando un usuario se encuentra interactuando por primera vez en un entorno virtual, este siempre va a ser desconocido para él, de esta manera se deben proporcionar algunas ayudas tales como una buena estructura, indicadores de dirección, mapas y ciertas restricciones de ruta con el fin de ayudar a mejorar enormemente el desempeño de navegación y la satisfacción del usuario en el entorno [6].

De acuerdo con Bowman, la navegación en un entorno virtual, consiste en dos componentes. Un componente de movimiento físico, que es el motor de movimiento o desplazamiento del usuario en el espacio virtual, es decir, *el proceso de locomoción* [9]. El proceso de locomoción en un mundo virtual puede seguir metáforas naturales como caminar, navegar por medio de un vehículo, volar, u otras menos naturales como la teletransportación, la doble presencia, etc. [23], [24]. Pero, estas metáforas requieren de dispositivos de interacción que permitan al usuario realizar el cambio de posición. Son muchos los dispositivos que se han usado para el proceso de locomoción: teclado-mouse, joysticks y gamepads, han sido los más difundidos, pero también se ha utilizado interacción gestual [25], guantes de realidad virtual [25], esteras [26], sensores de peso (balanzas) [27], entre otros dispositivos especializados.

El segundo componente, es de carácter cognitivo, llamado "*way finding*" o "*path planning*", en español planeamiento de rutas, es un proceso que permite al usuario definir una forma de recorrer un entorno virtual mediante la construcción de un "mapa cognitivo" del espacio [9]. En este trabajo, la navegación ha sido definida de acuerdo a éste último enfoque, así, se ha estudiado la navegación a partir de los procesos de locomoción y planeamiento de rutas. Dependiendo de la complejidad del entorno 3D, es necesario diseñar ayudas para facilitar el proceso de planeamiento de rutas, como mini-mapas, indicadores, pistas, zonas que se activan o desactivan según la tarea, etc. Incluso en algunos casos el proceso de planeamiento de rutas puede ser asistido por técnicas y algoritmos similares a los usados en robótica [28].

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

El proceso de planeamiento de rutas, este es realizado de manera jerárquica a partir de una escala espacial [21]. Por ejemplo, si necesitamos ir a tomar un curso en el edificio de ingeniería del campus de la Universidad, lo primero que hacemos es planear cómo llegamos al edificio de ingeniería. Cumplida esta meta, definimos cómo llegar al salón de clase, y por último ubicamos una silla vacía. Además, simultáneamente hemos caminado evitando obstáculos como autos, papeleras, otras personas, etc. De esta forma, el planeamiento de rutas incluye el proceso jerárquico de definir un camino para llegar a nuestro objetivo, donde el nivel más bajo nos permite no tropezar con los obstáculos alrededor [16]. Dado que el planeamiento de rutas es un proceso cognitivo, en un entorno 3D, éste se realiza de manera similar, adaptando nuestra experiencia del mundo real a los problemas y restricciones de la navegación en 3D. Por esta razón en un entorno 3D es necesario proporcionar algunas ayudas como indicadores de dirección, mapas y ciertas restricciones que apoyen el planeamiento de rutas y mejore la satisfacción del usuario en un entorno 3D [6].

Una buena técnica de navegación en 3D debe permitir tanto a los usuarios una locomoción adecuada a la tarea que está realizando, así como un proceso transparente de planeamiento de rutas que no interfiera con la tarea. En un gran número de aplicaciones, la navegación en 3D se ha realizado a través de dispositivos como joystick, gamepads, teclado y mouse, pero actuales desarrollos permiten al usuario realizar procesos de navegación por medio de gestos y movimientos [29], [30], [31].

En un CVE todo proceso de interacción afecta la tarea colaborativa, esto incluye el proceso de navegación. Sin embargo, los procesos de evaluación de los CVEs se han realizado de manera integral, desde un punto de vista de usabilidad, sin hacer énfasis en evaluar y medir los procesos de colaboración, y cómo son afectados por variables como los métodos de interacción [2], [9].

La evaluación de la colaboración y cómo ésta es afectada por distintas variables ha sido estudiada por el trabajo colaborativo asistido por computador y el aprendizaje colaborativo asistido por computador, en inglés, respectivamente, Computer Supported Cooperative Work (CSCW) y Computer Supported Collaborative Learning (CSCL). Dichos trabajos han definido métodos y métricas que permiten diagnosticar una tarea colaborativa [32], [15], [14].

Este trabajo de grado pretende definir un conjunto de métricas cuantificables que ayuden a evaluar el grado de colaboración en una tarea de navegación en un entorno virtual 3D, de tal manera que permitan obtener un diagnóstico de cómo la interacción en este caso la navegación afecta el grado de colaboración en un equipo de trabajo. Para esto es necesario estudiar y adaptar métricas ya empleadas con éxito en otras tareas tanto de colaboración como de tareas de navegación.

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

De acuerdo a lo anteriormente señalado, este trabajo plantea las siguientes preguntas de investigación ¿Qué métricas cuantitativas serán las adecuadas para medir el grado de colaboración en una tarea de navegación en un entorno virtual 3D? ¿Cómo pueden adaptarse dichas métricas para medir el grado de colaboración en una tarea de navegación?

## 1.4 Estructura del documento

El contenido de este documento se ha estructurado de la siguiente manera. En el capítulo 2 se describe el marco teórico y los trabajos relacionados, incluyendo las temáticas que fueron necesarias para el desarrollo de este proyecto tales como, evaluación de CVEs, métricas de colaboración y de navegación, entre otros. El capítulo 3 presenta la definición de un conjunto de métricas orientadas a evaluar navegación colaborativa en CVEs. El capítulo 4 describe la metodología llevada a cabo, donde se describe detalladamente cada una de las fases del proceso de definición, implementación, ajuste y evaluación de las métricas propuestas. El capítulo 5 explica en detalle los resultados alcanzados, enfatizando en el análisis de la evaluación de la propuesta de métricas y la evaluación experimental con usuarios en la actividad de navegación propuesta. Finalmente el capítulo 6 presenta las conclusiones de este trabajo junto con las recomendaciones para trabajos futuros.

Se incluyen ocho anexos que contienen un glosario de términos, identificación de métricas en colaboración y navegación, prototipo de navegación colaborativa, caracterización de la población, cuestionario de colaboración e inmersión, cálculo de métricas, significancia estadística y por último se anexa un artículo resultado de este trabajo de grado. Adicionalmente se realizó un proceso de documentación de cada paso llevado a cabo, en donde se incluye el documento de monografía, anexos, fotos, vídeos, audios de evaluación, el prototipo en código fuente, resultados obtenidos de los cuestionarios, los archivos bitácora o log, ejecutables de las pruebas Pre-test 1, Pre-test 2. Test 1 y Test 2 a la que se puede acceder en el DVD entregado junto con el documento en las carpetas listadas en la **Tabla 1**.

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

**Tabla 1: Organización de las carpetas en el DVD de entrega.**

01 Documento	01 Documento de monografía		
	02 Documento de anexos		
02 Información extra	01 Fotos		
	02 Vídeos		
	03 Audios de evaluación		
03 Proceso	01 Prototipo	01 Figuras - bosquejos	
		02 Código	
		03 Ejecutable – Launcher	
	02 Evaluación	01 Test 1	01 Logs originales
			02 Logs procesados
		02 Test 2	01 Logs originales
			02 Logs procesados
	03 Resultados	01 Análisis Excel	
02 Análisis SPSS			

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## 2 Marco teórico y trabajos relacionados

Este capítulo presenta la base teórica que aportó en el desarrollo de este proyecto de grado. Está compuesto por dos secciones, la primera que explica los conceptos principales que fundamentaron este trabajo, como lo son el trabajo colaborativo y los entornos virtuales 3D. La segunda sección incluye una explicación de los principales trabajos relacionados, propuestas anteriores de evaluación de colaboración y métricas para evaluar tanto colaboración como interacción en 3D. Los detalles de los procesos metodológicos del cómo se desarrolló esta base teórica se describen en la **sección 4.1**.

### 2.1 Marco teórico

#### 2.1.1 CSCW

El *Computer-Supported Collaborative Work*, en español, trabajo colaborativo soportado por computador (CSCW), es una disciplina que estudia y analiza mecanismos de coordinación para una comunicación y colaboración más efectiva [3]. El CSCW es una rama que proviene del campo de HCI (Human-Computer Interaction, en español interacción persona-ordenador) especializada en los contextos de grupo. El término CSCW se propone a mediados de la década de los ochenta tras un seminario organizado por profesionales de diferentes disciplinas interesados en cómo trabajan las personas y cómo la tecnología podría ayudarles [3]. Así, el CSCW va más allá del desarrollo de herramientas de cómputo, ya que requieren de la comprensión de varios aspectos del trabajo en grupo, por eso áreas como la psicología, la sociología, la teoría de la organización, entre otros, también están involucrados en la investigación de los CSCW [14].

##### 2.1.1.1 Sistemas groupware

Al hablar del término groupware nos referimos a sistemas que proporcionan herramientas computacionales que buscan apoyar y facilitar el trabajo en grupo, es decir, las tareas que se llevan a cabo en cooperación entre varios usuarios [14]. El término groupware fue definido como “international group processes plus software to support them”, en español, software que apoya los procesos de grupo [3]. Así, los sistemas groupware, los sistemas CSCW o los sistemas colaborativos; son sinónimos que se refieren al mismo tipo de sistemas. Algunos autores definen los sistemas groupware como una combinación de tecnologías, personas y organizaciones en donde se facilita la comunicación y la coordinación, necesarias para que un grupo trabaje de manera efectiva en la obtención de objetivos compartidos [3].



## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

Los sistemas groupware se clasifican con base al tiempo como síncronos y asíncronos y con base al espacio, ya que pueden estar en el mismo lugar o en forma distribuida [33]. Algunos ejemplos típicos de los sistemas groupware síncronos son los pizarrones compartidos, teleconferencias, chat y sistemas de toma de decisiones, y entre las aplicaciones de los groupware asíncronos se encuentran el e-mail, newgroups, calendarios y sistemas de escritura [33].

En definición, un sistema groupware debe cubrir ciertas necesidades, como la comunicación, la colaboración y la coordinación, las cuales surgen del trabajo colaborativo entre dos o más personas [3], [33]. La comunicación es la función más importante del groupware, ya que es el medio en que la información es compartida. La colaboración es la base fundamental para la actividad en grupo, es un proceso que involucra el trabajo de varias personas en conjunto para conseguir un resultado que sea difícil conseguir individualmente, además de mejorar la eficiencia en la toma de decisiones con la contribución de todos los miembros del grupo. Finalmente la coordinación, es la acción de asegurar que el equipo está trabajando eficientemente para alcanzar una meta, esto incluye la distribución de tareas y revisión de su ejecución [33].

En la actualidad existen diferentes campos de aplicación en sistemas groupware:

- Sistemas de colaboración en la educación, orientados a evaluar y mejorar el desempeño del proceso educativo [4].
- Sistemas de colaboración de defensa, se encuentran en el campo militar y se caracterizan por las normas estrictas de organización y funcionamiento [4].
- Sistemas de colaboración en la producción, son diseñados para aumentar la capacidad de producción y calidad del producto en las diferentes unidades productoras de bienes y servicios [4].
- Sistemas de colaboración bancarios, se analiza información para determinar los factores que afectan el sistema bancario y sus componentes [4].

### 2.1.2 Actividad colaborativa

Collazos *et al.* [34] definen actividad colaborativa como “aquellas en las cuales el trabajo se desarrolla conjuntamente entre varias personas con roles iguales o roles distintos”. En ellas se forma un balance perfecto entre las metas individuales y grupales, para lograr un adecuado conjunto de resultados de un trabajo colaborativo se debe lograr esta última condición. En este documento, el término "colaborativo" se refiere a que la actividad se conduce en grupos de personas a quienes individualmente se les asignan roles y metas que deben ser cumplidas para el correcto desarrollo de la actividad [34].

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## 2.1.2.1 Características de una actividad colaborativa

### 2.1.2.1.1 Interdependencia positiva

La interdependencia positiva es la base de las actividades colaborativas que logra e incentiva la colaboración dentro de los grupos de trabajo, animando al grupo a lograr sus objetivos, ya que si no se genera interacción entre los integrantes del grupo no hay comunicación [35]. En otras palabras, la interdependencia positiva trata de que los participantes sientan que “nadan” o se “ahogan” juntos. La existencia de interdependencia sólidamente estructurada, requiere del esfuerzo de cada integrante del grupo, donde cada integrante debe tener una contribución única debido a su rol y responsabilidad dentro del grupo. Con lo anterior se crea compromiso con el éxito del grupo en cada integrante, y este es el núcleo del aprendizaje colaborativo. Si no hay una interdependencia positiva no hay colaboración [35]. Dependiendo del tipo de tarea a ser realizada Johnson *et al.* [35] definen los siguientes tipos de interdependencia positiva.

#### Tipos de interdependencia positiva

- **Interdependencia positiva de objetivos**  
Cada integrante del grupo debe preocuparse por aprender uno del otro, puesto que todo el grupo está motivado para lograr un objetivo común, de manera que los participantes deban percibir que pueden lograr su objetivo si y solo si los otros integrantes del grupo alcanzan sus objetivos.
- **Interdependencia positiva de recompensas**  
Cuando el grupo logre una meta u objetivo, las recompensas deben ser conjuntas, de modo que cada integrante del grupo perciba una misma recompensa.
- **Interdependencia positiva de recursos**  
Cada integrante del grupo tiene solo una parte de la información, recursos o materiales necesarios para realizar una tarea, de manera que para poder lograr las metas y objetivos debe ser necesario combinar todos los recursos entre todo el grupo.
- **Interdependencia positiva de roles**  
Cada integrante del grupo tiene roles que están interconectados y que le dan responsabilidades específicas para que el grupo en conjunto logre completar una tarea.
- **Interdependencia positiva de identidad**  
En este tipo de interdependencia, los grupos comparten una identidad en común, que puede ser un nombre, un lema, un eslogan, una bandera o una canción. Los países, clubes, equipos deportivos y los colegios utilizan este tipo de interdependencia positiva para intentar crear una identidad compartida entre sus ciudadanos, miembros y estudiantes.
- **Interdependencia positiva de entorno**

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

Los integrantes del grupo están unidos por el entorno físico en el que trabajan y desarrollan la colaboración. En el caso de que la actividad sea apoyada por herramientas computacionales, y que la actividad sea distribuida, el entorno al cual están atados los participantes es meramente virtual. Es en este espacio virtual en el cual los participantes deben desarrollar la actividad.

- **La interdependencia positiva de la fantasía**

A los miembros del grupo se les brinda una tarea imaginaria, para la cual los miembros del grupo deben encontrar soluciones para situaciones extremas, como acabar con una amenaza para la vida en la tierra o manejo de una tecnología futurista. Los ejemplos más típicos de este tipo de interdependencia son los juegos colaborativos, en los que cada miembro del grupo se les asigna un rol imaginario.

- **Interdependencia positiva de tareas**

El trabajo tiene que estar organizado de manera secuencial. Los integrantes del grupo deben dividir el trabajo y estar vinculados entre sí. Tan pronto como un equipo lleve a cabo su parte de la tarea, el siguiente equipo puede continuar con su responsabilidad, continuando con el ciclo hasta terminar la tarea.

- **Interdependencia positiva de amenaza externa**

Los miembros del grupo son confrontados con una amenaza externa al grupo (por ejemplo, otros grupos que estén realizando la misma actividad). De esta manera los miembros del grupo se sienten interdependientes, y que deben hacer lo mejor posible para ganar la competencia y estar por encima de sus oponentes.

### 2.1.2.1.2 Responsabilidad individual

Para Johnson *et al.* [35], hay responsabilidad individual en un grupo cuando al evaluar el desempeño de cada integrante, los resultados se devuelven tanto al grupo como al individuo. Cada miembro se hace personalmente responsable, de contribuir a lograr los objetivos del grupo y de ayudar a los demás miembros a que también lo hagan. Cuanto mayor es la interdependencia positiva dentro de un grupo, más responsables se sentirán los miembros del grupo. También hace que cada miembro del grupo asuma una responsabilidad personal frente a los demás integrantes del grupo. Los miembros del grupo se dan cuenta de que si no hacen lo que les toca, perjudican a sus compañeros, además de perjudicarse a sí mismos.

La responsabilidad individual es la clave para garantizar que todos los miembros del grupo fortalezcan su colaboración. El propósito de los grupos es hacer que cada individuo sea más fuerte. Durante el proceso colaborativo, los participantes aprenden conocimientos, destrezas, estrategias o procedimientos dentro de un grupo, y luego lo aplican por sí solos para demostrar su dominio personal de lo

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

aprendido. Los miembros de un grupo aprenden juntos a desempeñarse aún mejor individualmente.

### 2.1.2.1.3 Igual participación

Esta característica se refiere a la capacidad de dominar y ejecutar la parte del trabajo de la cual un miembro de un grupo se ha responsabilizado (o lo han responsabilizado). Para un verdadero trabajo colaborativo, cada miembro del grupo debe ser capaz de asumir íntegramente su tarea y además debe tener los espacios para que pueda participar y contribuir individualmente.

### 2.1.3 Realidad virtual y entornos virtuales colaborativos CVEs

La realidad virtual, en inglés *Virtual Reality* (VR), es un término que fue creado en 1989 por J. Lanier, quien la definió como una simulación interactiva explorable, visible y manipulable en tiempo real, que comprende todos los sentidos generados por un computador [7]. Otros autores la definen como una interfaz que implica simulación en tiempo real e interacciones mediante múltiples canales sensoriales, como el oído, el olfato y el gusto [7]. A principios de los años noventa, investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts, introdujeron el término Entorno Virtual, en inglés *Virtual Environment* (VE) como sinónimo de VR, esta decisión fue impulsada para que de algún modo pudieran desligar ideas preestablecidas que se habían creado hacia este término [7]. Los VEs se pueden clasificar de varias formas, por ejemplo, el grado de interacción o de inmersión que ofrecen, y también según su realismo y virtualidad [7].

Como conjunción de los CSCW y VR, se encuentran los entornos virtuales colaborativos, en inglés *Collaborative Virtual Enviroments* (CVEs), que son sistemas que permiten realizar a cabo una tarea de cooperación en un mundo virtual en 3D, y que ofrece la posibilidad de involucrar varios aspectos de un escenario de colaboración naturales en un sistema CSCW [14]. Dodds [2] define los CVEs como mundos virtuales que combinan la información compartida (por ejemplo modelos de diseño 3D), con mecanismos que permiten a varias personas convivir, ser conscientes de la presencia de los demás (por ejemplo a través de avatares<sup>1</sup>) y comunicarse entre ellos. Churchill [5] define que un CVE es un espacio virtual distribuido, o un conjunto de lugares virtuales, donde las personas pueden conocerse e interactuar con los demás, a través de agentes u objetos virtuales. Yang [6] menciona que los CVEs de ninguna manera son un sustituto de la tecnología existente que apoya la comunicación entre las personas y la colaboración en algunos datos compartidos, más bien es un complemento a las herramientas existentes como en el campo de los CSCW que durante un largo

---

<sup>1</sup>Los avatares, también llamados asistentes virtuales, son personajes virtuales cuyo objetivo principal es hacer que la comunicación entre el usuario y la máquina sea más natural e interactiva. La principal ventaja de utilizar avatares en las interfaces es la ilusión generada al usuario de la existencia de un personaje con el cual puede interactuar como si se tratase de una proyección de él mismo [95]. Idealmente debe permitir opciones de apariencia visual, expresión facial e interacción física, similares a los que se tienen en una interacción cara a cara [2].

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

tiempo se ha esforzado para apoyar la colaboración entre personas geográficamente distribuidas. Algunos autores afirman que los CVEs pueden utilizar monitores de escritorio estándar con periféricos comunes para la interacción (mouse, teclado, joystick), como alternativa a la sofisticada tecnología inmersiva de entorno virtual [2].

En un CVE todos los objetos y los participantes se encuentran en un lugar virtual compartido y tienen un sentido compartido del tiempo [6], esto permite la interacción síncrona entre los participantes y los objetos. Cabe destacar que los CVEs han tenido algunas aplicaciones en el campo de la visualización científica, el diseño colaborativo, simulación de campos de batalla, arte y videojuegos [6].

Con el fin de que varios usuarios trabajen juntos de manera eficiente normalmente se replica el entorno virtual en la máquina de cada usuario y se utiliza el método de control de consistencia para sincronizar las acciones realizadas por los diferentes participantes [36].

Para lograr una colaboración, una aplicación CVE debe contar con algunos componentes esenciales, Para Maamar [36] cualquier CVE debe contar por lo menos con los siguientes componentes:

**Entorno virtual compartido:** Es la descripción del mundo en 3D y objetos de una forma específica, colores, texturas, iluminación y posiciones. Los objetos 3D pueden ser activos o pasivos. Un objeto se considera activo si el usuario lo procesa y cambia sus estados y comportamiento. Al contrario, un objeto es pasivo si el usuario no puede interactuar directamente con él. Compartir el entorno virtual consiste en el intercambio de objetos virtuales e interactuar con ellos en tiempo real [36].

**Un método de consistencia:** Es necesario un adecuado método de consistencia para mantener la sincronización, simultaneidad y causalidad de las acciones o eventos realizados por los participantes. La sincronización se ocupa de la coordinación de los eventos, la simultaneidad de que los acontecimientos ocurran simultáneamente y se reproduzcan de igual forma, y la causalidad asegura que los acontecimientos se ordenan mediante una orden causal. Un buen método de consistencia mejora la colaboración y la interacción entre los usuarios [36].

**Un método de representación de gráficos de computador:** La representación de gráficos en computador es el proceso de generar una imagen desde un modelo que describe un objeto 3D. Este proceso permite obtener una imagen final mediante la adición de las texturas, los colores, las luces y la posición del objeto 3D. Muchas técnicas se han diseñado con el fin de facilitar el proceso de representación y para obtener una buena imagen final. Las animaciones y los comportamientos se pueden añadir a los objetos, y cuando éstos se prestan, el usuario ve los objetos en movimiento [36].

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

**Interfaz de periféricos comunes:** Permite interactuar (tocar, sentir o manipular) entre los usuarios de la aplicación y objetos virtuales, estos periféricos pueden ser (mouse, teclado, joystick, etc.). Una aplicación CVE necesita tener estos componentes a fin de garantizar la colaboración. Sin embargo, estos componentes no garantizan una ejecución exitosa [36].

## 2.1.3.1 Interacción en entornos virtuales 3D

Para Jankowski la interacción en un entorno virtual interactivo 3D, como se ilustra en la **Figura 1**, puede ser caracterizada en términos de tres tareas de interacción fundamentales: navegación, selección y manipulación y el control del sistema [37]. En el contexto de este trabajo se estudia solo la tarea de navegación, la cual se describe a continuación.

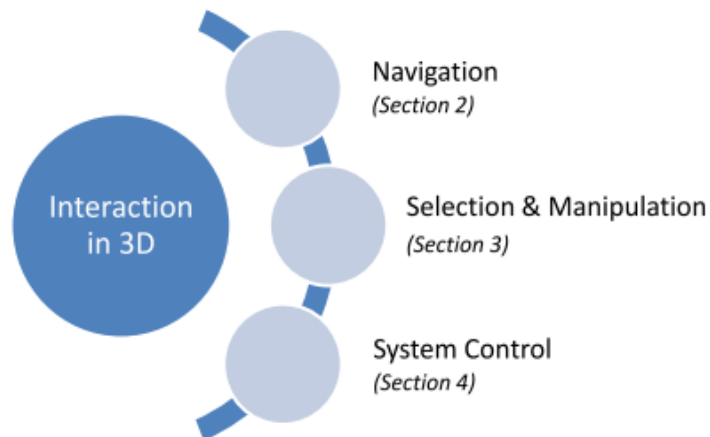


Figura 1: Tareas de interacción según Jankowski. Fuente: [37].

### 2.1.3.1.1 Navegación

En la literatura existe una gran variedad de definiciones para el concepto de *navegación*, todos ellos se resumen en la siguiente definición, “conjunto de acciones que se realizan para llegar a una meta asignada o destino desde un punto de origen determinado” [38]. La palabra “*navegación*” se refería originalmente al proceso de movimiento a través de una superficie de agua en un barco. Esto se ha ampliado para decir que es un proceso de determinar la ruta de un barco, avión o incluso una nave espacial [39]. Darken define el término de manera más general argumentando que es el proceso de determinar un camino que hay que recorrer por cualquier objeto a través de cualquier medio [39].

La navegación dentro de los CVEs es un proceso de interacción 3D el cual como ya se mencionó en la **sección 1.3.2**, es un elemento de gran importancia ya que permite el movimiento de un usuario dentro de un entorno virtual. Parush y

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

Berman señalan que la navegación en un entorno 3D es simplemente ir de un punto a otro, y que la orientación es básicamente la capacidad de conocer la propia ubicación en el entorno y la ubicación relativa de los otros elementos [22]. Cuando un usuario se encuentra interactuando por primera vez en un entorno o ambiente virtual, este siempre va a ser desconocido para él, de esta manera se deben proporcionar algunas ayudas tales como una buena estructura, indicadores de dirección, mapas y ciertas restricciones de ruta con el fin de ayudar a mejorar el desempeño de navegación y la satisfacción del usuario en el entorno. Se debe tener en cuenta que la navegación es algo complejo, en especial en entornos no familiares [6].

Como se mencionó en el planteamiento del problema **1.3.2**, la navegación consiste en dos componentes: un componente de movimiento físico llamado *locomoción* o "*locomotion*" y un componente cognitivo llamado *planeamiento de rutas* o "*way finding*".

### **2.1.3.1.1.1 Locomoción**

Locomoción o viaje (en inglés *locomotion*), es definido como el control de movimiento o el punto de vista de un usuario en un entorno tridimensional [24]. En la mayoría de los casos, la locomoción no es el fin en sí mismo, este se utiliza simplemente para trasladar al usuario a una posición en la que puede realizar alguna otra tarea [24].

### **2.1.3.1.1.2 Planeamiento de rutas**

En los humanos el proceso de planeamiento rutas implica orientación, búsqueda y seguimiento de un camino o ruta hacia un destino a una meta determinada, y es denominado "*way finding*", que se traduce textualmente como "búsqueda del camino" [38]. Corrales define el planeamiento rutas como el proceso cognitivo de la determinación de un camino (ruta) basado en señales visuales, el conocimiento del entorno y de ayudas tales como mapas o brújulas. Corrales presenta una taxonomía del sistema de navegación para diferenciar las diferentes tareas en el proceso de planeamiento de rutas en los humanos [38], la cual se puede ver en la **Figura 2**.

El planeamiento rutas en un entorno 3D se relaciona en cómo las personas construyen el conocimiento (modelo mental) de un entorno virtual, cuando este proceso no es adecuado se origina un problema conocido en el cual los usuarios se "pierden en el espacio", el cual puede manifestarse de varias maneras:

- Los usuarios pueden vagar sin rumbo cuando se trata de encontrar un lugar por primera vez [37].
- Pueden tener dificultades para reubicarse a lugares visitados recientemente [37].

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- Son incapaces de comprender la estructura topológica general del espacio [37].

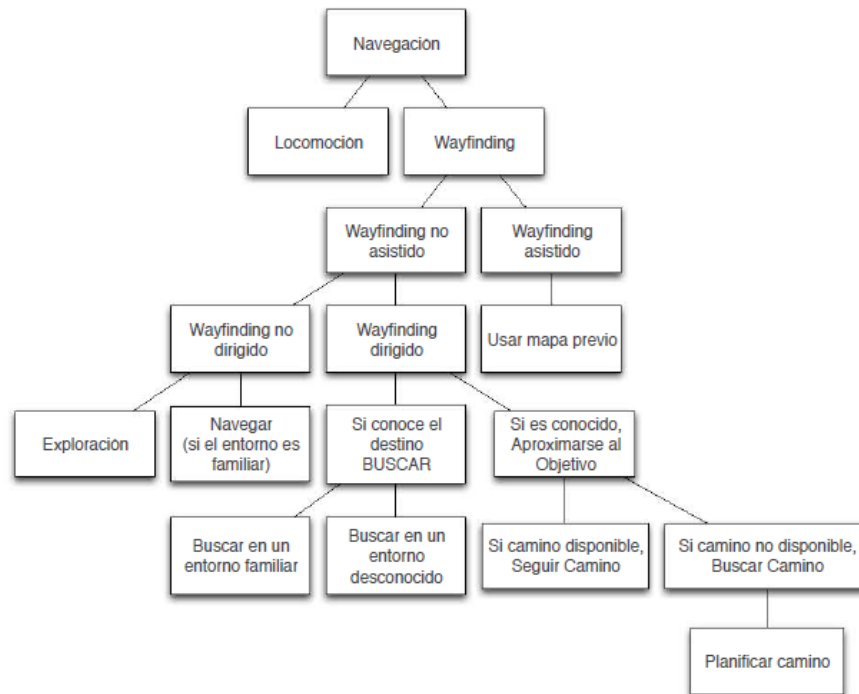


Figura 2: Taxonomía del proceso de planeamiento de rutas propuesto por Corrales. Fuente [38].

### 2.1.3.1.2 Navegación colaborativa

Cuando la navegación se realiza en equipo tiene sus propias características que van más allá de la navegación individual. En un CVE se espera que los participantes trabajen juntos como equipo con el fin de mostrar proximidad espacial y perspectivas comunes para compartir ideas, esto se llama navegación colaborativa [2].

Yang expone ciertas características necesarias en una tarea de navegación colaborativa [6], estas son:

- 1 Cada participante tiene un control independiente según el punto de vista del entorno. Hay una necesidad básica para apoyar puntos de vista individuales, como los puntos de vista de forma independiente controlados a través del cual los diferentes usuarios pueden inspeccionar el mundo virtual desde diferentes ángulos y posiciones.
- 2 Existe una necesidad de que los participantes converjan ocasionalmente en una ubicación común. Esto suele suceder cuando los participantes observan algo interesante y quieren que los demás también lo vean. Esto acompañado de palabras como “Ven aquí”, “Mira esto”, etc.



# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- 3 Es beneficioso entender las perspectivas de los demás.
- 4 Los participantes tienen que conocer el entorno en cierta medida.

## 2.1.4 Métrica, medida, medición e indicador

Es importante definir algunos conceptos básicos relacionados con el concepto de métrica.

En primer punto, medir o realizar una medición es la acción que permite obtener el valor de una medida. Cada medición produce una medida a partir de una métrica. Así, la métrica define la forma de medir (método de medición, función de cálculo o modelo de análisis) y una escala de medición. Una métrica puede ser directa, cuando se pueden realizar mediciones sin depender de ninguna otra métrica. En otras palabras, una métrica directa es la resultante de una correspondencia o mapeo directo entre un atributo del objeto a ser medido y el valor o magnitud en la escala de medición. Al contrario, una métrica indirecta, es aquella cuya forma de medir es una función de cálculo, y por lo tanto se puede afirmar que las mediciones de dicha métrica utilizan medidas obtenidas por otras métricas directas o indirectas.

Un indicador es un concepto más completo, es una métrica cuya forma de medir es asociada al modelo de análisis, es decir, las medidas obtenidas son usadas para tomar decisiones. De esta forma, la medida que entrega un indicador es una visión profunda de una o más variables del problema. Debe tenerse en cuenta que un indicador es una métrica indirecta, calculada a partir de una métrica directa o una combinación de dos o más métricas.

## 2.2 Trabajos relacionados

### 2.2.1 Evaluación de sistemas colaborativos

La evaluación o diagnóstico de un sistema colaborativo se orienta a valorar cómo los usuarios interactúan de manera grupal y cómo este trabajo se aproxima o no al ideal de trabajo colaborativo [15]. La evaluación de sistemas colaborativos es necesaria para determinar el impacto de las personas, de un grupo y/o una organización frente a una solución [40].

Se han propuesto varios métodos de evaluación de sistemas colaborativos que comprenden una variedad de enfoques y objetivos [40], en los cuales se pueden resaltar propuestas que han definido frameworks para la comprensión de la evaluación de sistemas colaborativos.

Huang presenta un framework conceptual para la comprensión de sistemas de evaluación de la colaboración. Este concepto es apoyado a través de un

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

seguimiento de la actividad de evaluación dentro del proyecto DIECoM (Entorno Distribuido Integrado para la Gestión de la Configuración) [41]. Cugini *et al.* presentan una propuesta basada en un framework elaborado por Pinsonneault y Kraemer [42], para analizar el impacto de la tecnología de colaboración en el proceso grupal, definiendo una lista de medidas que pueden ser aplicadas a tareas de colaboración [42]. Steves y Scholtz proponen un método que pretende evaluar la eficacia de un sistema de colaboración utilizando un framework para estructurar dichas evaluaciones, dicho framework permite definir métricas y medidas de rendimiento en el contexto de metas del sistema y los objetivos de evaluación [43]. En la evaluación del aprendizaje colaborativo, Collazos toma un conjunto de indicadores de cooperación propuestos por Guerrero *et al.* [44] para proponer un framework que permite monitorear y evaluar procesos de aprendizaje colaborativo en una actividad grupal [15]. También han surgido propuestas que usan un enfoque de evaluación heurística, como Kirigin, que adapta elementos de un proceso de evaluación heurística desarrollado previamente por Kirigin [45] en un framework de evaluación de colaboración, donde se evidencia la rigurosidad y algunos métodos formales de evaluación de sistemas colaborativos [45].

### 2.2.1.1 Métricas de colaboración

Los procesos de estudiar las características de calidad de entornos colaborativos ha evidenciado la necesidad de realizar métricas que permitan evaluar estos sistemas. Un primer punto que se ha medido es el aseguramiento y el rendimiento del diseño de un sistema [46], donde la calidad es una característica principal, y está definida por diferentes propiedades como complejidad, fiabilidad, mantenibilidad, funcionalidad y estabilidad [46].

Sin embargo, el principal objetivo es evaluar la colaboración. Medidas de desempeño como el tiempo de comunicación, tiempo de finalización de la tarea, participación y awareness fueron propuestas por Cugini [42], que pueden ser aplicadas a tareas colaborativas. Damianos *y col* [47] presentan un framework para la evaluación y un conjunto de métricas, cuyo objetivo es facilitar la descripción de un sistema CSCW y evaluar si el sistema soporta diferentes tipos de trabajo colaborativo. Métricas como el tiempo, duración del turno, y la comunicación, son indicadores del sistema propuestos en este trabajo que pueden ser observados individualmente o colectivamente. Guerrero *y col* [48], establecen algunos indicadores de cooperación, tales como la aplicación de estrategias, la cooperación intragrupal, la revisión de criterios de éxito, el monitoreo y el proveer ayuda, los cuales pueden ser usados para evaluar la forma en que distintos grupos de personas enfrentan una tarea en la que requieran colaborar entre sí para resolverla. Collazos *y col* [49], modifican estos indicadores para evaluar temas concernientes al proceso de aprendizaje colaborativo, además de proponer un quinto indicador basado en el rendimiento del grupo donde se tienen en cuenta tres aspectos a considerar en una actividad grupal, como la calidad (lo bueno que es el resultado del trabajo colaborativo), tiempo (tiempo total transcurrido durante

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

el trabajo) y el trabajo (total de trabajo realizado). Kim *y col* [50], evalúan el comportamiento de los usuarios a través del dominio de diferentes dispositivos y del dominio de la comunicación, este comportamiento fue medido subjetivamente e individualmente, de tal forma que obtuvieron un diagnóstico de desempeño del grupo, así como también un diagnóstico de la comunicación. Ciurea propone técnicas para la construcción y validación de indicadores que permitan medir las diferentes formas de aumentar la eficiencia y el nivel de rendimiento de los sistemas bancarios de colaboración [51], con el propósito de medir el grado de gestión del conocimiento, definiendo un indicador de rendimiento para la gestión del conocimiento. Matsson presenta un estudio detallado de métricas usadas en CSCW, y las clasifica en humanas, relacionadas con la tarea y de usabilidad [52]. Estas medidas o datos experimentales fueron clasificados en tres categorías. Montoya *y col*, proponen métricas de colaboración a partir de teorías de grupos y comunicación y su relación con las conductas de colaboración y desempeño de los equipos trabajando virtualmente en un CVE 3D [53]. Por último un conjunto de medidas de comportamiento y comunicación fueron propuestas por Yamashita [54], con el fin de examinar las actividades propuestas en su estudio, para lo cual propone una técnica llamada “remote lag”, que permite mejorar los problemas causados por la invisibilidad de los gestos distribuidos en una Tabletop (Superficie plana de una mesa) de colaboración distribuida.

### 2.2.2 Evaluación de CVEs

La evaluación de un CVE incluye varios aspectos, en general busca diagnosticar cómo los usuarios interactúan de manera grupal en un espacio virtual de trabajo compartido [43].

Dang *et al.* [55], presentan un framework para el estudio de problemas de diseño y evaluación de CVEs basados en sistemas de tecnología de proyección inmersiva. El objetivo de este framework es el de obtener información sobre los aspectos tecnológicos en relación con el desarrollo de una plataforma y de factores humanos relacionados con el trabajo colaborativo en VEs, también la interrelación entre los aspectos tecnológicos y aspectos humanos para la construcción de CVEs usables [55]. Goebbels *et al.* [56], presentan un framework de trabajo para diseñar y evaluar CVEs que soportan la interacción de pequeños grupos que trabajan conjuntamente. Han hecho uso de sistemas basados en proyección los cuales proporcionan la representación de datos compartidos, la manipulación compartida, la integración de vídeo y permite la comunicación de audio y control entre los participantes remotos, también proporciona una forma una forma natural de interactuar con los datos compartidos [56]. En algunas propuestas se evalúa principalmente la influencia del realismo de los CVEs, lo cual es necesario para intercambiar e interactuar con otras personas en el desarrollo de una tarea en común [2], [8]. Otros trabajos utilizan métodos de evaluación de usabilidad aplicados a CVEs, como heurística de expertos [57], evaluación formativa [56], [57] y evaluación sumativa [56]. Adicional a esto, Churchill y Snowdon,

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

implementan y evalúan una serie de técnicas de interacción que aportan a las actividades de colaboración y cooperación sincrónica y asincrónica con el fin de decidir si hay colaboración entre los mismos usuarios y además consideran que los sistemas de RV apoyan el trabajo colaborativo de varios grupos de personas trabajando en equipo [17]. Hrimech *et al.* [9] proponen una metodología para la evaluación de la experiencia del usuario en función de las metáforas de interacción en un CVE. Para ellos la experiencia del usuario en un CVE debe evaluarse con criterios tanto del trabajo colaborativo a distancia como de la RV [9]. Hrimech y Merienne [8] proponen un método para evaluar el impacto de la interacción 3D en un CVE a partir de un conjunto de métricas calculadas a través de datos medidos y recolectados por observación directa y entrevistas a los mismos usuarios. El objetivo principal fue el de estudiar el efecto de las metáforas de interacción 3D en un CVE con el fin de evaluar la copresencia, participación, awareness, y el esfuerzo de la colaboración. Los resultados de este estudio mostraron diferencias significativas entre las tres condiciones de metáforas de interacción (condición mano virtual, condición Ray Casting, y condición GoGo) [8].

### 2.2.3 Evaluación de navegación en CVEs

Los diseños de navegación en entornos virtuales a menudo se basan en resultados de la investigación sobre los comportamientos de navegación de los humanos en el mundo real, de forma similar se realizan los procesos de evaluación de la navegación [21]. Hay que tener en cuenta que el problema de navegación virtual ha sido abordado desde diferentes enfoques, donde las propuestas de investigación se han centrado en cómo hacer frente a los problemas de navegación en entornos virtuales, por lo cual los procesos de evaluación se han enfocado en diagnosticar cómo las nuevas técnicas y ayudas mejoran la navegación de los usuarios en un CVE [58]. Así, Burigat y Chittaro compararon y evaluaron tres ayudas de navegación que se emplean ampliamente para apoyar a los usuarios en la realización de tareas 3D como el planeamiento de rutas (*way finding*) en entornos virtuales de escritorio, señalando la ubicación de los objetos o lugares. La evaluación se centró en medir los efectos de la experiencia del usuario en entornos virtuales de escritorio 3D considerando la eficacia que pueden llegar a tener las ayudas de la navegación [58].

Bowman *et al.* presentan una evaluación de siete técnicas de locomoción basadas en un banco de pruebas. El estudio se centró en medir el tiempo empleado en la completación de cada prueba (dividido en dos partes: el tiempo entre la aparición del estímulo y el comienzo del movimiento, y el tiempo real que pasó el usuario en movimiento). y la precisión de locomoción como métricas del desempeño de los participantes [10]. El trabajo realizado por Parush y Berman evaluó dos tipos básicos de ayudas a la navegación, ayudas verbales (descripción de la ruta) y ayudas espaciales (mapas). En este trabajo se examinó cómo los usuarios adquieren conocimiento espacial en un entorno virtual. La evaluación se realizó examinando cómo los usuarios realizan el proceso de planeamiento de rutas (*way*

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

*finding*) haciendo uso de las ayudas a la navegación [22]. Zhang desarrolló un estudio orientado al proceso de planeamiento de rutas realizado por un usuario [21]. Zhang descompone el proceso de navegación virtual en diferentes escalas de complejidad cognitiva. De esta forma plantea un estudio con el fin de determinar cómo afectan los procesos de navegación cuando a un usuario se le incrementa el nivel de detalles en un VE a medida que alcanza una meta de navegación a una escala cognitiva [21]. Hrimech *et al.* investigan el efecto de tres técnicas de navegación en 3D a través de la experiencia del usuario en función de las metáforas de interacción en un CVE [9]. Adicionalmente ellos presentan las características *affordances*<sup>2</sup> de técnicas de navegación, utilizando diferentes aspectos de la experiencia del usuario, como el *awareness*<sup>3</sup>, el esfuerzo de colaboración, presencia y satisfacción [9]. Yang evalúa algunas características de la navegación colaborativa presentando un estudio que evalúa cómo el punto de vista de un usuario que navega a través de un vehículo (*awareness* de navegación visuales) afecta la realización de tareas que impliquen navegación colaborativa [6]. En éste estudio se obtiene información acerca de la navegación colaborativa espacial tal como, indicadores de desempeño y satisfacción del usuario [6]. Dodds [2] desarrolla una comparación de diferentes metáforas de navegación y cómo estas afectan la interacción colaborativa de los usuarios en los entornos virtuales. Las metáforas comparadas fueron: Dinámica de Grupos Móviles (en inglés, Mobile Groups Dynamic - MGD), Tiempo Virtual (en inglés, time virtual - VT) y Pestañas en la Pantalla, las cuales permiten comunicación tanto sincrónica como asincrónica en CVEs. A través de la comparación de estas metáforas el autor obtuvo datos medibles como la comunicación entre los participantes, el posicionamiento espacial y, el uso de las metáforas de MGD y VT y evaluaron diferentes usuarios con el fin de decidir si el uso de estas metáforas apoya la colaboración entre los participantes que realizan una tarea de navegación en común [2].

En el año 2012, en el marco del 3DUI (evento de interacción en 3D más importante a nivel mundial), se presentó un concurso que buscaba el desarrollo de una aplicación que permitiera un proceso de navegación colaborativa en un entorno virtual 3D complejo. Se debía permitir que dos usuarios pudieran interactuar simultáneamente, pero ubicados en diferentes lugares geográficos, y sin poder comunicarse a través de dispositivos que permitan la comunicación verbal. El concurso incluía la realización de una evaluación exploratoria para determinar la eficacia de las interfaces de navegación colaborativa, considerando aspectos como el desempeño, diversión, facilidad de uso y facilidad de colaboración. Se presentaron siete trabajos los cuales evaluaron la navegación colaborativa llevando a cabo un estudio piloto con varios pares de usuarios, con el

---

<sup>2</sup>El *Affordance* es la cualidad de un objeto o ambiente que permite a un individuo realizar una acción. -En 1988, **Donald Norman** utilizó el término *Affordances* en el contexto HCI para referirse a esas posibilidades de acción que son inmediatamente percibidas por el usuario [9].

<sup>3</sup>El *awareness* se define en inglés como el sustantivo de “estar al tanto”, “consiente”, “tener conocimiento” o “estar informado” [6], [96].

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

fin de registrar algunos eventos medibles como el tiempo de terminación de la tarea, valoraciones de los usuarios con respecto a la facilidad de uso, entre otras [59], [60], [61], [62], [63], [64], [65].

En [59] se comparte una experiencia mediante un juego que explora diferentes tipos de interacción en un entorno virtual colaborativo. Una de las ventajas, es que las personas que realicen este tipo de actividades o que simplemente interactúen con este tipo de juegos logran proporcionar información, la cual pueden utilizar en la vida real. En [60] se presenta un prototipo para un sistema colaborativo que está dirigido a la búsqueda y recuperación de tareas con propósitos colaborativos. Este sistema ha sido diseñado en forma de juego con el fin de culminar una tarea en tiempo cronometrado y se comparten datos del mundo virtual en dos plataformas ubicadas en diferentes lugares. En [61] presentan un juego en el cual proponen un conjunto de metáforas permitiendo que dos usuarios puedan colaborar en un entorno virtual colaborativo, no se hace uso de la comunicación verbal ni textual, esta se realiza mediante objetos virtuales compartidos entre los jugadores. En [62] se llevó a cabo un estudio de usuarios con el fin de poner a prueba la interfaz de guía, la hipótesis fue que la interfaz del guía no se puede utilizar para acelerar el proceso de búsqueda de objetos, en lugar de sólo caminar alrededor en un mundo virtual, también mencionan que la interfaz es útil tanto para los roles de usuario y guía. En [63] hacen uso de un sistema colaborativo en el que se presenta una guía para los socorristas de búsqueda y rescate dentro de un edificio virtual. En [64] mencionan en su estudio que se ha diseñado una interfaz de navegación colaborativa en donde se tiene un usuario que es el usuario controlador o quien guía al segundo usuario, el usuario remoto o quien navega a través de un entorno de juego en 3D. El usuario encargado del control de la interfaz o del control de la colaboración es quien guía al usuario navegador a través de comunicación mediante señales. En [65] se presenta una solución donde hay dos usuarios, uno llamado (power user) y el otro (Explorer), el primero tiene una visión global del entorno 3D, y el otro usuario tiene una vista del entorno en primera persona. El power user utiliza los gestos co-localizados para manipular el entorno de realidad virtual en un muro como pantalla y el explorador desplaza la escena por medio de un punto, señala hacia donde él quiere ir con un controlador Wiimote.

### 2.2.3.1 Métricas de navegación

Bowman propone una metodología general, que implica una asignación de técnicas de viaje para un conjunto de métricas de desempeño como velocidad, precisión, awareness espaciales, facilidad de aprendizaje, facilidad de uso, recopilación de información, presencia y comodidad del usuario [66]. Usoh y *col* [67], utilizan métricas, principalmente de awareness basadas en cuestionarios subjetivos sobre la sensación de presencia, la experiencia de los usuarios al caminar en un VE como walking-in-place (caminar en un lugar), push-button-fly (pulsar un botón para avanzar) y real walking (caminata real), donde los usuarios deben conservar los recuerdos detallados de cada parte de la experiencia

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

mientras están en el VE para contestar el cuestionario [67]. Yang propone métricas como tiempo de búsqueda, tiempo de viaje, tiempo de auto-viaje, tiempo de viaje guiado, esfuerzo de colaboración y orientación espacial, para evaluar el awareness durante la búsqueda de objetos en un espacio tridimensional [6]. Whitton y *col* [68], usan métricas como el tiempo, la velocidad, la desaceleración, la distancia, para la caracterización y comparación de los movimientos de los usuarios en distintas condiciones de interfaces visuales de locomoción como caminata real, caminar en un lugar “walking-in-place” y volar [68]. Kopper *et al.* [69], describen el diseño y la evaluación de dos técnicas de navegación denominadas: en base a la dirección y en base al objetivo, para entornos virtuales multiescala (MSVEs) [69]. Para la evaluación de estas técnicas, hicieron uso de métricas de rendimiento como tiempo de terminación de la tarea, tiempo entre escalas, niveles de dificultad en la navegación, esta última se obtiene por medio de valoraciones subjetivas [69].

Ruddle y Lessels [16], proponen tres niveles distintos de métricas para la evaluación del comportamiento de los usuarios en el planteamiento de rutas en VEs. En el primer nivel presentan métricas directas de ejecución de tareas con base en el desempeño de los usuarios. En un segundo nivel proponen métricas del comportamiento de los usuarios mientras realizaban una tarea. Para el tercer nivel la propuesta se basa métricas de razonamiento cognitivo que proporcionan una explicación para el comportamiento, tratando de establecer razones de las decisiones que toman los usuarios en un VE [16]. Cirio y *col* [70], utilizan métricas como tiempo de finalización de la tarea, amplitud de caminado en el mundo real, desviación de la ruta, y métricas subjetivas como la facilidad de uso, fatiga, velocidad de locomoción y apreciación general (cuestionario subjetivo), en la validación proponen una metáfora de interacción novedosa, llamada la cinta de barrera mágica (The Magic Barrier Tape), que incentiva el caminado real al interior de una cadena de inmersión (CAVE) [70]. Hölscher y *col* [71] emplean métricas de desempeño, comportamiento, orientación, verbalización, tiempo de duración, tiempo de parada, y distancia de desvío, en la evaluación de las estrategias usadas por individuos en el planeamiento de rutas en un ambiente real [71]. Suma *et al.* [72] usan métricas como el desempeño, la cognición y el estado mental de los usuarios en la evaluación de diferentes técnicas de navegación en un ambiente virtual [72]. McMahan *et al.* [73] usaron métricas como el tiempo de giro, errores de dirección, errores de caída, errores de choque, y medidas subjetivas como la preferencia general, la facilidad de uso y el placer percibido, en un estudio que comparó técnicas naturales y no naturales de interacción usadas para la navegación en video juegos [73]. Nybakke *et al.* evalúan la el desempeño al navegar en un entorno virtual utilizando una silla de ruedas motorizada al ser comparado con el caminado natural o el uso de un joystick [74]. Para la evaluación se usaron métricas de rendimiento como el número total de objetivos explorados, distancia total recorrida, tiempo total empleado en la búsqueda, caminata real, rotación y movimiento virtual [74]. McMahan *et al.* [75] evalúan los efectos de la fidelidad de la visualización y, de la interacción en la experiencia en la navegación

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

del usuario, usando medidas de desempeño como tiempo de finalización de la tarea, daño recibido, precisión de disparo, número total de tiros, también se evaluaron los efectos de la fidelidad en respuestas subjetivas, como la presencia, la participación y la facilidad de uso [75].

De lo anterior, se puede concluir que los trabajos previos presentan conjuntos de métricas evaluadas tanto en el proceso de evaluación de colaboración como en el proceso de evaluación de navegación, pero estas métricas no abarcan todas las necesidades de evaluación de navegación colaborativa, por lo cual surge la necesidad de proponer un conjunto de métricas que permitan diagnosticar un proceso de evaluación de navegación de manera colaborativa.



### 3 Métricas de evaluación de colaboración en navegación 3D

El presente capítulo describe la propuesta resultado de este proyecto de grado, un conjunto de métricas para evaluar la colaboración en tareas de navegación en 3D. Los detalles de los procesos que permitieron consolidar esta propuesta están explicados detalladamente en el **capítulo 4**, al igual que el proceso de evaluación experimental que fue realizado. La primera sección de este capítulo describe los principales referentes teóricos, y la segunda sección describe la propuesta en sí.

#### 3.1 Referentes teóricos

Es necesario aclarar que este trabajo se realizó a partir de un proceso de depuración bibliográfica la cual es descrita en la **sección 4.1**, el cual tuvo en cuenta un número importante de trabajos relacionados explicados de forma general en la **sección 2.2**. Sin embargo, dos referentes importantes marcaron este trabajo, por lo cual son explicados en detalle a continuación.

##### 3.1.1 Indicadores de colaboración en el trabajo grupal

Guerrero *et al.* definen un conjunto de cinco (5) indicadores para la evaluación de la colaboración [48]. Puntualmente, en esta propuesta se realiza una evaluación o diagnóstico que se orienta en valorar cómo los usuarios interactúan de manera grupal en una actividad de colaboración y cómo este trabajo se aproxima o no al ideal del trabajo colaborativo [48]. Posteriormente Collazos *et al.* presentan un modelo específico para la evaluación de entornos de aprendizaje colaborativo usando estos indicadores, y evidenciando la aplicabilidad de éstos en distintas aplicaciones [76], [77], [49], [34]. El conjunto de métricas definidas por Guerrero *et al.* [48] y Collazos *et al.* [76], [77], [49], [34], son cinco (5) indicadores que permiten evaluar el desempeño durante la ejecución de las actividades del grupo. Adicionalmente, con el promedio de los cinco indicadores se propone un índice de cooperación que permite evaluar de forma global a cada grupo. Los cinco indicadores se explican a continuación.

##### A. Aplicación de estrategias

Este indicador permite capturar la habilidad de los integrantes del grupo para generar, comunicar y aplicar consistentemente una estrategia para que de forma conjunta puedan resolver el problema. El generar estrategias para resolver un problema ayuda a los integrantes del grupo a construir un modelo mental de los objetivos y la tarea a resolver. El modelo mental puede ayudar a mejorar la coordinación en el grupo, dado que cada integrante sabe cómo sus tareas se relacionan con el logro del objetivo principal de la actividad grupal.

##### B. Cooperación intragrupal

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

Este indicador corresponde a la aplicación de estrategias de colaboración definidas previamente durante el proceso de trabajo en grupo. Un grupo logra interdependencias, cuando todos sus integrantes perciben que sus objetivos están positivamente correlacionados de tal forma que; un individuo puede lograr sus objetivos si todos los demás los logran. En el aprendizaje colaborativo, estos objetivos corresponden a las necesidades de cada integrante de entender las ideas, preguntas, explicaciones de los demás integrantes. Se entiende como un indicador donde se provee ayuda y apoyo además de tener en cuenta a comunicación entre los miembros del grupo.

### **C. Revisión de criterios de éxito**

Este indicador mide el grado de compromiso de los miembros del grupo en la revisión de limitaciones, lineamientos y roles durante la actividad grupal. Puede incluir un resumen de los resultados de la última tarea, la asignación de los puntos de acción a los miembros del grupo, y tomando nota de los tiempos de finalización prevista de las asignaciones. Proporciona información sobre el interés de los miembros para revisar sus roles, su desempeño y sus resultados con el fin de lograr el objetivo principal. Refleja el interés en el desempeño individual y colectivo.

### **D. Monitoreo**

Este indicador se entiende como una actividad reguladora. El objetivo es observar si el grupo mantiene la estrategia seleccionada para resolver el problema, enfocándose en el logro de los objetivos y cumplimiento de los criterios de éxito. Si un integrante del grupo no mantiene el comportamiento deseado, el grupo no alcanzará los objetivos. Para Collazos *et al.* [76], [77], [49], [34], este indicador está relacionado con el número de mensajes de coordinación, donde un pequeño número de mensajes significa que hubo una buena coordinación.

### **E. Desempeño**

Este indicador proporciona una comprensión de los logros del grupo. Para la evaluación formal del trabajo colaborativo se deben tener en cuenta tres aspectos: la calidad (cuán bueno es el resultado del trabajo colaborativo), tiempo (tiempo total transcurrido durante el trabajo) y trabajo (cantidad total de trabajo realizado). Para Collazos *et al.* [76], [77], [49], [34], la calidad es medida por tres factores: logro del objetivo, errores cometidos y actividades realizadas. El trabajo es medido por el número total de mensajes enviados por los integrantes del grupo.

### **3.1.2 Tres niveles de métricas para evaluar el planeamiento de rutas**

El segundo y uno de los grandes referentes teóricos de este trabajo, es la propuesta de Ruddle y Lessels [16], que proponen tres niveles distintos de métricas para la evaluación de planeamiento de rutas (*way finding*). Puntualmente, estos tres niveles de métricas pretenden medir: a) el desempeño de los usuarios en una tarea, b) el comportamiento de los usuarios en el VE, y c) la toma de

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

decisiones o razonamiento cognitivo. Los tres niveles de métricas han sido extraídos a través de la investigación del planeamiento de rutas en tareas de navegación en entornos 3D y están diseñadas para evaluar cómo un usuario navega dentro de un entorno inmersivo 3D. A continuación se describen cada uno de los tres niveles de métricas propuestos por Ruddle y Lessels [16].

## A. Nivel 1: Métricas de desempeño

Este es el nivel más utilizado para evaluar el desempeño de los usuarios ya que se mide directamente el desempeño de sus tareas, y es el método más común para evaluar el planeamiento de rutas. La característica clave de este tipo de métricas es que proporciona medidas generales del desempeño de los usuarios durante la ejecución de una tarea.

La mayoría, pero no todas las evaluaciones del planeamiento de rutas utilizan al menos una medida directa del desempeño en la tarea, como por ejemplo: el tiempo necesario para completar la tarea, la distancia total recorrida o el número de errores cometidos. Estos datos pueden subdividirse para reportar el tiempo empleado para realizar viajes parciales (sub-tareas), pero debe tenerse en cuenta que dicha forma no proporciona información sobre el comportamiento de los usuarios durante el planeamiento de rutas. Ruddle y Lessels indican que se debe tener cuidado en el momento de elegir medidas para la evaluación del desempeño en el planeamiento de rutas.

## B. Nivel 2: Métricas de comportamiento físico

Esta métrica proporciona información acerca de lo que los usuarios están haciendo en una determinada tarea, no solo el tiempo que se tomaron o la precisión con la que la realizan. Dividen el comportamiento físico en las siguientes categorías:

### 1. Acciones físicas

- a. **Locomoción:** El primer aspecto de las acciones físicas que es necesario abordar es la métrica para medir a dónde los usuarios viajan durante su planeamiento de rutas. Un método consiste en contar el número de veces que cada parte de un entorno es visitado. Un segundo enfoque es el de dividir la locomoción de los usuarios en una secuencia de eventos (movimientos en línea recta o a lo largo de curvas) intercalados con períodos en los que los usuarios den una pausa o parada en el VE. Un tercer enfoque son métricas que proporcionen información acerca de los caminos tomados en el planeamiento de rutas.
- b. **Mirar alrededor:** El segundo aspecto de las acciones físicas de los usuarios es, cómo los usuarios ven alrededor mientras navegan. Mirar alrededor durante el planeamiento de rutas, lleva a cabo tres marcos principales de referencia i) la vista-referencia, ii) con referencia al cuerpo, y iii) referencia del mundo.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- c. **Observación:** La mayoría de los estudios sólo han evaluado lo que los usuarios hicieron dentro de un VE, pero muy pocas veces los estudios han registrado formalmente a usuarios dentro y fuera de las actividades relacionadas con la pantalla.
2. **Clasificación del tiempo invertido realizando diferentes tipos de acciones:** Estas métricas clasifican el comportamiento en cuanto a la cantidad o proporción de tiempo que los usuarios pasan en la realización de diferentes tipos de acciones.
3. **Clasificación de errores cometidos:** El número de errores que los usuarios cometen durante el planeamiento de rutas se utiliza con frecuencia como una medida del desempeño, es raro que los errores se clasifiquen, a pesar de que esto puede poner de relieve algunas de las causas fundamentales de los usuarios de la dificultad con la que han navegado en un determinado VE.

### C. Nivel 3: Métricas de razonamiento cognitivo

Ruddle y Lessels mencionan que las métricas de este nivel operan en el más alto de los tres niveles, y proporciona una explicación de las diferencias observadas o capturadas por las métricas de comportamiento, y proponen tres técnicas para evaluar este tipo de métricas como (cuestionarios, hablar en voz alta y las entrevistas). El pensar en voz alta es un método que puede proporcionar información detallada durante el proceso de planeamiento de rutas, aunque con el riesgo de que la obligación de pensar en voz alta afectará el rendimiento en el planeamiento de rutas de un usuario y puede romper la sensación de inmersión. Las entrevistas y los cuestionarios no afectan el proceso del planeamiento de rutas ni la inmersión, pero no se confía en que el usuario tenga una memoria exacta. Todas las métricas de razonamiento se basan en cierta medida en que los usuarios puedan aclarar las razones de las decisiones que toman, ya que éstas podrían tener un desarrollo positivo para la evaluación del planeamiento de rutas en VEs.

### 3.2 Métricas de colaboración en navegación 3D

Las métricas aquí propuestas ayudan a evaluar cómo colabora un equipo y cómo es la interacción interna e individual de sus miembros y son obtenidas individual o colectivamente mientras se ejecuta la actividad grupal.

La **Figura 3** muestra los seis conjuntos de métricas definidas en este trabajo, donde cada conjunto de métricas puede ser considerado como un indicador de la colaboración del equipo. El conjunto de métricas definido puede ser obtenido por distintas fuentes, a partir de los registros del sistema recolectados durante el desarrollo de la actividad, cuestionarios aplicados a los usuarios y análisis de información audiovisual. Por ejemplo, métricas derivadas de datos como el tiempo, número de errores son calculadas por datos de los archivos de registros o log. Elementos subjetivos como el nivel de inmersión percibida, son calculados por medio de cuestionarios. Métricas asociadas a la comunicación pueden ser

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

calculadas a partir de los registros de log o de registro audiovisual, dependiendo de la tarea a ser evaluada. A continuación se describe el conjunto de métricas propuesto.



Figura 3: Conjunto de métricas propuesto para evaluación de navegación 3D.

## 3.2.1 Desempeño

Este conjunto de métricas pretende medir el desempeño general del grupo basándose en el resultado obtenido al finalizar la actividad. El desempeño es una métrica que se puede observar individualmente o colectivamente. En una actividad de navegación colaborativa, el desempeño proporciona información acerca de los logros que tiene un equipo en dicha actividad, también estima si los resultados en una evaluación serán buenos o malos.

Un buen desempeño quiere decir que se desarrolló un trabajo de buena calidad en un lapso de tiempo determinado. Si se observa que un equipo ha obtenido un buen desempeño, significa que como equipo hubo buena colaboración para lograr dicho desempeño, dado que un proceso colaborativo, se puede considerar como adecuado si sus resultados son buenos [15].

El resultado final para esta medida de acuerdo con Collazos [15], debe considerar tres aspectos medibles en una actividad colaborativa: calidad, trabajo y tiempo. La calidad se obtiene según el grado de cumplimiento del objetivo global por parte del grupo, el trabajo se determina observando qué tanta comunicación hubo entre los miembros del grupo y el tiempo es relativo a la rapidez con la que se desarrolló la actividad de navegación.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

También, el desempeño en una tarea de navegación colaborativa puede verse influenciado por las habilidades espaciales de los participantes. De esta manera, el desempeño en el proceso de locomoción (*Locomotion - L*) proporciona información sobre las habilidades de movimiento de los individuos tales como la traslación y la rotación. El desempeño en el planeamiento de rutas (*Way finding, Path finding - W*) proporciona información sobre la toma de decisiones de los individuos acerca de las rutas y la orientación que determinan para trasladarse de un lugar a otro (ir de un punto A, a un punto B).

Métricas como el tiempo transcurrido en la actividad, objetos capturados son medidas del desempeño. Estas y otros eventos medibles son medidas directas que se pueden recolectar automáticamente a través de archivos de registro o log y medidas subjetivas que pueden ser recolectadas a través de cuestionarios aplicados a los usuarios.

### 3.2.2 Aplicación de estrategias

Como describen Guerrero *et al.* [48] y Collazos *et al.* [76], [77], [49], [34], en una tarea colaborativa no hay estrategias buenas y malas en sí mismas, pero si adecuadas e inadecuadas para un contexto determinado. Esto puede ser aplicado directamente en tareas de navegación colaborativa. Los resultados que obtenemos, lo bien o lo rápido que se aprende dependen en gran medida de saber elegir la estrategia adecuada para cada tarea. En [15], el autor expone que una estrategia es “producir un único producto o poner en su lugar un sistema de evaluación donde las recompensas sean basadas en puntajes individuales y en el promedio para el grupo como un todo”.

Teniendo en cuenta que la actividad a evaluar es sincrónica, es necesario que el equipo defina actividades condicionales y responsabilidades específicas para crear una estrategia consistente. Esta métrica es determinada por la calidad de las estrategias definidas durante la actividad y de qué tan consistente es el grupo aplicando dicha estrategia.

Una estrategia se compone de una serie de acciones planificadas que ayudan a tomar decisiones y a conseguir los mejores resultados posibles, así, la aplicación de estrategias es una medida de la capacidad o habilidad de los miembros del equipo para generar, comunicar y aplicar una estrategia consistente para resolver una tarea de navegación. Los equipos deben definir las estrategias a aplicar para resolver la tarea.

Métricas como índice de caminado relativo e índice de caminado del equipo son medidas de aplicación de estrategias, dado que a través de estas métricas se determina qué estrategias aplicaron los participantes, en este caso si la distancia de caminado es semejante a la distancia de la ruta ideal, es porque generaron, comunicaron y aplicaron diferentes estrategias para llegar a un destino. La

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

distancia de la ruta ideal, es la ruta más corta para llegar a un destino. Estas y otros eventos medibles son medidas directas que se pueden recolectar automáticamente a través de archivos de registro o log y medidas subjetivas que pueden ser recolectadas a través de cuestionarios aplicados a los usuarios.

### **3.2.3 Cooperación intragrupal**

Si los miembros son capaces de entender cómo su trabajo en una tarea de navegación se relaciona con los objetivos del equipo a nivel global, entonces los miembros pueden anticipar sus acciones, lo que requiere menos esfuerzos de coordinación.

Cuando se trabaja en equipo en una tarea de navegación, es muy probable que no exista una única línea táctica en todos los miembros de la actividad. Esto hace que la comunicación durante la actividad sea primordial para coordinar cómo el fortalecimiento de esas tácticas formará la estrategia del grupo.

Esta medida revela qué tanta comunicación hubo entre los miembros del equipo, y se determina directamente observando la cantidad de tiempo invertido en comunicación durante la tarea de navegación. En una actividad de navegación colaborativa, es de esperarse que el nivel de comunicación entre los participantes sea el adecuado para que haya un buen entendimiento entre los mismos.

Los miembros del equipo en una tarea de navegación colaborativa intercambian información únicamente acerca de la tarea en curso, y mantienen el control de la parte independiente que realizan, sin compartir recursos.

Métricas como el índice de velocidad relativa e índice de velocidad del equipo son medidas de cooperación intragrupal, dado que cada miembro del equipo debe cooperar entre sí, de tal manera que generen una misma velocidad durante la interacción en el entorno virtual. Otra medida que apoya la métrica de cooperación intragrupal es la comunicación, que puede ser recolectada a través del registro audiovisual. Estas y otros eventos medibles son medidas directas que se pueden recolectar automáticamente a través de archivos de registro o log y medidas subjetivas que pueden ser recolectadas a través de cuestionarios aplicados a los usuarios.

### **3.2.4 Coordinación**

Es de pensar que un grupo que tenga altos niveles de colaboración no necesitará que se replanteen responsabilidades individuales, y tampoco es necesario que las responsabilidades sean recordadas a los participantes.

Esta métrica en una tarea de navegación implica que hay equilibrio cuando los participantes del equipo emplean estrategias iguales o correspondientes. La

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

métrica de coordinación implica sincronización del equipo y tomar responsabilidades no solo individuales sino en equipo como una acción común.

Cuando en una tarea de navegación colaborativa un equipo necesita comunicarse muchas veces para replantear o recordar responsabilidades a sus participantes significa que hay fallas en la colaboración, puesto que si desde un principio se definió una estrategia, las tácticas individuales debieron basarse en las habilidades y competencias individuales de cada participante. Los replanteamientos de la estrategia ocurrirán, en la mayoría de los casos, si alguno de los participantes no estuvo en capacidad de cumplir con sus metas individuales.

Métricas como la distancia entre usuarios, proximidad al objetivo son medidas de coordinación. Dado que estas métricas proporcionan información de qué tan coordinados estuvieron los participantes tanto en la distancia entre usuarios que muestra qué tan alejados de la distancia de separación estuvieron los participantes y en la proximidad al objetivo que muestra qué tan coordinados estuvieron los participantes para acercarse a un objetivo como equipo. Estas y otros eventos medibles son medidas directas que se pueden recolectar automáticamente a través de archivos de registro o log y medidas subjetivas que pueden ser recolectadas a través de cuestionarios aplicados a los usuarios.

### **3.2.5 Orientación espacial**

La métrica de orientación espacial proporciona información de la capacidad natural de los miembros del equipo para mantener la orientación del cuerpo y la posición relativa al entorno virtual. La orientación espacial depende en gran medida de la información visual y la información de todo el cuerpo mientras los participantes se mueven en el entorno virtual [6].

La orientación espacial en una tarea de navegación es básicamente la capacidad de conocer la propia ubicación en el entorno y la ubicación relativa de los otros elementos del mismo. La mayoría de los estudios exponen que en general la falta de puntos de referencia (ayudas a la navegación) en los entornos, degradan el desempeño y la orientación en la navegación.

El índice de giro del equipo es una medida de la orientación espacial, dado que los participantes pueden no conocer el entorno virtual y tampoco los elementos del mismo. Estas y otros eventos medibles son medidas directas que se pueden recolectar automáticamente a través de archivos de registro o log y medidas subjetivas que pueden ser recolectadas a través de cuestionarios aplicados a los usuarios.



## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

### **3.2.6 Inmersión**

El usuario tiene la sensación de hacer parte del mundo tridimensional y dependiendo del nivel de inmersión, es posible obtener un mejor desempeño. La inmersión es medida desde la perspectiva de la presencia y la copresencia. La presencia y la copresencia se relacionan con los awareness, sentir la presencia del otro, sentir que como equipo están navegando juntos en el VE. La inmersión en el VE, es generalmente determinada a través de un cuestionario aplicado a los usuarios [78].

Dado que los procesos de evaluación de inmersión se han realizado a nivel de presencia y copresencia, en este trabajo se adaptaron preguntas del siguiente cuestionario [79], que apoyan la métrica de inmersión, las cuales son medidas subjetivas medidas desde la percepción del usuario.

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## 4 Metodología

Este capítulo describe los pasos metodológicos usados para elaborar y validar la propuesta descrita en el **capítulo 3**. Cada sección de éste capítulo incluye el proceso usado para alcanzar cada uno de los objetivos específicos presentados en la **sección 1.3.1.2**.

### 4.1 Proceso metodológico para definir un conjunto de métricas que permitan evaluar el grado de colaboración en una tarea de navegación

#### 4.1.1 Identificación de métricas utilizadas en el proceso de evaluación de colaboración y navegación en trabajos previos

Para la elaboración de este trabajo fue necesario realizar un listado de métricas utilizadas con anterioridad en evaluación de colaboración y métricas de evaluación de navegación, las cuales fueron el insumo principal. La **Tabla 2** lista las fuentes que fueron consultadas durante este proceso.

Tabla 2: Fuentes de información.

ID Fuente	Fuente
F1	IEEE Xplore Digital Library
F2	Proquest
F3	SpringerLink
F4	Engineering Village
F5	Worldcat.org
F6	Ebsco
F7	Science Direct - Computer Science
F8	ACM Library
F9	Google Scholar

Otras fuentes importantes fue la búsqueda dirigida a congresos puntuales en áreas de estudio como ACM CSCW (2009-2014), ECSCW (2009 - 2014), CHI (2009 - 2014) y 3DUI (2009 - 2014).

Para identificar los trabajos de interés en las fuentes de información se hicieron búsquedas usando las siguientes palabras claves: metric, indicator, measure, measuring, data collection, performance, evaluation, navigation, collaborative virtual environment. Con los trabajos obtenidos de la búsqueda realizada anteriormente, se elaboró un conjunto de métricas empleadas en evaluación de colaboración y navegación. La **Tabla 3**, lista las métricas identificadas en la evaluación de colaboración, algunas han sido usadas en la evaluación general de la colaboración [15], [44], [76], [42], [80], [52], [54], [81], [82] otras en el monitoreo de procesos de aprendizaje colaborativo [15], [44] y métricas usadas en entornos virtuales [47], [53], [50], [83].

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

**Tabla 3: Métricas utilizadas en evaluación de colaboración.**

Métrica	Referencia
Desempeño individual	[15], [44], [76]
Desempeño colectivo	[15], [44], [76], [42], [47], [53], [80], [50], [83]
Desempeño subjetivo	[42], [47], [53], [80]
Aplicación de estrategias	[15], [44], [76]
Cooperación intragrupal	[15], [44], [76]
Revisión de criterios de éxito	[15], [44], [76]
Monitoreo	[15], [44], [76]
Comportamiento individual	[53], [50]
Comportamiento colectivo	[53], [50], [52], [54]
Calidad de interacción	[81]
Comunicación	[50], [54], [81], [82]
Percepción subjetiva de la carga de trabajo	[54], [82]

De forma similar, las tablas **Tabla 4** y **Tabla 5** muestran un conjunto de métricas usadas en evaluación de navegación, las cuales fueron categorizadas de acuerdo con los dos procesos de navegación: locomoción (**Tabla 4**) y planeamiento de rutas (**Tabla 5**). Algunas de las métricas identificadas han sido usadas en tareas de navegación realizadas por un solo individuo [16], [10], [66], [57], [69], [84] y otras métricas han sido aplicadas para evaluar una tarea de navegación con dos o más participantes desarrollando una actividad colaborativa, en este caso una tarea de navegación colaborativa en un entorno virtual 3D [75], [6], [73].

**Tabla 4: Métricas utilizadas en evaluación de navegación (Locomoción).**

Métrica	Evaluación		Referencia
Desempeño	Individual	Colaborativa	[10], [66], [57], [70], [29], [69], [85], [75], [6], [86], [74], [84], [71], [58], [73]
Desempeño subjetivo	Individual		[10], [66], [57], [70], [29]
Comportamiento	Individual		[71], [16]

**Tabla 5: Métricas utilizadas en evaluación de navegación (Way finding).**

Métrica	Evaluación		Referencia
Desempeño	Individual	Colaborativa	[16], [10], [66], [57], [70], [29], [69], [86], [71], [58], [73], [72]
Desempeño subjetivo	Individual		[10], [66], [57], [70], [29], [69], [6], [73]
Comportamiento	Individual		[16], [6], [71], [87]
Razonamiento cognitivo	Individual		[16]
Orientación espacial	Individual		[73], [30], [67]
Inmersión (Presencia, copresencia)	Individual		[67]

Para el filtrado de métricas tanto del proceso de Colaboración como del proceso de Navegación, se tuvo en cuenta el conjunto de métricas más semejantes o similares en los dos procesos, por ejemplo del proceso de Navegación las métricas fueron desempeño, orientación espacial e inmersión y del proceso de Colaboración de acuerdo a los trabajos relacionados con Collazos *et al.* se obtuvo el desempeño, aplicación de estrategias, cooperación intragrupal y coordinación. El filtrado o propuesta final de métricas se obtuvo teniendo en cuenta los dos

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

procesos por separado (Colaboración y Navegación), donde la única métrica semejante en los dos procesos fue la métrica de desempeño.

El detalle de cada una de las métricas identificadas en este proceso se encuentra en el **Anexo B**.

### 4.1.2 Depuración de la información

A partir del listado inicial de métricas presentado en la sección anterior fue necesario un proceso de depuración que permitiera encontrar un conjunto de métricas adecuado al problema de navegación colaborativa. Este proceso implicó unir métricas de significado similar. La métrica de desempeño se obtuvo a través de conjuntos de métricas de desempeño (individual, grupal y subjetivo) en colaboración, locomoción y planeamiento de rutas. La métrica de aplicación de estrategias (individual y grupal) se obtuvo de algunas métricas de colaboración. La métrica de cooperación intragrupal se obtuvo a través de la unión de algunos conjuntos de métricas de colaboración como los son la revisión de criterios de éxito (individual y grupal) y comunicación. La métrica de coordinación se obtuvo a partir de métricas de monitoreo (grupal), métricas de comportamiento (individual y grupal) en colaboración, locomoción y planeamiento de rutas. Las métricas de orientación espacial e inmersión (presencia y copresencia), fueron obtenidas del proceso de planeamiento de rutas. De acuerdo a las métricas más comunes en los dos procesos de evaluación (evaluación de colaboración y evaluación de navegación), se buscó que las métricas sean útiles para realizar un diagnóstico o evaluación de la navegación colaborativa. Para llegar a la versión final, presentada en el **capítulo 3**, fue necesario realizar este proceso de depuración en varias iteraciones, el **anexo B**, muestra las diferentes versiones del conjunto de métricas y permite observar el proceso de depuración realizado.

## 4.2 Proceso metodológico para formular e implementar una tarea de navegación colaborativa en un entorno virtual 3D, para ser usada en una evaluación experimental

### 4.2.1 Diseño de la tarea de navegación colaborativa

Con el propósito de evaluar las métricas definidas y propuestas en este trabajo, se diseñó una actividad de navegación colaborativa para ser desarrollada en un entorno virtual 3D. Esta actividad debía cumplir con dos propiedades importantes, la primera, permitir que la colaboración estuviera presente en los procesos de navegación, es decir, tanto en la locomoción (locomotion - L) como en el planeamiento de rutas (way finding – W). El segundo, es que la actividad debía cumplir con las características de una actividad colaborativa, igual participación, responsabilidad individual e interdependencia positiva. Una importante restricción en el diseño de la tarea de navegación era el equipo de cómputo, interacción e

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

inmersión al cual se tenía acceso, lo que implicó diseñar una tarea para un equipo de dos personas.

Bajo el contexto anterior, y a partir de varias secciones de mesas de discusión con el director del trabajo de grado, se planteó una actividad de colaboración basada en el juego de captura de objetos, cuya descripción general se presenta a continuación.

*El objetivo principal de la actividad es el de realizar la búsqueda de objetos, en forma de bandera, en el entorno virtual los cuales deben ser capturados por el equipo. Para que la captura de un objeto se haga efectiva, los participantes como equipo tendrán que pasar sobre éste. Durante el proceso de búsqueda sólo un objeto será visible por el equipo, a medida que el equipo vaya capturando el objeto, un nuevo objeto aparecerá en el entorno virtual para iniciar una nueva búsqueda. Un objeto sólo está disponible para su captura por un lapso, si no es capturado en dicho lapso, el objeto desaparece, la búsqueda se da por perdida y aparece un nuevo objeto en otra ubicación del mundo virtual.*

Para la realización de la actividad anteriormente descrita fue necesario el diseño de un entorno virtual donde se realice la actividad, además fue necesario introducir en la actividad los elementos de navegación y las características de una actividad colaborativa como la interdependencia positiva, la responsabilidad individual y la igual participación. Los detalles de los elementos anteriormente mencionados se explican en las siguientes subsecciones.

### **4.2.1.1 Entorno virtual**

Para realizar la tarea descrita en la sección anterior se diseñó un laberinto donde se ubicarían los objetos a ser capturados. El diseño inicialmente planeado involucraba un entorno global compuesto por pequeños salones, donde se pudiera observar dos niveles cognitivos en el planeamiento de rutas. El tamaño de los pasillos del laberinto debía permitir una locomoción libre de los usuarios. Este proceso implicó la realización de diferentes bosquejos del laberinto y de la ubicación de las banderas. La **Figura 4** y **Figura 5** muestran los bocetos realizados del entorno virtual. Los bocetos fueron debatidos y depurados con el fin de lograr un entorno que presentara un grado de dificultad en la navegación pero que a su vez no fuera confuso para los usuarios. Entre los elementos que se discutieron se encuentran, el tamaño del entorno, el tamaño de los salones, entradas y salidas de los salones, número de objetos a ser capturados, la ubicación de los objetos, entre otros.

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

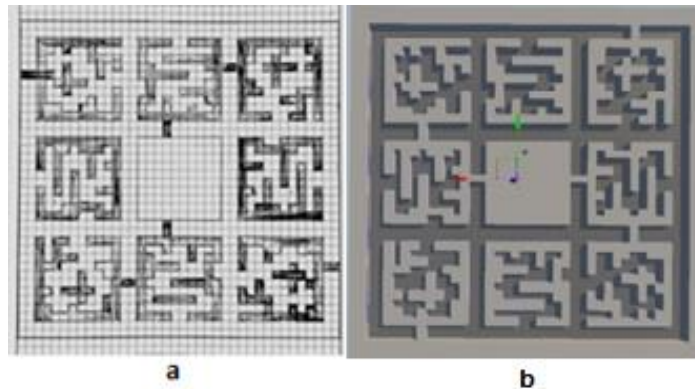


Figura 4: Bocetos mundo virtual. a) boceto en papel, b) boceto digital.

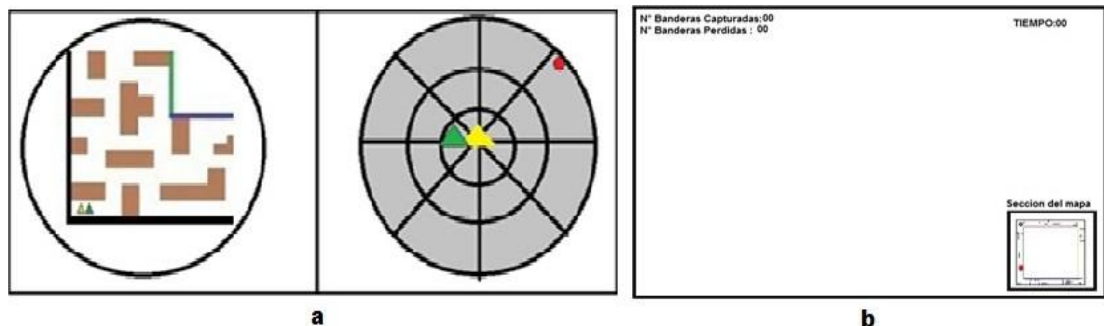


Figura 5: Bocetos mundo virtual a) mapas, b) vista del usuario.

## 4.2.1.2 Elementos de navegación

El proceso de locomoción diseñado para cada usuario sigue la metáfora de caminado y permitirá maniobrar tres grados o movimientos de libertad: adelante y atrás (forward - backward), giro (turn left – turn right) y desplazamiento lateral (strafe left – strafe right), ver **Figura 6**.

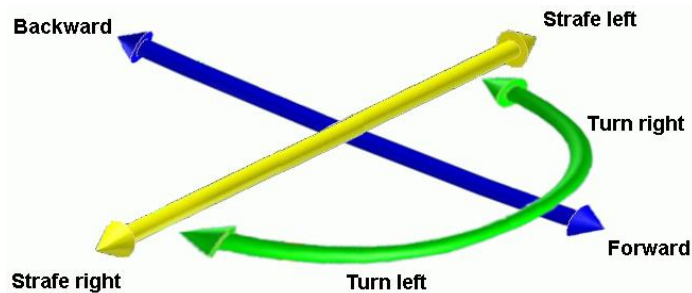


Figura 6: Grados o movimientos de libertad.

### 4.2.1.2.1 Planeamiento de rutas

Como se explicó en la **sección 2.1.3.1.1**, para un planeamiento de rutas adecuado se requiere de ayudas de navegación que permitan a los usuarios navegar en el

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

entorno 3D. Para facilitar el proceso de colaboración de los participantes en la tarea de navegación, se hace necesario el uso de ayudas a la navegación con el fin de que los participantes puedan ubicarse y moverse de la mejor manera en el entorno y que de esta manera se pueda dar una buena colaboración. Para ésta tarea se diseñaron tres modelos de ayudas de navegación, las cuales se describen a continuación.

### Radar

El radar muestra al participante la distancia relativa y la dirección en la que se encuentra la bandera a capturar, obteniendo una perspectiva desde arriba del entorno, sin tener una visión de la topografía general del entorno virtual, ver **Figura 7**.

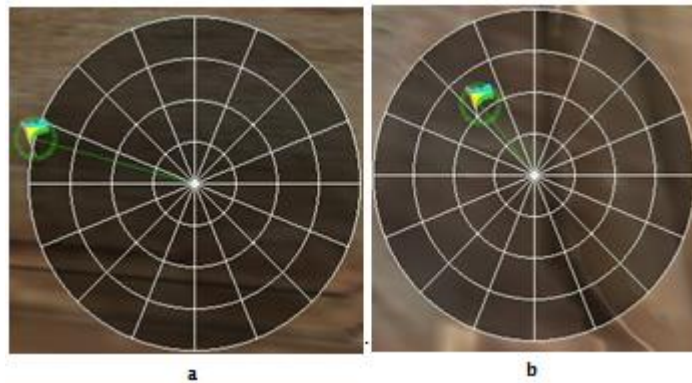


Figura 7: Vista del radar de los participantes. a) Lejos de la bandera, b) Cerca de la bandera.

### Minimapa global

Uno de los participantes puede ver a través del mapa la estructura del entorno virtual y a través del abanicó puede observar la dirección hacia donde está mirando para lograr ubicarse, de tal forma que pueda observar tanto su ubicación (punto verde) como la de su compañero (punto blanco), y además, le permita ver el camino a seguir a través de una visión global del entorno, ver **Figura 8**.



Figura 8: Vista del mapa global de los participantes.

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## **Radar- minimapa local**

En este caso, los dos participantes navegan de manera independiente, sin restricciones de locomoción, por esta razón es necesario que los dos tengan la misma vista, radar-minimapa local. Es un radar híbrido con una ubicación local del entorno el cual ayuda a determinar la orientación hacia donde se encuentra la bandera y al mismo tiempo muestra una parte de la estructura del mundo virtual, ver **Figura 9**.

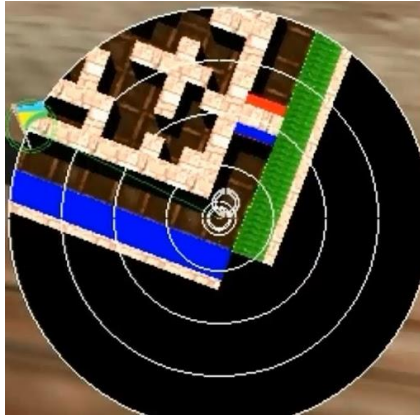


Figura 9: Vista del radar - minimapa local de los participantes.

### **4.2.1.3 Características de la tarea de navegación colaborativa**

Sobre la tarea diseñada se introdujeron elementos que garantizaran la colaboración y se diseñaron dos condiciones de colaboración diferentes para ser evaluadas con las métricas propuestas. La primera donde se espera que la colaboración se dé de forma natural, libre, y la segunda, donde se agregan restricciones a la tarea para forzar o facilitar la colaboración.

De esta forma, se propuso un modelo de locomoción colaborativa donde se requiriera del trabajo organizado del equipo para completar la tarea. Para la primera condición, la colaboración se da en el momento de captura de la bandera. Para esto, los dos participantes deben acercarse a dicho objeto para capturarlo, deben estar a una distancia de 200 unidades virtuales del objeto, como a una distancia mínima entre ellos. En la segunda condición de colaboración se añade una restricción, una distancia mínima entre los participantes. De esta forma, ellos no podrán alejarse más de una distancia el uno del otro. Lo anterior implica que una vez un participante requiere avanzar hacia una dirección, el otro participante deberá seguir en la misma dirección, para así continuar con el proceso de locomoción, de esta forma, la única manera de realizar el proceso de navegación será a través del trabajo en equipo.



## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

Para el planeamiento de caminos se evaluó en una prueba preliminar las tres ayudas de navegación explicadas anteriormente. Se encontró que el radar-minimapa local proveía una vista privilegiada de la tarea no comparable con la información que entregaban las otras dos ayudas de navegación. Por esta razón se decide descartar esta ayuda en el diseño de un planeamiento de rutas colaborativo. Para la primera condición se provee a los dos usuarios las dos ayudas restantes, radar y minimapa global, donde se espera que la colaboración emerge el problema mismo de la búsqueda de las banderas. Para la segunda condición, cada uno de los participantes ve una de las ayudas de navegación. En otras palabras, un usuario ve el radar y el otro el minimapa.

A continuación se explica cómo, bajo las dos condiciones de colaboración, se cumple con las características de una tarea colaborativa.

### **Igual participación**

La igual participación en la actividad de navegación se refiere a la capacidad de dominar y ejecutar la parte del trabajo de la cual un participante del equipo se ha responsabilizado, por ejemplo, el rol que tiene el mapa debe responsabilizarse de hacer uso de este y asumir su tarea, esto con el fin de que se dé un verdadero trabajo colaborativo, y además se presenten los espacios para que el participante pueda participar y contribuir individualmente.

### **Responsabilidad individual**

En esta actividad, la responsabilidad individual hace referencia a que cada participante del equipo sienta que se ha hecho personalmente responsable de la tarea a desarrollar, y de ayudar al otro participante a que también lo haga. Los participantes del equipo pueden darse cuenta de que si no hacen lo que les toca, perjudican a su compañero, además de perjudicarse a sí mismos. De esta manera con esta característica se pretende garantizar que los dos miembros del equipo fortalezcan su colaboración.

### **Interdependencia positiva**

La tarea de navegación colaborativa descrita en la **sección 4.2.1**, garantiza una de las características más importantes para la evaluación de la colaboración como lo es la interdependencia positiva.

En esta actividad, la interdependencia positiva es apoyada dándole a cada rol información parcial sobre el estado de dicho rol. Por ejemplo, el rol que tiene el mapa podrá observar en qué ubicación del mundo virtual se encuentran, y el rol que tiene el radar, podrá observar en qué dirección o ubicación se encuentra el objeto a ser capturado. De esta forma se hace necesario que los participantes se comuniquen entre sí para compartir información faltante. Además de esto, un participante no puede hacer la tarea que está realizando el otro mientras esté

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

desempeñando un rol en la actividad, esto es, un rol sólo puede realizar tareas que le son asignadas a su rol. Esto es conocido como interdependencia de recursos [88]. “Si yo pierdo, pierdes tú, si ganas tú, gano yo”.

### 4.2.2 Implementación del Entorno Virtual Colaborativo (CVE)

El prototipo del CVE usado para la evaluación de las métricas propuestas fue desarrollado en la herramienta UDK (Unreal Development Kit). Se debe aclarar que para el proceso de desarrollo del prototipo se partió de un VE [89], y CVE [90], [91], desarrollados anteriormente, en proyectos en los cuales participó el director de este proyecto de grado. Se debe tener en cuenta que el desarrollo de un CVE es un proceso complejo que incluye la implementación de los módulos descritos en la **sección 2.1.3**. El desarrollo de este prototipo implicó el modelaje 3D de todo el entorno virtual, y la modificación de algunas clases, por esta razón no fue necesario seguir un proceso estricto de ingeniería de software.

Además de tener en cuenta todos los elementos propios de la tarea de navegación colaborativa mencionados en la sección anterior, para el desarrollo del prototipo fue necesario diseñar elementos de jugabilidad y awareness que son descritos a continuación.

#### 4.2.2.1 Elementos de jugabilidad

Por cada objeto que el equipo quiera capturar, hay un contador de tiempo, motivando al equipo a que cada vez sean más ágiles en la búsqueda y captura de banderas, el tiempo entre la captura de una bandera y otra es de 160 segundos, así como también se muestra el número de banderas capturadas y el número de banderas perdidas, ver **Figura 10**.

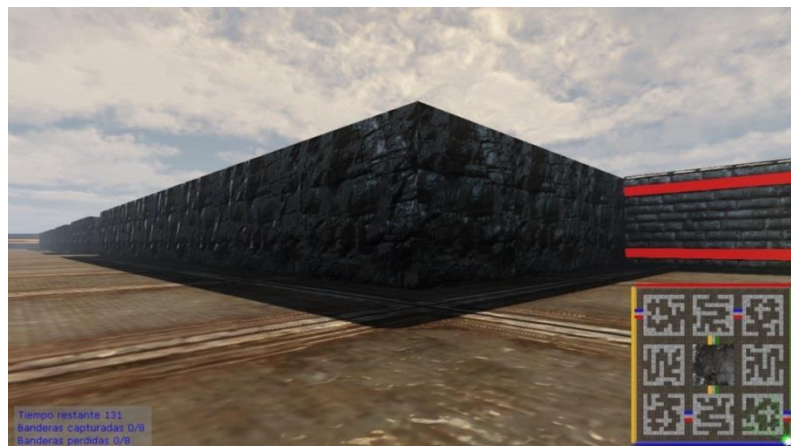


Figura 10: Elementos visuales de jugabilidad.

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## 4.2.2.2 Awareness

En la **sección 4.2.1.2.1** se ha planteado la necesidad de proporcionar algunas ayudas de navegación a los participantes en el desarrollo de la actividad de navegación, para que sean capaces de llevar a cabo la tarea colaborativa de la forma más sencilla posible. Los awareness propuestos en esta actividad de colaboración proporcionan a los participantes información (*feedback*), visibilidad, presencia, localización, entre otros aspectos en el mundo virtual. En el momento de realizar la tarea colaborativa, los participantes necesitan ser conscientes de ciertas acciones y situaciones (el otro usuario, banderas a capturar, su posición, etc.) ya que sin esta información es imposible realizar la tarea. También se incluyó en el diseño de las franjas un color por cada franja (amarillo, rojo, azul y verde) del mundo virtual con el fin de facilitar la navegación de los usuarios.

## 4.3 Proceso metodológico para evaluar las métricas propuestas en la tarea de navegación colaborativa

### 4.3.1 Hipótesis experimental

El análisis estadístico presentado a continuación pretende evaluar si el conjunto de métricas presentadas son adecuadas para medir la colaboración en la tarea diseñada. De esta forma se comparan estadísticamente las métricas calculadas para las dos condiciones de colaboración, *Colaboración Favorecida* (C. F.) y *Colaboración Libre* (C. L.). La  $H_0$  (hipótesis nula) representa la afirmación de que no existe asociación entre las dos variables estudiadas y la  $H_1$  (hipótesis alternativa) afirma que hay algún grado de relación o asociación entre las dos variables. Dicha decisión puede ser afirmada con una seguridad que se decide previamente a través del nivel de significación. El mecanismo de los diferentes tests empieza cuando se mira la magnitud de la diferencia de medias que hay entre los grupos que tienen que compararse [94]. Para lo cual se establece como hipótesis nula,

*$H_0 =$  La métrica medida en la condición de Colaboración Favorecida es igual a la métrica medida en la condición de Colaboración Libre.*

Donde la prueba estadística definirá la probabilidad de rechazar la hipótesis nula  $H_0$  y por lo tanto aceptar la hipótesis alterna  $H_1$ , la cual en este análisis se define como,

*$H_1 =$  La métrica medida en la condición de Colaboración Favorecida es diferente a la métrica medida en la condición de Colaboración Libre.*

El proceso de aceptación o rechazo de la hipótesis lleva implícito un riesgo que se cuantifica con el valor de " $p$ ", que es la probabilidad de aceptar la hipótesis

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

alternativa como cierta, cuando la cierta podría ser la hipótesis nula. El valor de "p" indica si la asociación es estadísticamente significativa. Este valor ha sido arbitrariamente seleccionado y se fija en 0.05 ó 0.01. Una seguridad del 95% lleva implícito un  $p < 0.05$  y una seguridad del 99% lleva implícito un  $p < 0.01$ . Cuando rechazamos la  $H_0$  (hipótesis nula) y aceptamos la  $H_1$  (hipótesis alternativa) como probablemente cierta, afirmando que hay una asociación ( $p < 0.05$ ), o que hay diferencia, estamos diciendo, en otras palabras, que es muy poco probable que el azar fuese responsable de dicha asociación. Asimismo, si  $p > 0.05$  aceptamos  $H_0$  (hipótesis nula) y decimos que el azar puede ser la explicación de dicho hallazgo afirmando que ambas variables no están asociadas o correlacionadas [94].

Así, una diferencia significativa en la comparación de las medidas realizadas con una métrica para las dos condiciones de colaboración se puede afirmar que la métrica permite diferenciar dos procesos de colaboración en la actividad diseñada, y por lo tanto, las medidas que entrega la métrica tiene un valor de certeza adecuado para evaluar el grado de colaboración en la tarea diseñada.

### 4.3.2 Métricas a ser validadas

Para validar el conjunto de métricas propuesto en el **capítulo 3**, se definió un conjunto específico de métricas aplicado a la tarea diseñada. Las métricas aquí definidas fueron medidas bajo las dos condiciones de colaboración descritas anteriormente. Esta evaluación experimental espera demostrar que las métricas propuestas permitan diferenciar las dos condiciones de colaboración y ejemplificar cómo pueden ser implementadas en un proceso de evaluación de navegación colaborativa. Además de las métricas objetivas obtenidas a través de los archivos de registro, se incluyen las preguntas o métricas subjetivas de los cuestionarios. Todas las métricas se presentan como un índice normalizado, donde 0 es el valor más bajo y 1 es el valor ideal. Los subíndices como exponentes 1, 2 representan la métrica medida para los dos participantes del equipo. A continuación se describe en detalle el conjunto de métricas implementadas.

#### 4.3.2.1 Desempeño

**Índice de Tiempo Transcurrido en La Actividad (ITTA):** Es el tiempo que el equipo se demoró realizando la actividad. Es medido en segundos y registrado en los archivos de log del sistema. Se calcula como el tiempo en la captura de objetos sobre el tiempo total máximo de la prueba, y muestra un indicador del tiempo usado en el experimento. Esta métrica se calcula de la siguiente manera:

$$ITTA = 1 - \frac{\Delta_t^{1,2}}{T_{t\text{máx}}}$$

Donde:

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

$\Delta t^{1,2}$ : Tiempo total empleado por el equipo en la prueba

$$\Delta t^{1,2} = T_f^{1,2} - T_i^{1,2}$$

$T_{m\acute{a}x}$ : Tiempo total máximo de la prueba

$$T_{tmax} = Bt(\Delta t) = 8(160seg) = 1280seg = 21,33min$$

$Bt$ : Total banderas = 8

**Índice de Objetos Atrapados sobre el Tiempo total de la prueba (IOAT):** Total objetos capturados por los participantes durante el experimento. El total de objetos capturados sobre el tiempo del experimento, es una métrica de eficiencia de los participantes durante la interacción. Esta métrica se calcula de la siguiente manera:

$$IOAT = \frac{\sum_{i=1}^{Ot} TO_a^{1,2}}{T_{m\acute{a}x}}$$

Donde:

$Ot$  = objetos totales (8 banderas)

$TO_a^{1,2}$ : Total objetos atrapados

$T_{m\acute{a}x}$ : Tiempo total máximo de la prueba

**Índice de Objetos Atrapados sobre el total de Objetos (IOAO):** Total objetos capturados por los participantes sobre el total de objetos en el CVE durante el experimento. El total de objetos capturados sobre el total de objetos existentes en el mundo virtual, es una métrica de efectividad de los participantes durante la interacción. Esta métrica se calcula de la siguiente manera:

$$IOAO = \frac{\sum_{i=1}^{Ot} TO_a^{1,2}}{Ot}$$

Donde:

$TO_a^{1,2}$ : Total objetos atrapados

$Ot$ : Objetos totales

### Preguntas de desempeño

$P1$ : Califique la precisión de la interacción en el entorno virtual

$P2$ : Califique la eficiencia de la interacción en el entorno virtual

$P3$ : De manera general, califique la tarea de encontrar las banderas en el entorno virtual

### 4.3.2.2 Aplicación de estrategias

**Índice de Caminado Relativo (De un usuario con respecto al otro) (ICR):** El índice de caminado de un usuario con respecto al otro se relaciona con distancia de la ruta ideal (que lleva a un objetivo) para llegar a un determinado objetivo. La

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

ruta ideal en el mundo virtual, es la ruta más corta para llegar a un objetivo. Si la distancia recorrida de un participante tiende a ser semejante a la distancia recorrida por el otro participante del equipo, significa que han caminado juntos (por lo general uno al lado del otro, caminando en la misma dirección) como equipo y si además esta distancia caminada se aproxima a la distancia de la ruta ideal, esto indica que como equipo han generado y aplicado buenas estrategias para llegar al objetivo. Esto indica la capacidad o habilidad de los participantes para generar, comunicar y aplicar dicha estrategia. Esta métrica se calcula de la siguiente manera:

$$ICR = 1 - \frac{abs(\sum_{i=1}^n \|\vec{X}_{i^1} - \vec{X}_{i^2}\|)}{DI}$$

*Dónde:*

*DI: Distancia de la ruta ideal*

$$\|\vec{X}_{i^1}\| = \sqrt{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}$$

**Índice de Caminado del Equipo (ICE):** El índice de caminado del equipo, se relaciona con la distancia de la ruta ideal y la forma en que los participantes del equipo se coordinan para caminar juntos, esto indica que si los usuarios caminaron una distancia semejante a la distancia de la ruta ideal, es porque generaron y aplicaron ciertas estrategias para llegar a cada objetivo. Esta métrica se calcula de la siguiente manera:

$$ICE = 1 - \frac{abs(DI - DE)}{DI}$$

*Dónde:*

*DI: Distancia de la ruta ideal*

$DE = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}$ , distancia recorrida en equipo

$x_i, y_i$ : Posiciones X, Y promedio del equipo

$n$ : número de muestras

### 4.3.2.3 Cooperación intragrupal

**Índice de Velocidad Relativa (De un usuario con respecto al otro) (IVR):** La velocidad relativa revela qué tanta velocidad obtuvo un usuario con respecto al otro durante la interacción en el mundo virtual. Esta métrica muestra el desplazamiento un participante con respecto al otro por unidad de tiempo. Esta medida se relaciona con la velocidad del usuario en el VE. La velocidad relativa es calculada normalizando la diferencia de velocidades de cada participante y esto sobre la velocidad máxima del avatar virtual. Esta métrica se calcula de la siguiente manera:

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

$$IVR = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\|\vec{V}_{i1} - \vec{V}_{i2}\|}{V_{m\acute{a}x}}$$

Donde:

1: Valor máximo que puede tomar la métrica

n: número de muestras

$\|\vec{V}_{i1} - \vec{V}_{i2}\|$  Velocidad relativa de un usuario con respecto al otro

$V_{m\acute{a}x}$ : Velocidad máxima del avatar

**Índice de Velocidad del Equipo (IVE):** La velocidad del equipo muestra la velocidad de los dos participantes como un solo objeto durante la interacción en el mundo virtual. Es el índice de velocidad media del centro de masa del equipo normalizada por la velocidad máxima del avatar. La velocidad del equipo es calculada normalizando la suma de las velocidades de los dos participantes sobre la velocidad máxima del avatar. Esta métrica se calcula de la siguiente manera:

$$IVE = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \frac{\|\vec{V}_{i1} + \vec{V}_{i2}\|}{V_{m\acute{a}x}}$$

Donde:

n: número de muestras

$V_{m\acute{a}x}$ : Velocidad máxima del avatar

$\|\vec{V}_{i1} - \vec{V}_{i2}\|$ : Norma de la velocidad de un participante con respecto al otro en un tiempo  $T_i$ .

**Tiempo de Comunicación del equipo (TC):** El tiempo de comunicación muestra qué tanto se comunicó el equipo durante la actividad. El tiempo de comunicación del equipo es calculado teniendo en cuenta el tiempo de comunicación real sobre el tiempo total del experimento. El tiempo de comunicación real es medido a través de un software (Adobe Audition) que ayuda a determinar en unidades de segundos el índice de comunicación del equipo durante el experimento. Esta métrica se calcula de la siguiente manera:

$$TC = \frac{T_c^{1,2}}{T_{m\acute{a}x}}$$

Donde:

$T_c^{1,2}$ : Tiempo de comunicación del equipo durante la prueba

$T_{m\acute{a}x}$ : Tiempo total máximo de la prueba

### Preguntas de cooperación intragrupal

P4: ¿Cómo percibió la ayuda que prestó a su compañero en la búsqueda de las banderas?

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

P5: ¿Cómo percibió la ayuda que recibió de su compañero en la búsqueda de las banderas?

P6: ¿Qué tanto tiempo percibió que usted habló durante la búsqueda de las banderas?

P7: ¿Qué tanto tiempo percibió que habló su compañero durante la búsqueda de las banderas?

P8: De manera general, ¿cómo percibió su colaboración en la búsqueda de las banderas?

P9: De manera general, ¿cómo percibió la colaboración de su compañero en la búsqueda de las banderas?

### 4.3.2.4 Coordinación

**Distancia entre Usuarios (DU):** La distancia entre usuarios proporciona información sobre la distancia promedio de separación entre los usuarios al caminar en el mundo virtual. Se calcula obteniendo la distancia promedio entre los usuarios sobre la distancia del radio de proximidad (distancia máxima de separación entre usuarios). Esta métrica se calcula de la siguiente manera:

$$DU = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\|\vec{X}_{i1} - \vec{X}_{i2}\|}{D_{m\acute{a}x}}$$

Donde:

$n$ : número de muestras

$D_{m\acute{a}x}$ : Distancia máxima de separación entre usuarios. Influencia del radio de proximidad (El efecto que el radio de proximidad en un participante produce sobre el otro)

$\|\vec{X}_{i1} - \vec{X}_{i2}\|$ : Normal de la distancia de un participante con respecto al otro en un tiempo  $T_i$

$$\|\vec{X}_{i1}\| = \sqrt{X_1^2 + X_2^2 + \dots + X_n^2}; \quad \|\vec{X}_{i1} - \vec{Y}_{i1}\| = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

**Proximidad al Objetivo (PO):** La proximidad al objetivo muestra qué tan coordinados estuvieron los participantes como equipo al acercarse a un determinado objetivo.

$$PO = \frac{PO^1 + PO^2}{2}$$

Dónde:

$X_1^{1,2}, Y_1^{1,2}$ : Posiciones X, Y de las banderas

$X_0^{1,2}, Y_0^{1,2}$ : Posiciones X, Y del usuario

$PO^1$ : Promedio Proximidad al objetivo del usuario 1

$PO^2$ : Promedio Proximidad al objetivo del usuario 2

$n$ : número de muestras



## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

*b*: número de banderas

$Dmáx^{1,2}$ : Distancia máxima para atrapar una bandera entre los participantes 1 y 2, equivale a 200

$$PO^1 = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^b \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\sqrt{(X_1^1 - X_0^1)^2 + (Y_1^1 - Y_0^1)^2}}{Dmáx^{1,2}} \right)$$

$$PO^2 = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^b \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\sqrt{(X_1^2 - X_0^2)^2 + (Y_1^2 - Y_0^2)^2}}{Dmáx^{1,2}} \right)$$

### 4.3.2.5 Orientación espacial

**Índice de Giro del equipo (IG)**: Indica qué tanto giraron los participantes en el entorno para así saber en qué grado se orientaron durante la actividad, si giraron demasiado, quiere decir que hubo un alto grado de desorientación durante la actividad. El índice de giro tiene en cuenta el promedio de giros (ángulo de rotación) de los participantes, esto con el fin de ver el total de giros como un solo objeto en el VE. El total de giros es obtenido a través de la suma de todos los ángulos de rotación de cada participante y promediando, esto viendo al equipo como un solo objeto en el VE. Esta métrica se calcula de la siguiente manera:

$$IG^1 = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{||\theta_i^1 - \theta_{i-1}^1||}{\frac{\pi}{2}}$$

$$IG^2 = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{||\theta_i^2 - \theta_{i-1}^2||}{\pi/2}$$

$$IGE = \frac{CG^1 + CG^2}{2}$$

$$IGE = 1 - \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \frac{||\theta_i^1 - \theta_{i-1}^1|| + ||\theta_i^2 - \theta_{i-1}^2||}{\pi/2}$$

Dónde:

$IG^{1,2}$ : Índice de giro del usuario 1 y 2

*n*: números de muestras

$||\theta_i^{1,2} - \theta_{i-1}^{1,2}||$ : Cantidad de ángulo de rotación

$\frac{\pi}{2}$ : Umbral máximo de giro

### Preguntas de orientación espacial

*P10*: Cuando tuvo la oportunidad, ¿cómo percibió que guió a su compañero en el entorno virtual?

*P11*: Cuando tuvo la oportunidad, ¿cómo percibió que su compañero lo guió en el entorno virtual?

*P12*: Califique la facilidad para ubicarse en el entorno virtual

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## 4.3.2.6 Inmersión

### Preguntas de inmersión

*P13:* Califique la sensación percibida de estar en el interior de un laberinto

*P14:* Cuando recuerda la tarea, califique la sensación de sentirse caminando dentro del laberinto

*P15:* Califique la sensación de estar dentro de un laberinto ó de estar mirando un laberinto

*P16:* Califique la sensación percibida de estar en la misma habitación con su compañero

*P17:* Cuando recuerda la tarea, califique la sensación de caminar junto a su compañero en el entorno virtual

## 4.3.3 Diseño del procedimiento

**Paso 1:** Inicialmente a los grupos de dos personas se les presentó un vídeo con una pequeña introducción de la actividad a realizar, el vídeo de inducción se encuentra en el DVD entregado junto con el documento, en la carpeta de Información extra. Se explicó a los usuarios en este vídeo claramente qué movimientos tenían que realizar para la interacción en la actividad, y movimientos como manejar el control de Xbox 360 y los tres movimientos para calibrar su avatar con el Kinect de Xbox, esto se realizó antes de empezar con cada uno de los test.

**Paso 2:** Seguidamente realizaron un cuestionario de caracterización de usuarios donde consignan sus datos personales como el nombre, apellido, edad, nivel de escolaridad, y algunas preguntas como qué tanta experiencia ha tenido con videojuegos; esta caracterización se muestra detalladamente en el **Anexo D**.

**Paso 3:** Luego realizaron dos pre-test con el fin de que los participantes pudieran familiarizarse con el entorno. Un Pre-Test con condición de Colaboración Libre y un Pre-Test con condición de Colaboración Favorecida, donde se presenta un escenario de un sólo salón del entorno virtual y deben atrapar tres banderas, ver **Figura 11**.

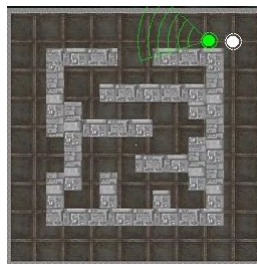


Figura 11: Salón individual

**Paso 4:** Una vez realizados los dos pre-test, el siguiente paso consistió en realizar el primer test de la actividad de colaboración mencionada en la **sección 4.2.1**. Al primer grupo de usuarios se les aplica el test de colaboración libre y al siguiente grupo el test de colaboración favorecida, ver **Figura 12**.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

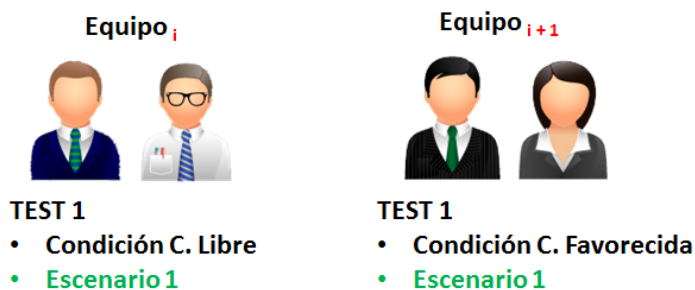


Figura 12: Evaluación Test 1

**Paso 5:** Al terminar el primer test, se aplicó a los usuarios un cuestionario diseñado con 17 preguntas de colaboración, inmersión y percepción de usabilidad, para ver en detalle el contenido de este cuestionario, remitirse al **Anexo E**.

**Paso 6:** Por último, los participantes realizaron el segundo test, el cual trata de la misma actividad, solo que se alternan las condiciones de colaboración entre los participantes, tanto en locomoción como en el planeamiento de rutas mencionadas en la **sección 4.2.1.2**. Al terminar la actividad del segundo test, se aplica el mismo cuestionario de evaluación para esta actividad, ver **Figura 13**.

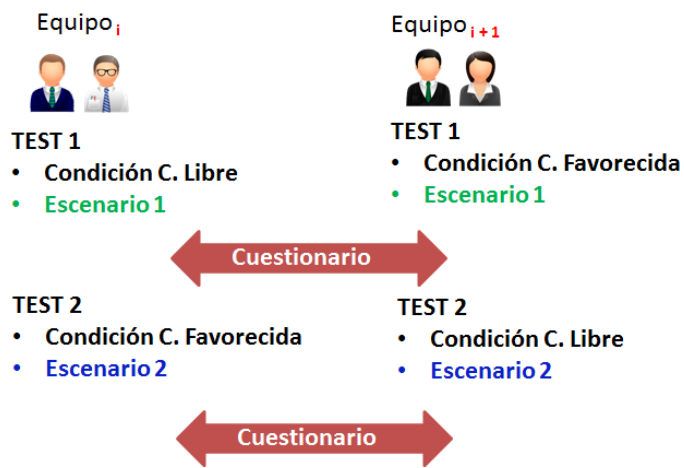


Figura 13: Evaluación Test 2

Para la ejecución de los dos test se realizó un proceso donde se alternan las dos condiciones de colaboración. Dos configuraciones de mapas para un orden diferente de captura de banderas, con el fin de que los usuarios no repitieran la misma prueba en los dos test, la condición de colaboración favorecida empezaba con el mapa 1 y la condición de colaboración libre continuaba con el mapa 2, ver **Figura 14**, de esta manera se hacía que las pruebas fueran siempre alternadas por cada equipo.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

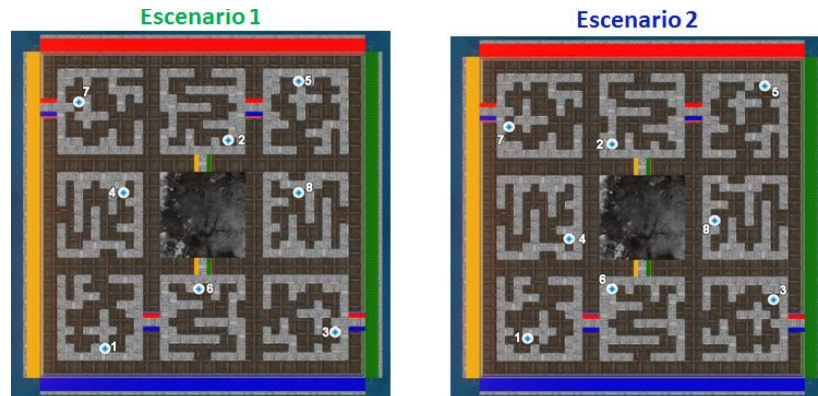


Figura 14: Mapas. a) Escenario 1 b) Escenario 2.

### 4.3.4 Dispositivos y equipos

Para el desarrollo de la actividad se hizo necesario el uso de dispositivos básicos que brindan inmersión en el entorno, los mecanismos utilizados fueron: dos Televisores Smart TV 3D – LG de 42”, Gafas pasivas para la visualización de efectos 3D, dos Kinect – Xbox, dos Controles o mandos del Xbox 360, dos diademas con micrófono para la comunicación, dos computadoras de escritorio con S.O Windows 7, Procesador Intel i7 y tarjeta NVIDIA GeForce 720 y un portátil con S.O Windows 8 y hardware para que trabaje como servidor, ver **Figura 15**.



Figura 15: Dispositivos a) Smart Tv, b) Kinect, c) Auriculares, d) Controles Xbox360, e) Gafas pasivas 3D, f) CPU, g) Portátil.

El montaje de los equipos se describe a continuación:

- Los dos Televisores Smart TV 3D – LG de 42” se encuentran ubicados sobre una mesa, cada uno en una sala diferente. Los participantes deben estar a una distancia de 200 a 215 centímetros para una buena visualización e inmersión del efecto 3D de los televisores.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- Los Kinect se ubicaron debajo de los televisores a una distancia del suelo de 100 a 110 centímetros, con el fin de que cubran todo el cuerpo del participante, ver **Figura 16**.
- Las diademas, gafas pasivas para la visualización de efectos 3D y controles Xbox 360, los tendrá cada participante como se muestra en la **Figura 17**.
- Estos dispositivos están conectados mediante la arquitectura cliente servidor como se muestra en la **Figura 18**.

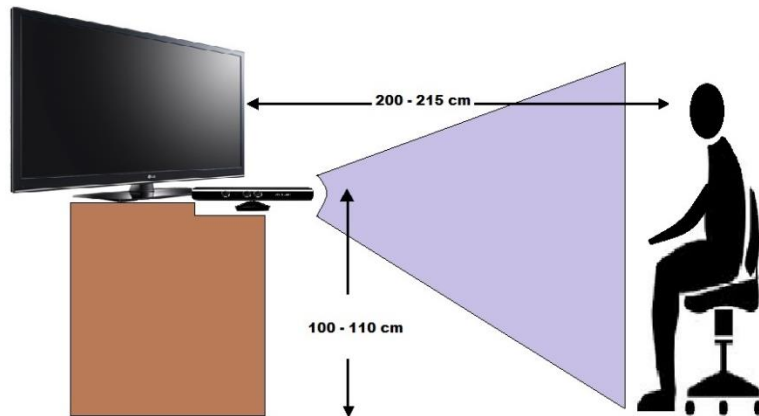


Figura 16: Montaje realizado para la experimentación.

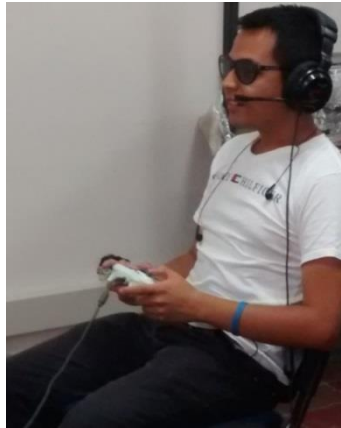


Figura 17: Participante con los elementos para la evaluación.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

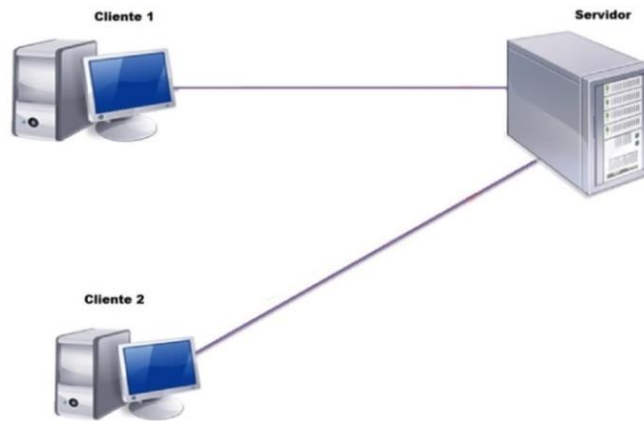


Figura 18: Arquitectura cliente servidor implementada para la evaluación distribuida.

La experimentación de la actividad se llevó a cabo en dos habitaciones separadas, con dos configuraciones idénticas como se muestra en la **Figura 19**, lo que permite que los participantes puedan sentirse inmersos de forma simultánea en el CVE y de esta forma tener un grado más alto de interacción durante la actividad.



Figura 19: Participantes en habitación 1 y 2.

### 4.3.5 Instrumentos y procesos de captura de datos

Los instrumentos de evaluación son utilizados como herramientas necesarias para obtener evidencias de la experimentación de los usuarios en la actividad colaborativa. Como instrumentos de evaluación realizados en este proyecto de grado, inicialmente se tiene un cuestionario de caracterización de usuarios, donde los usuarios ingresan sus datos personales y otra información relevante para conocer si los usuarios han tenido o no experiencia con actividades colaborativas en mundos virtuales, etc. Cuestionarios de preguntas relacionadas con la interacción en el VE, en los cuales las personas pueden suministrar una determinada información.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

La comunicación entre los participantes debe hacerse únicamente a través de una herramienta que permita la comunicación por chat de voz, esta debe ser de tipo sincrónico, dado que los participantes efectuarán la actividad en forma sincrónica. La herramienta de comunicación a utilizar en esta actividad es conocida como *TeamSpeak*. *TeamSpeak* es un software que permite a los participantes hablar a través de un canal de chat de voz con otros participantes. Los participantes hacen uso de un software cliente de *TeamSpeak*, para conectarse a un servidor *TeamSpeak*, una vez los dos participantes estén conectados a dicho servidor, establecen el canal de comunicación y de esta forma pueden hablar.

El proceso de recolección de datos se realizó por medio de un software (lanzador) llamado UDKLauncher (Diseñado en trabajos previos y dirigidos por el director de este trabajo), que ejecuta el prototipo de la actividad a evaluar, el cual consiste en la lectura de un archivo llamado (TestNavegacion.cvs) que crea las situaciones alternadas de la actividad en la tarea de navegación colaborativa. Como se mencionó en la **sección 4.2.1.2.1**, se proponen dos test para la evaluación (test de colaboración favorecida (C. F) y test de colaboración libre (C. L)) y de ahí, el mismo LauncherUDK ejecuta el prototipo para cada test a realizar de manera que no ocurran sesgos en la obtención de los datos. Para cada test y cada participante se obtienen archivos de registro de la interacción llamados Logs, y se nombran por tipo de test, id del equipo que realiza el experimento, y el usuario, 1 ó 2 (Ejemplo: Teste1-ID1-Usuario1.log).

### 4.3.6 Población

El experimento, fue aplicado a 32 participantes conformados en equipos de dos personas, formando así 16 equipos con las siguientes características:

- Grupos de personas seleccionadas al azar, que no se conocían y por tanto nunca habían trabajado como grupo.
- Grupos de estudiantes de la universidad que han trabajado en grupo muchas veces.
- Grupos de estudiantes de la Universidad que no habían trabajado en grupo y que además no se conocían entre sí.

Las edades de los participantes que realizaron el experimento estuvieron entre los 20 a 32 años, con un promedio de 25 años, una cantidad de 23 personas fueron hombres (74%) y 9 mujeres (26%). Los participantes reportaron que un 2% tenía como escolaridad máxima Primaria, un 12% Secundaria, un 13% Técnico y un 73% Universitaria. Los participantes también reportaron su destreza en juegos de acción en 3D, donde un 44% reportaron que no habían jugado nunca, un 12% reportaron que no tienen coordinación motora para este tipo de juegos, un 15% reportaron que tienen dificultad en usar las dos manos al mismo tiempo, un 24% reportaron que son buenos jugando y 5% reportaron que son muy buenos jugando. Por último reportaron su disposición para el trabajo en equipo, donde el

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

44% de los participantes reportaron que un alto grado de disposición para el trabajo en equipo. Para ver más en detalle esta información, remitirse al **anexo D**.



# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## 5 Resultados

En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos en orden cronológico de acuerdo con los objetivos propuestos, en primera instancia se presentan los resultados de la depuración del conjunto de métricas identificadas y expuestas en el **capítulo 4**, seguidamente se presentan los resultados de la implementación del prototipo funcional de navegación, y por último, se presentan los resultados de la evaluación del conjunto de métricas mediante la actividad colaborativa. A partir de las métricas definidas en la **sección 4.1.1** y evaluadas en la **sección 5.2.2** de este capítulo, se muestran algunos gráficos con su respectivo análisis, mostrando la diferencia significativa de cada métrica en las dos condiciones de la tarea (Colaboración favorecida - C. F y Colaboración libre – C. L).

### 5.1 Métricas propuestas

Las métricas propuestas en este proyecto de grado fueron expuestas en detalle en la **sección 3.2**, y fueron aplicadas en la tarea descrita en la **sección 4.2.1**. Los detalles de la implementación del conjunto de métricas propuesto se encuentran en la **sección 4.3.2**, donde las **Tabla 6** y **Tabla 7** muestran un resumen de estas. La implementación del conjunto de métricas objetivas fueron propuestas en este trabajo, teniendo en cuenta la actividad de navegación implementada. Las métricas derivadas de datos subjetivos se obtienen a través de cuestionarios aplicados a los usuarios y a menudo son calculados teniendo en cuenta la escala de Likert [92], en un intervalo de 1 a 5, donde 1 es la calificación más baja para la pregunta y por consiguiente, 5 es el valor más alto en la escala para la calificación de la pregunta.

**Tabla 6: Métricas cuantitativas (objetivas).**

Métrica	Instancias	Sigla
Rendimiento	Tiempo transcurrido en la actividad	ITTA
	Objetos atrapados sobre el tiempo total de la prueba	IOAT
	Objetos atrapados sobre el total de objetos	IOAO
Aplicación de estrategias	Índice de caminado relativo (De un usuario con respecto al otro)	IC
	Índice de caminado del equipo	ICE
Cooperación intragrupal	Índice de velocidad relativa (De un usuario con respecto al otro)	IV
	Índice de velocidad del equipo	IVE
	Tiempo de comunicación del equipo	TC
Coordinación	Distancia entre usuarios	DU
	Proximidad al objetivo	PO
Orientación espacial	Índice de giro del equipo	IGE

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

**Tabla 7: Métricas cuantitativas (subjetivas).**

Métrica	Instancias
Rendimiento	Califique la precisión de la interacción en el entorno virtual
	Califique la eficiencia de la interacción en el entorno virtual
	De manera general, califique la tarea de encontrar las banderas en el entorno virtual
Cooperación intragrupal	¿Cómo percibió la ayuda que prestó a su compañero en la búsqueda de las banderas?
	¿Cómo percibió la ayuda que recibió de su compañero en la búsqueda de las banderas?
	¿Qué tanto tiempo percibió que usted habló durante la búsqueda de las banderas?
	¿Qué tanto tiempo percibió que habló su compañero durante la búsqueda de las banderas?
	De manera general, ¿cómo percibió su colaboración en la búsqueda de las banderas?
	De manera general, ¿cómo percibió la colaboración de su compañero en la búsqueda de las banderas?
	De manera general, ¿cómo percibió su colaboración en la búsqueda de las banderas?
Orientación espacial	Cuando tuvo la oportunidad, ¿cómo percibió que guió a su compañero en el entorno virtual?
	Cuando tuvo la oportunidad, ¿cómo percibió que su compañero lo guió en el entorno virtual?
	Califique la facilidad para ubicarse en el entorno virtual
Inmersión	Califique la sensación percibida de estar en el interior de un laberinto
	Cuando recuerda la tarea, califique la sensación de sentirse caminando dentro del laberinto
	Califique la sensación de estar dentro de un laberinto o de estar mirando un laberinto
	Califique la sensación percibida de estar en la misma habitación con su compañero
	Cuando recuerda la tarea, califique la sensación de caminar junto a su compañero en el entorno virtual

## 5.2 Prototipo de navegación

El prototipo fue construido en la herramienta UDK (Unreal Development Kit) [93]. Principalmente a partir de los bosquejos expuestos en la **sección 4.2.1.1**, se llevó a cabo el diseño en la herramienta tanto de muros y texturas, como de los objetos a capturar, en este caso las banderas que son elementos propios de UDK. La lógica de la actividad de navegación colaborativa, la calibración de los avatares con el Kinect, el tiempo de captura de objetos, la captura de objetos, el movimiento de los avatares, el radar y el mapa, se realizaron con el lenguaje de programación del mismo UDK llamado UnrealScript.

En la **Figura 20** se presenta el diagrama de las clases más importantes utilizadas para el desarrollo del prototipo.



## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

pantalla y toda la lógica que se necesita para obtener y procesar la información que se desea visualizar durante la partida del juego. Cada jugador tiene su propia instancia de la clase HUD (o subclase de los mismos), que se crea cuando se inicializa la interfaz del juego.

- **UDKPawn:** La clase UDKPawn es la que controla para todos los jugadores, los personajes, criaturas y otros tipos de entidades dentro de Unreal. Es la responsable de la interacción física entre el jugador y la IA (inteligencia Artificial) y el mundo.

Las siguientes clases pertenecen a la librería NIUI, que significa Natural Interaction Unreal Interface, en español Interacción Natural de Interface Unreal. Esta es una librería que actúa como enlace entre el Kinect y UDK, y facilita el acceso y el uso del dispositivo Kinect específicamente en lo que tiene que ver con el mapeo de los movimientos rastreados por el Kinect. La librería NIUI utiliza la API de OpenNI, que básicamente proporciona un framework multi-plataforma para desarrollar aplicaciones que utilizan interacciones naturales, como los gestos de voz o el cuerpo. La interfaz OpenNI sirve como puente de conexión entre el hardware para reconocer los gestos, como la cámara del Kinect y la aplicación final.

- **NIUI\_Core:** Esta clase es el núcleo de la librería NIUI en el lado de UnrealScript. Une todas las funciones necesarias a la librería NIUI, maneja el procesamiento de eventos, detección de usuario, etc.
- **NIUI\_SkeletalController:** Esta clase crea un esqueleto virtual y replica las rotaciones de un usuario desde un dispositivo de interacción natural como el MS Kinect. Genera un esqueleto dentro de la clase Pawn, para hacer que el esqueleto acceda a las rotaciones del usuario destino de NIUI.
- **NIUI\_SamplePawn:** Esta clase extiende de UDKPawn, que crea y configura la clase NIUI\_SkeletalController.
- **NIUI\_SamplePlayerController:** Esta clase se extiende de la clase GamePlayerController y muestra cómo hacer los métodos listen para los eventos de NIUI y responder a estos eventos, también a como actualizar las rotaciones óseas, y la calibración del dispositivo Kinect con el avatar del UDK y el cuerpo del jugador.
- **NavTestPlayerController:** Esta clase se extiende de NIUI\_SamplePlayerController, que implementa las acciones de navegación que se ven en el juego tales como el tiempo de juego, tiempo de caminado, tiempo de vida de los objetos, cambios de mapa y radar. También implementa acciones del tiempo en que se capturan las banderas o las pierden. La velocidad, posición, rotación y tiempo son los datos que se recogen a través de logs o archivos de registro, que se obtienen mediante funciones que se implementan en esta clase.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- **NavTestGame:** Esta clase extiende de la clase SimpleGame y define algunos eventos para inicializar el juego. Se relaciona con las clases NIUI\_SamplePawn, NavTestPlayerController y NavTestHUD.
- **UpCamera:** La clase UpCamera es la clase responsable de las texturas de los objetos como el radar y el mapa que son vistas desde arriba del entorno virtual.
- **NavTestHUD:** Esta clase extiende de la clase UDKHUD e implementa lo que se dibuja en la pantalla tal como la forma y la posición en el juego, que en nuestro caso sería el mapa, radar y los indicadores visuales de tiempo y número de banderas capturadas y perdidas.

Como resultado final de la formulación e implementación del prototipo de navegación colaborativa, ver **sección 4.2.2**, se obtiene el entorno virtual 3D, ver **Figura 21**. En el diseño final del prototipo de navegación se pueden observar las vistas de los usuarios, el número de objetos a ser capturados, e indicadores visuales, entre los cuales están el tiempo, número de objetos que han sido capturados, entre otros, ver **Figura 22**. El avatar que representa a cada participante en la actividad de navegación colaborativa, la lógica de navegación y demás, fueron implementados a partir de trabajos previos de investigación, los cuales fueron orientados por el director de este trabajo [89], [90], ver **Figura 23**.

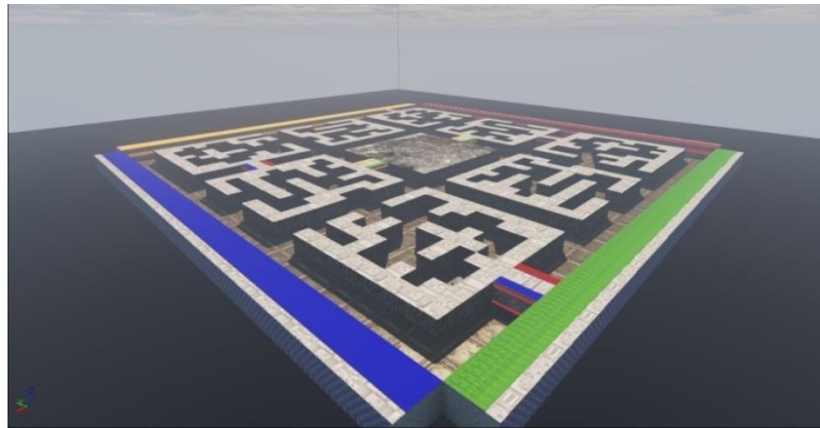


Figura 21: Prototipo de navegación colaborativa.

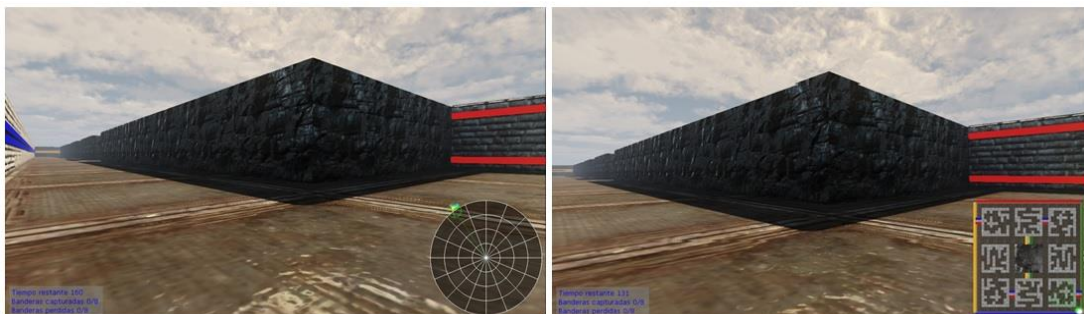


Figura 22: Prototipo final de navegación. Vista de usuarios.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D



Figura 23: Avatar del participante.

### 5.2.1 Pruebas con usuarios

El proceso de evaluación de las métricas propuestas incluyó una fase de pruebas descritas anteriormente, ver **sección 4.3.3**.



Figura 24: Usuarios en el experimento.

Para el experimento se realizaron dos test con usuarios, denominados pruebas o condición con colaboración favorecida (C. F) y pruebas o condición con colaboración libre (C. L). Dichas pruebas se realizaron mediante el prototipo de navegación implementado. En la **Figura 24**, se aprecian algunas de las fotografías tomadas a los usuarios mientras realizaban el experimento, para ver en detalle el registro completo de fotografías de los participantes remitirse al **Anexo D**.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el proceso de experimentación.

En la **Figura 25** se muestran los resultados obtenidos para la métrica de desempeño, Tiempo Transcurrido en la Actividad (TTA), Objetos Atrapados sobre el Tiempo (IOAT) y Objetos Atrapados sobre el total de Objetos (OAO). Podemos observar que el equipo 6 obtuvo mejores resultados en la métrica ITTA para cada condición (C. F y C. L), mientras que incluyendo al equipo 6, los equipos 11, 13 y 16 obtuvieron mejores resultados en la métrica IOAT para la condición C. L y el equipo 6 obtuvo buenos resultados en la C. F para la misma métrica, y por último en la métrica OAO en la condición C. F, el equipo 6 obtuvo mejores resultados y en la condición C. L, los equipos 6, 11, 13 y 16 obtuvieron mejores resultados.

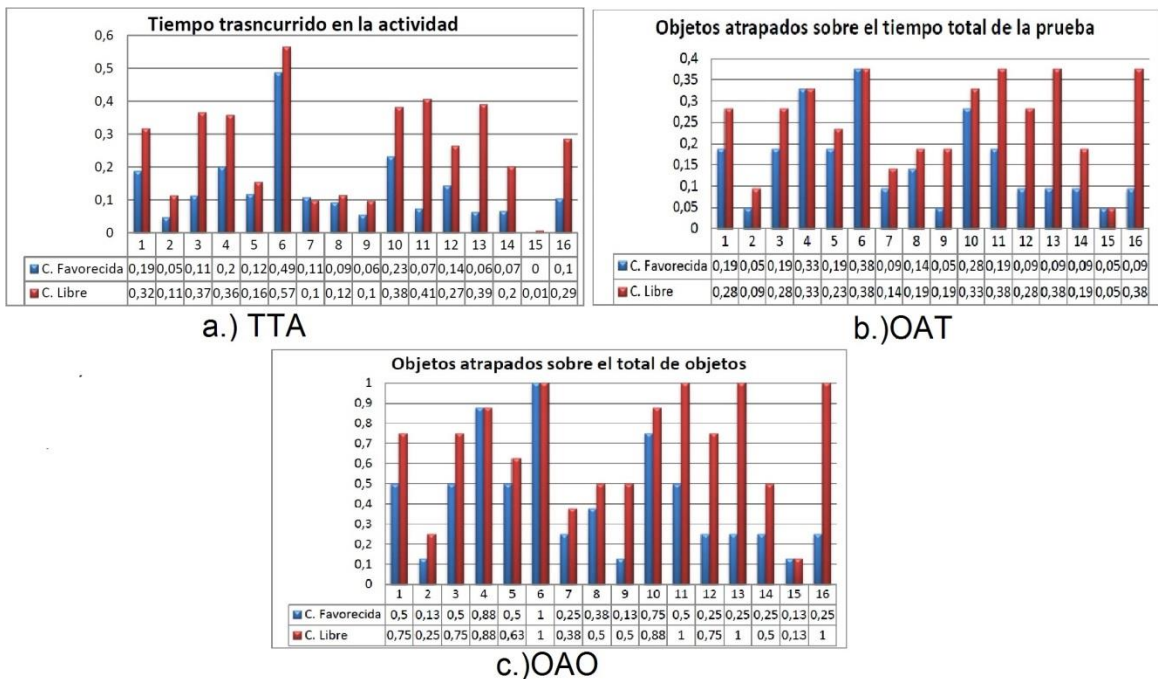


Figura 25: Graficas de Desempeño.

En la **Figura 26** se muestran los resultados obtenidos para la métrica de aplicación de estrategias. Las métricas calculadas en la métrica de aplicación de estrategias son: Índice de Caminado Relativo (ICR) e Índice de Caminado en Equipo (ICE). Podemos observar que para la métrica ICR, el equipo 2 obtuvo mejores resultados en la C. F, mientras que en la C. L el equipo 9 obtuvo mejores resultados, y para la métrica ICE, los equipos 4, 6, 13 y 14 obtuvieron mejores resultados en la C. F y los equipos 6, 10, 11, 13 y 14 obtuvieron mejores resultados en la C. L.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

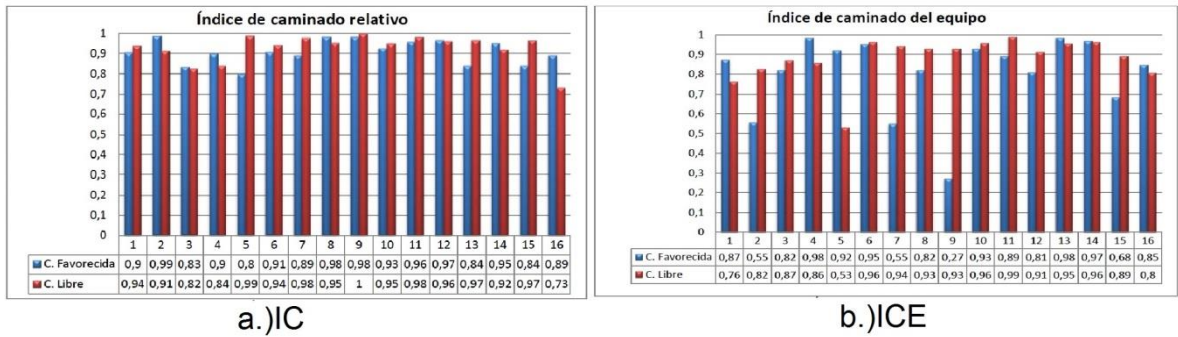


Figura 26: Graficas de Aplicación de estrategias.

En la **Figura 27** se muestran los resultados obtenidos para la métrica de cooperación intragrupal. Las métricas calculadas en la métrica de cooperación intragrupal son: Índice de Velocidad Relativa (IVR), Índice de Velocidad en Equipo (IVE) y Tiempo de Comunicación (TC). Podemos observar que para la métrica IVR, el equipo 9 obtuvo mejores resultados en la C. F y en la C. L, en la métrica IVE, el equipo 6 obtuvo mejores resultados en la C. F y C. L, y para la métrica TC, el equipo 15 obtuvo mejores resultados en la C. F y en la C. L.

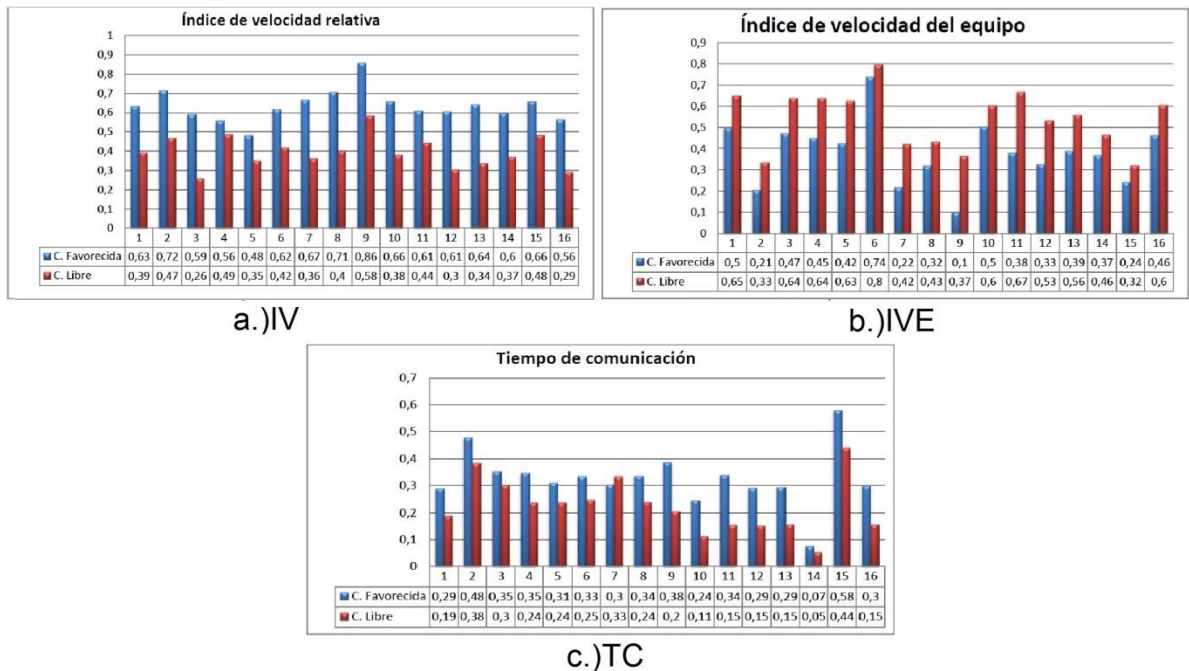


Figura 27: Graficas de Cooperación intragrupal.

En la **Figura 28** se muestran los resultados obtenidos para la métrica de coordinación. Las métricas calculadas en la métrica de coordinación son: Distancia entre Usuarios (DU) y Proximidad al Objetivo en Equipo (POE). Podemos observar que para la métrica DU, los equipos 9 y 11 obtuvieron mejores resultados en la C. F, mientras que el equipo 4 obtuvo mejores resultados en la C. L, y para la métrica



## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

POE, el equipo 6 obtuvo mejores resultados en la C. F, mientras que el equipo 10 obtuvo mejores resultados en la C. L.

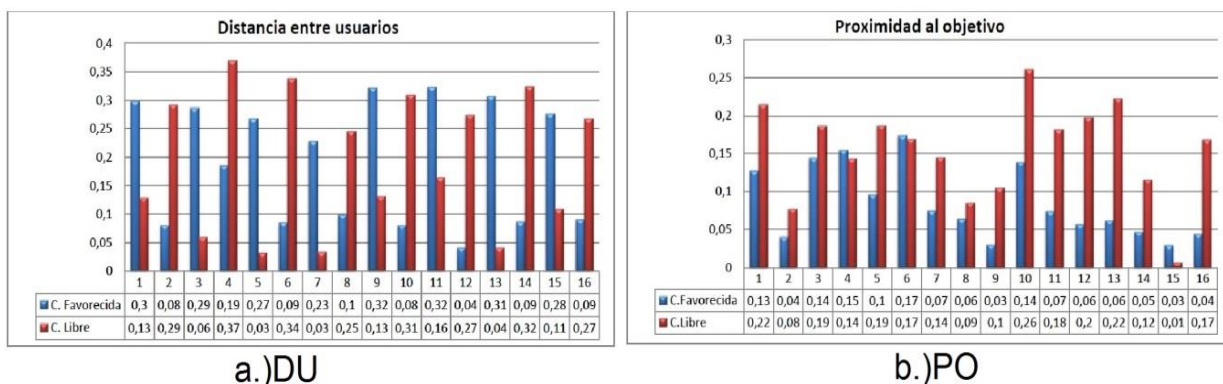


Figura 28: Graficas de Coordinación.

En la **Figura 29** se muestran los resultados obtenidos para la métrica de orientación espacial. La métrica calculada en la métrica de orientación espacial es: Índice de Giro (IG). Podemos observar que para la métrica IG, el equipo 9 obtuvo mejores resultados en la C. F y en la C. L.

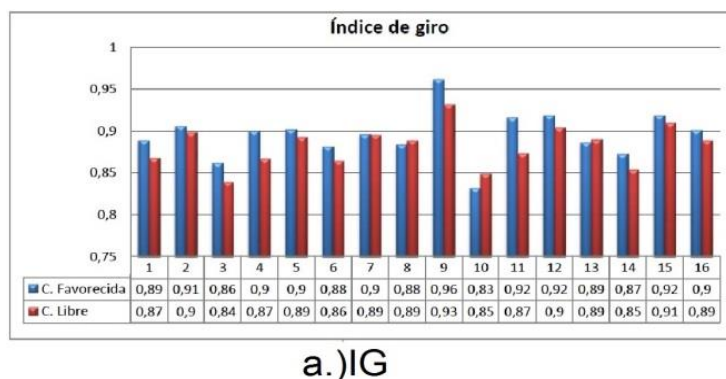


Figura 29: Grafica de Orientación espacial.

Para ver detalladamente los resultados de cada una de las gráficas aquí presentadas, remitirse al **Anexo F**.

El resultado promedio de cada una de las métricas se muestra a continuación en la **Tabla 8**, donde se muestra el promedio de cada conjunto de métricas para cada una de las métricas generales propuestas en este trabajo. Como se puede observar en la **Figura 30**, la métrica que presentó mejores resultados en la condición de colaboración favorecida fue: Desempeño. La métrica que presentó mejores resultados en la condición de colaboración libre fue: Aplicación de Estrategias. Finalmente, las métricas que presentaron resultados similares fueron: Cooperación Intragrupal, Coordinación, Orientación Espacial e Inmersión.

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

Tabla 8: Promedio del conjunto de métricas.

Métricas cuantitativas												
Métrica	Desempeño		Aplicación de estrategias		Cooperación Intragrupal		Coordinación		Orientación Espacial		Inmersión	
Tipo Tarea	C.F	C.L	C.F	C.L	C.F	C.L	C.F	C.L	C.F	C.L	C.F	C.L
Equipo 1	0,4627	0,6583	0,8885	0,8491	0,6799	0,7422	0,2133	0,1720	0,7721	0,8169	0,7200	0,7400
Equipo 2	0,3866	0,4430	0,7704	0,8680	0,6665	0,6148	0,0604	0,1845	0,7263	0,7996	0,8400	0,8400
Equipo 3	0,5835	0,6831	0,8259	0,8467	0,8240	0,7423	0,2155	0,1227	0,8903	0,7597	0,8800	0,9000
Equipo 4	0,5842	0,7104	0,9402	0,8473	0,8169	0,7718	0,1699	0,2566	0,9499	0,8166	0,8600	0,7400
Equipo 5	0,5343	0,5524	0,8590	0,7583	0,6017	0,6452	0,1818	0,1099	0,7504	0,7481	0,8200	0,8000
Equipo 6	0,7274	0,7404	0,9285	0,9521	0,8544	0,8427	0,1297	0,2538	0,9453	0,9159	0,7800	0,6800
Equipo 7	0,2587	0,4358	0,7189	0,9597	0,5428	0,6069	0,1514	0,0889	0,5989	0,7737	0,6200	0,7600
Equipo 8	0,4848	0,5005	0,9007	0,9402	0,7067	0,6714	0,0808	0,1655	0,7958	0,7721	0,8200	0,8400
Equipo 9	0,5045	0,5309	0,6259	0,9627	0,6048	0,6335	0,1757	0,1180	0,7903	0,7829	0,9200	0,9000
Equipo 10	0,6274	0,6977	0,9272	0,9536	0,6891	0,7142	0,1098	0,2853	0,7579	0,8621	0,8600	0,8000
Equipo 11	0,5436	0,7805	0,9245	0,9852	0,7693	0,7652	0,1986	0,1731	0,9540	0,9682	0,8600	0,9600
Equipo 12	0,4481	0,6495	0,8870	0,9373	0,6582	0,7102	0,0488	0,2358	0,8047	0,8508	0,8800	0,8600
Equipo 13	0,4180	0,7112	0,9116	0,9605	0,7804	0,7768	0,1840	0,1317	0,8465	0,8974	0,8600	0,8800
Equipo 14	0,3851	0,4151	0,9606	0,9399	0,5489	0,4021	0,0668	0,2202	0,6929	0,6384	0,6800	0,6400
Equipo 15	0,3454	0,3965	0,7606	0,9280	0,6199	0,4950	0,1528	0,0575	0,7296	0,6773	0,5800	0,5600
Equipo 16	0,4415	0,6936	0,8676	0,7676	0,6361	0,6699	0,0674	0,2185	0,7752	0,7722	0,7400	0,7800
Promedio	0,8333	0,7667	0,7250	0,7583	0,7750	0,7750	0,1839	0,1893	0,0740	0,1537	0,8972	0,8864
Desv. Estándar	0,3302	0,2660	0,3167	0,2646	0,3054	0,2641	0,1225	0,1246	0,0482	0,0778	0,3271	0,2469

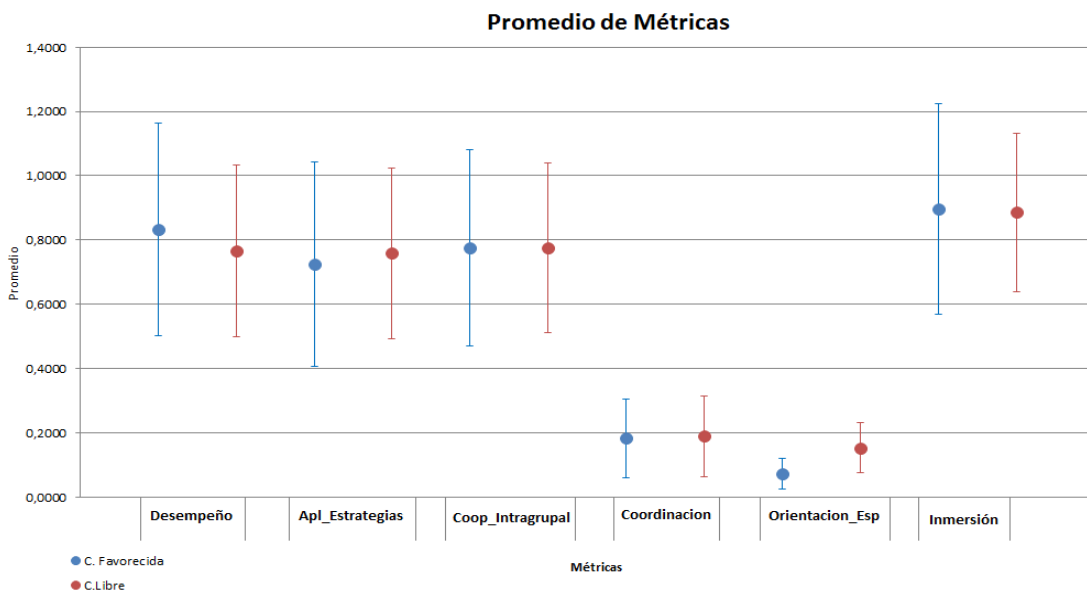


Figura 30: Promedio de métricas

Como se puede observar en la **Figura 31**, se presenta el resultado del grado de colaboración de cada uno de los equipos, este resultado es obtenido de las métricas cuantitativas. Es el promedio del resultado de la evaluación de las métricas en las dos condiciones de colaboración de la tarea (C. F y C. L). El equipo 6 obtuvo el mayor grado de colaboración en la condición de Colaboración Favorecida, y el grupo 11 obtuvo el mayor grado de colaboración en la condición de Colaboración libre, esto quiere decir que los equipos tuvieron un buen desempeño y de la misma forma, estos grupos tuvieron un buen comportamiento

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

en métricas como aplicación de estrategias y cooperación intragrupal; sin embargo esto no quiere decir que tuvieron las mejores calificaciones en todas las métricas, esto indica que hay diferencia en el comportamiento de cada equipo y del proceso de navegación colaborativa.

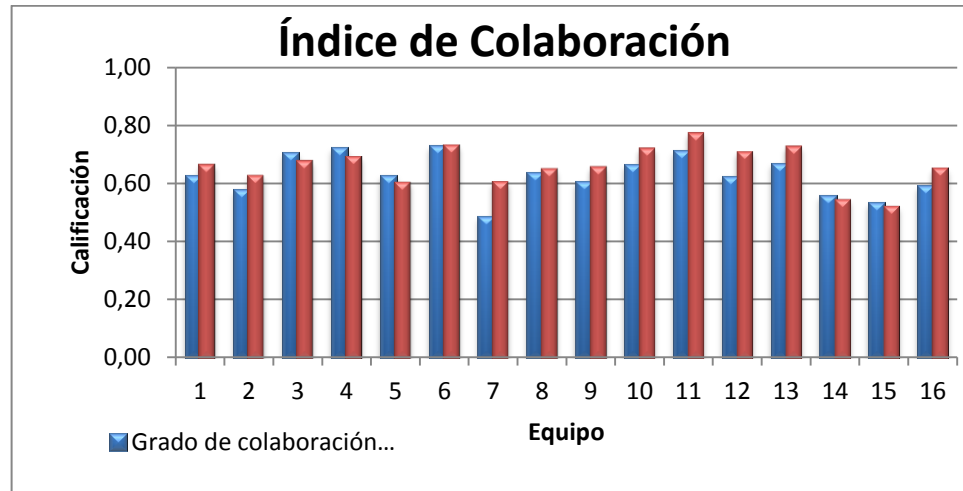


Figura 31: Grado de colaboración en navegación.

### 5.2.2 Análisis de resultados

Para un análisis estadístico adecuado de las medidas entregadas por las métricas propuestas, fue necesario realizar inicialmente una prueba de normalidad, usando una prueba de Shapiro-Wilk. Dicha prueba estadística permite establecer si un conjunto de datos se ajusta a una distribución normal y se recomienda su utilización para muestras menores a 30, el cual es el caso de este trabajo donde se realizó el experimento con 16 equipos, o muestras, por lo tanto vemos que se puede aplicar la prueba de Shapiro-Wilk para pruebas apareadas, con un nivel de confianza del 95% o sea un alfa ( $\alpha = 0.05$ ), siendo la hipótesis nula  $H_0$  donde los datos siguen una distribución normal, es decir si el p-valor ( $p > \alpha$ ) es mayor al nivel de confianza. Sin embargo siendo la hipótesis alterna  $H_1$  si el ( $p < \alpha$ ), los datos no tienen una distribución normal. Ésta prueba de normalidad se realizó para todas la métricas, en los casos en que dio un resultado positivo (los datos se ajusta a una distribución normal) para las dos condiciones de colaboración, se realizó la prueba estadística para aceptar  $H_0$  usando un análisis t-Student para muestras pareadas. Si la prueba de Shapiro-Wilk dio negativa por lo menos para una de las condiciones de colaboración, se realizó la prueba estadística para aceptar  $H_1$  usando análisis de rangos con signo de Wilcoxon. Para ver en detalle el resultado de la significancia expuesto en la **sección 4.3.1** de cada una de las métricas, remítase al **Anexo G**.

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

**Tabla 9: Resultados Estadísticos.**

Métrica general	Conjunto de Métricas	C. Favorecida	C. Libre	
Desempeño	ITTA	$\mu$	0,131491	0,258673
		$\sigma$	0,113132	0,023129
		p	0,000643	
	IOAT	$\mu$	0,155273	0,254883
		$\sigma$	0,100854	0,105469
		p	0,001349	
	OAO	$\mu$	0,414062	0,679688
		$\sigma$	0,268944	0,281250
		p	0,001349	
	P1	$\mu$	0,725000	0,818750
		$\sigma$	0,246306	0,116726
		p	0,137608	
	P2	$\mu$	0,718750	0,825000
		$\sigma$	0,245544	0,118322
		p	0,085400	
P3	$\mu$	0,600000	0,762500	
	$\sigma$	0,212916	0,500000	
	p	0,009384		
Aplicación de Estrategias	IC	$\mu$	0,909767	0,928126
		$\sigma$	0,059906	0,071862
		p	0,437967	
ICE	$\mu$	0,802369	0,878907	
	$\sigma$	0,197667	0,113733	
	p	0,234321		
Cooperación Intragrupal	IV	$\mu$	0,634286	0,394956
		$\sigma$	0,082915	0,083937
		p	0,000000	
	IVE	$\mu$	0,381025	0,540854
		$\sigma$	0,150629	0,136883
		p	0,000000	
	TC	$\mu$	0,328184	0,223711
		$\sigma$	0,105728	0,101791
		p	0,000643	
	P4	$\mu$	0,737500	0,712500
		$\sigma$	0,252653	0,174642
		p	0,198320	
	P5	$\mu$	0,681250	0,762500
		$\sigma$	0,248244	0,166833
		p	0,299281	
P6	$\mu$	0,831250	0,818750	
	$\sigma$	0,254869	0,142449	
	p	0,341051		
P7	$\mu$	0,781250	0,787500	
	$\sigma$	0,248244	0,158640	
	p	0,297057		
P8	$\mu$	0,706250	0,762500	
	$\sigma$	0,154380	0,235850	
	p	0,622905		
P9	$\mu$	0,731250	0,793750	
	$\sigma$	0,235850	0,143614	
	p	0,581777		
Coordinación	DU	$\mu$	0,191125	0,195103
		$\sigma$	0,106704	0,120130
		p	0,795987	
PO	$\mu$	0,084694	0,154126	
	$\sigma$	0,063577	0,783761	
	p	0,000159		
Orientación Espacial	IG	$\mu$	0,895028	0,881706
		$\sigma$	0,028647	0,934892
		p	0,003364	
	P10	$\mu$	0,731250	0,781250
		$\sigma$	0,244182	0,116726
		p	0,777838	
P11	$\mu$	0,687500	0,762500	
	$\sigma$	0,233452	0,158640	
	p	0,420466		
P12	$\mu$	0,700000	0,787500	
	$\sigma$	0,228035	0,114746	
	p	0,158720		
Inmersión	P13	$\mu$	0,737500	0,781250
		$\sigma$	0,239096	0,104682
		p	0,565039	
	P14	$\mu$	0,750000	0,800000
		$\sigma$	0,225093	0,115470
		p	0,417413	
	P15	$\mu$	0,762500	0,812500
		$\sigma$	0,236291	0,136015
		p	0,448677	
P16	$\mu$	0,731250	0,775000	
	$\sigma$	0,227211	0,148324	
	p	0,380455		
P17	$\mu$	0,750000	0,793750	
	$\sigma$	0,239444	0,118145	
	p	0,581777		

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

La **Tabla 9** muestra los resultados para cada métrica general del conjunto de métricas, presentando el valor medio ( $\mu$ ), la desviación estándar ( $\sigma$ ), y la probabilidad ( $p$ ) estadística de (*Wilcoxon* y *t-Student*). Donde se presenta en color azul, las métricas a las que se les aplicó la prueba de Wilcoxon; en color verde, las métricas a las que se les aplicó la prueba de t-Student; y en color rojo, las métricas no tuvieron diferencia significativa.

Para el conjunto específico de métricas de la métrica de desempeño, el Tiempo transcurrido en la actividad (ITTA), muestra una significancia de ( $p = 0.000643 < 0.05$ ), esto quiere decir que hay una diferencia significativa en las dos condiciones de colaboración (C. F y C. L), como se puede observar en la **Tabla 9**. Sucede lo mismo con el conjunto de métricas OAT, OAO y la métrica o pregunta P3 del cuestionario, donde OAT tiene una significancia de ( $p = 0.001349 < 0.05$ ), OAO tiene una significancia de ( $p = 0,001349 < 0.05$ ), y P3 tiene una significancia de ( $p = 0.009384 < 0.05$ ). No se observó diferencias significativas en P1 y P2 dado que su valor  $p$  es mayor que 0.005 ( $p > 0.05$ ).

El conjunto específico de métricas de la métrica de aplicación de estrategias en las que el IC (Índice de caminado) tiene una significancia de ( $p = 0.437967 > 0.05$ ), y el ICE (índice de caminado en equipo) tiene una significancia de ( $p = 0.234321 > 0.05$ ), IC e ICE respectivamente no tuvieron diferencia significativa en las dos condiciones de colaboración (C. F y C. L) como se puede observar en la **Tabla 9**.

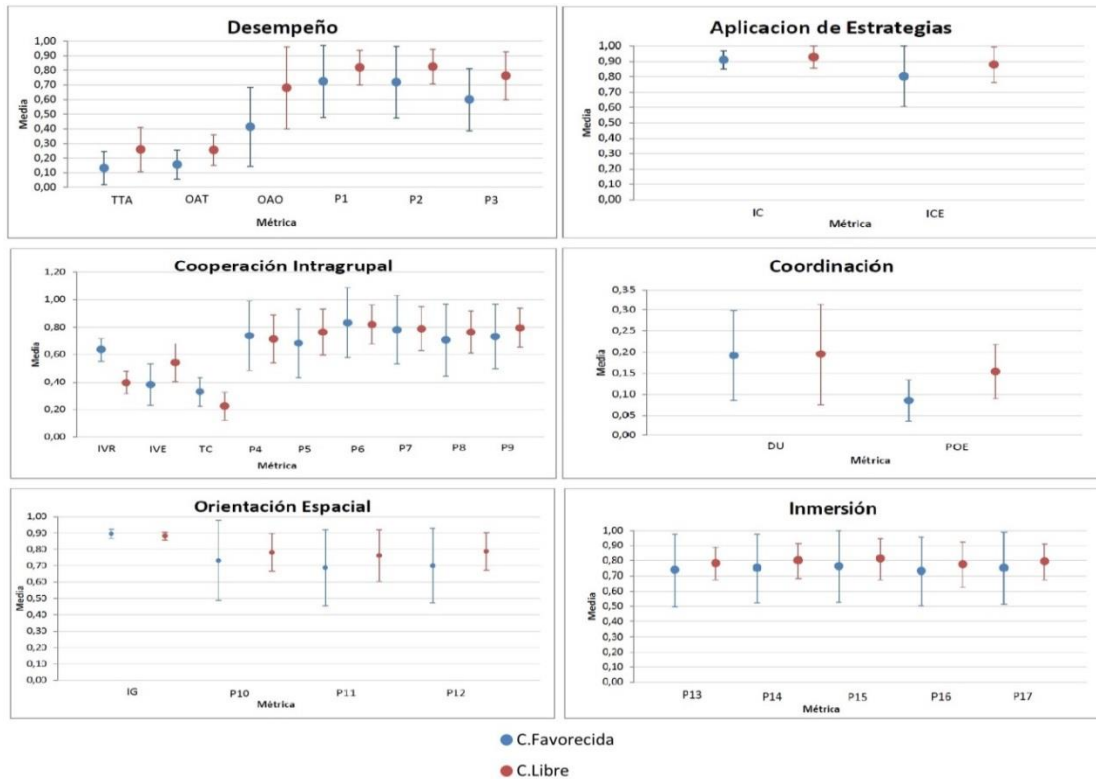
Para las métricas relacionadas con cooperación intragrupal IVR (índice de velocidad relativa), IVE (índice de velocidad del equipo), y TC (tiempo de comunicación), hay una diferencia significativa en las dos condiciones de colaboración (C. F y C. L), puesto que IVE tiene una significancia de ( $p = 0.00000 < 0.05$ ), IVE tiene una significancia de ( $p = 0.00000 < 0.05$ ) y TC tiene una significancia de ( $p = 0.000643 < 0.05$ ). En las métricas P4, P5, P6, P7, P8, P9 no se obtuvo diferencia significativa dado que su valor  $p$  es mayor que 0.05 ( $p > 0.05$ ) como se puede observar en la **Tabla 9**.

En las métricas de coordinación se puede observar que hay diferencia significativa para la métrica POE (proximidad al objetivo en equipo) y no para la métrica DU (distancia entre usuarios) dado que DU tiene un ( $p = 0.795987 > 0.05$ ) y POE si muestra significancia puesto que tiene un valor de ( $p = 0.000159 < 0.05$ ) en las dos condiciones de colaboración (C. F y C. L).

Para las métricas de orientación espacial la métrica IG (índice de giro) tiene una diferencia significativa en las dos condiciones de la tarea, dado que IG tiene un valor ( $p = 0.003364 < 0.05$ ), lo que no sucede con las métricas P10, P11 y P12, dado que la métrica P10 tiene un ( $p = 0.777838 > 0.05$ ), P11 tiene un valor ( $p = 0.0420466 > 0.05$ ) y P12 tiene un valor de ( $p = 0.158720 > 0.05$ ).

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

En la **Tabla 9** se puede observar que ninguna métrica de inmersión presentó diferencia significativa en las dos condiciones de la tarea, esto se refleja en los valores  $p$  de cada una como en la métrica P13 que tiene un valor de ( $p = 0.565039 > 0.05$ ), P14 tiene un valor ( $p = 0.417413$ ), P15 tiene un valor ( $p = 0.448677$ ), P16 tiene un valor ( $p = 0.380455 > 0.05$ ) y P17 un valor de ( $p = 0.158720 > 0.05$ ). Por lo tanto se evidencia que en ninguna del conjunto de métricas de inmersión se encontró evidencia significativa en los datos.



**Figura 32: Gráficas de comparación de las medias de las métricas en las dos condiciones (C. F y C. L).**

El análisis se puede ver reflejado en la **Figura 32** puesto que en las siguientes graficas se evidencia la media y su respectivo gráfico de error para cada una del conjunto de métricas en las dos condiciones de colaboración (C. F y C. L). En el conjunto de métricas donde se evidencia una diferencia significativa en las dos condiciones de la tarea, puede decirse que pueden ser propuestas para medir la colaboración en tareas de navegación, puesto que se obtienen resultados diferentes al medirla en las mismas muestras (equipos). En cuanto a las métricas que no presentan diferencia significativa, no se puede concluir si son las adecuadas para medir o no la colaboración en tareas de navegación, esto sucedió generalmente con las métricas principalmente de inmersión, puesto que las barras de error se solapan entre sí como se observa en la **Figura 32**. Esto es debido a que los resultados que provienen de los datos subjetivos arrojados en los cuestionarios de preguntas y puede intuirse que los usuarios presenten similitudes al responder un cuestionario en las dos condiciones.

## 6 Conclusiones y trabajo futuro

En el desarrollo de este proyecto se identificaron tres etapas generales que permitieron su finalización, las cuales fueron: la identificación y definición de un conjunto de métricas, la formulación e implementación de un prototipo de navegación colaborativa y la evaluación del conjunto de métricas mediante el prototipo de navegación. Se evidenció que el adecuado planeamiento con que se llevó a cabo este proyecto, fue uno de los factores más importantes que permitieron su satisfactoria finalización, donde se reconoce la importancia de las fases y los elementos de la metodología que se planteó desde el principio.

El desarrollo de este proyecto permitió identificar y definir un conjunto de métricas que permiten la evaluación de colaboración en tareas de navegación 3D. El conjunto de métricas propuesto es compuesto por 6 componentes orientados a medir Desempeño, Aplicación de estrategias, Cooperación intragrupal, Coordinación, orientación espacial e Inmersión.

El conjunto de métricas es el resultado de la revisión de las bases teóricas y trabajos relacionados que permitieron identificar las métricas existentes tanto de evaluación de colaboración como de navegación en 3D. Posteriormente se realizó una depuración de las métricas identificadas, lo que permitió establecer una propuesta más clara de las métricas necesarias para evaluar la colaboración en tareas de navegación 3D.

Se identificaron dos referentes principales, los cuales se consideraron como trabajos fundamentales para la organización del conjunto de métricas. De los trabajos de Guerrero *et al.* [44] y de Collazos *et al.* [49], se tomó un conjunto de indicadores para medir colaboración en el trabajo grupal. Al igual que estos autores, con el conjunto de métricas propuesto se puede calcular un índice de colaboración general que permite medir el grado de colaboración en una tarea de navegación en un entorno virtual 3D. Del trabajo de Ruddle y Lessels [16] se tomó un conjunto de métricas para evaluar el planeamiento de rutas.

Lo anterior permite señalar que el conjunto de métricas resultado de este proyecto de grado se construyó a partir de la adaptación de métricas ya propuestas, de tal forma que permitan evaluar el grado de colaboración en una tarea de navegación 3D.

Se diseñó una tarea de navegación colaborativa que permitiera mostrar cómo implementar el conjunto de métricas en una tarea específica y además evaluar el conjunto de métricas. Por restricciones en el acceso a hardware disponible para realizar la evaluación, la tarea diseñada se planeó para equipos de dos personas.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

La tarea diseñada incluyó colaboración en los dos componentes de la navegación, locomoción y planeamiento de rutas. Los elementos de colaboración diseñados cumplían con las características de una actividad colaborativa como son la interdependencia positiva, responsabilidad individual e igual participación.

Para evaluar el conjunto de métricas propuesto, se diseñaron dos condiciones diferentes en la tarea de navegación. En la primera donde se restringían las condiciones de la tarea para favorecer la colaboración, Colaboración Favorecida (C. F) y la segunda, donde la colaboración se daba de forma libre, Colaboración Libre (C. L).

Con la tarea diseñada se implementó un prototipo de entorno virtual colaborativa (CVE) con elementos básicos de jugabilidad como el tiempo, banderas capturadas, banderas perdidas, entre otros, los cuales permitían que los usuarios estuvieran más involucrados con la tarea de navegación y se motivaran a obtener mejores resultados. Para el desarrollo del prototipo se utilizó un CVE desarrollado en el cual participó el director de este trabajo.

Con el prototipo de CVE desarrollado se realizó un experimento con 16 equipos de usuarios (32 usuarios), quienes desarrollaron la tarea de navegación bajo las dos condiciones de colaboración C. L y C. F.

El prototipo de navegación diseñado permitió la adquisición de los datos producto de la interacción de los usuarios, que permitió recolectar 64 archivos de registro (log) de la interacción de los usuarios, los cuales fueron procesados para extraer todos los datos de interés en 960 archivos de registro (16 equipos, 32 participantes, 60 archivos por equipo). Además, se llevó un registro audiovisual de todos los experimentos y cada usuario tuvo que diligenciar cuestionarios sobre su percepción subjetiva en aspectos de la tarea.

Se definieron métricas puntuales aplicadas a la tarea donde se muestra de forma clara cómo evaluar una tarea de navegación con el conjunto de métricas propuesto. Con los datos capturados, archivos de registro, cuestionarios y archivos audiovisuales, para los seis conjuntos de métricas, se calcularon seis métricas de desempeño, dos de aplicación de estrategias, nueve de cooperación intragrupal, dos de coordinación, cuatro de orientación espacial y cinco de inmersión, con las cuales además, se calculó un índice global de colaboración.

Los resultados medidos con el conjunto de métricas permitió evidenciar comportamientos diferentes en la resolución de la tarea para las dos condiciones de colaboración (C. F vs C. L).

En el análisis de los resultados de la evaluación se evidenció la diferencia estadística significativa entre las dos condiciones del experimento, para un grupo importante de métricas calculadas. De un total de 28 métricas evaluadas, 11



## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

fueron métricas objetivas resultado de los archivos de registro (log), y 17 fueron métricas obtenidas a través de cuestionarios aplicados a los usuarios, donde el 73% de las métricas objetivas pasaron la diferencia estadística significativa y el 6% de las métricas objetivas pasaron la diferencia estadística significativa. Se evidenció que la mayoría de las métricas derivadas de datos subjetivos no presentan diferencia estadística significativa, esto indica que los datos obtenidos de las métricas objetivas pueden ser más fiables que los datos recolectados de las sensaciones percibidas por los participantes en el momento de contestar los cuestionarios. Lo anterior permite afirmar que la propuesta de métricas permite evaluar colaboración en tareas de navegación 3D.

Se puede considerar que a través de la experimentación realizada, las métricas cumplen las expectativas que se tenían en el momento de ser definidas y que los resultados que arrojaron estas fueron satisfactorios.

Se mostró que el conjunto de métricas propuesto se puede aplicar en una tarea de navegación específica, dejando claro que para su aplicación en una tarea de navegación se deben implementar métricas específicas para cada uno de los componentes del conjunto de métricas propuesto (Desempeño, aplicación de estrategias, cooperación intragrupal, coordinación, orientación espacial e inmersión). Sin embargo, algunas de las métricas específicas presentadas en este trabajo se pueden adaptar a cualquier actividad de navegación que implique colaboración.

Es posible afirmar que se pudo dar respuestas a las preguntas de investigación planteadas en este trabajo, respecto a definir ¿Qué métricas cuantitativas serán las adecuadas para medir el grado de colaboración en una tarea de navegación en un entorno virtual? ¿Cómo pueden adaptarse dichas métricas para medir el grado de colaboración en una tarea de navegación?

Como trabajo futuro se puede considerar ampliar el conjunto de métricas incluyendo elementos de usabilidad y experiencia del usuario, como el nivel de frustración de los usuarios durante las pruebas, que permitan medir dichos aspectos en la navegación colaborativa. Esto puede incluir el análisis de los vídeos de los usuarios para contemplar las sensaciones evocados por los usuarios durante los experimentos.

El conjunto de métricas aplicado a la tarea de navegación colaborativa se diseñó para esta tarea en específico, también es posible ampliar el estudio experimental usando diferentes metáforas de navegación, como volar, la teletransportación, etc. para lo cual se debe redefinir un conjunto específico de métricas adecuado a la tarea de navegación, para evaluar el impacto de éstas en una tarea de navegación colaborativa.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

Como se mencionó en el capítulo 2, los CVEs han sido usados en diferentes contextos de aplicación, por lo tanto también es posible realizar experimentaciones en diferentes escenarios diseñando un CVE aplicable a sectores como la educación.

También es posible ampliar el experimento realizado con equipos de más usuarios, o usando dispositivos de inmersión como cascos de realidad virtual o Head Mount Display (HDM), pero se resalta que la principal dificultad actual para este tipo de evaluación es el acceso a dichos dispositivos.

# MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

## 7 Referencias

- [1] G. M. Jacobs, G. S. Lee, S. L. Gan, and J. Ball, *Learning Cooperative Learning Via Cooperative Learning: A Sourcebook of Lesson Plans for Teacher Education on Cooperative Learning*. Kagan Cooperative Learning, 1997, p. 138.
- [2] T. J. Dodds, "Collaborative Interaction in Virtual Environments," Doctoral dissertation, The University of Leeds, 2009.
- [3] W. L. Pantoja, "Entorno Colaborativo Para Apoyar la Mejora de Procesos de Software en Pequeñas Organizaiones Desarrolladoras de Software," 2008.
- [4] C. Ciurea, "A Metrics Approach for Collaborative Systems," *Inform. Econ. J.*, vol. 13, no. 2, pp. 41–50, 2009.
- [5] D. Snowdon, E. F. Churchill, and A. J. Munro, "Collaborative Virtual Environments: Digital Spaces and Places for CSCW: An Introduction," *Collab. Virtual Environ. Springer London*, pp. 3–17, 2001.
- [6] H. Yang, "Support spatial awareness: collaborative navigation in a virtual environment," Doctoral Dissertation, The University of Michigan, Ann Arbor, 2003.
- [7] A. S. García Jiménez, "Estudio y Mejoras De La Interacción En Entornos Virtuales Colaborativos," Universidad Castilla-La Mancha, 2010.
- [8] 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.
- [9] H. Hrimech, L. Alem, and F. Merienne, "Understanding the Affordances of Navigation Metaphors in a Collaborative Virtual Environment," *Int. J. Virtual Real.*, vol. 9, no. 2, pp. 39–51, 2010.
- [10] D. A. Bowman, D. B. Johnson, and L. F. Hodges, "Testbed evaluation of virtual environment interaction techniques," in *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology - VRST '99*, 1999, pp. 26–33.
- [11] C. Ellis, "An Evaluation Framework for Collaborative Systems," *Univ. Color. Boulder Tech. Rep. CU-CS-9001-00*, pp. 1–20, 2000.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- [12] P. FUHRER and J. PASQUIER-ROCHA, "MaDViWorld: a Software Framework," vol. 4, no. 2, pp. 34–45, 2005.
- [13] 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.
- [14] W. J. Sarmiento and C. A. Collazos, "CSCW Systems in Virtual Environments: A General Development Framework," *2012 10th Int. Conf. Creat. Connect. Collab. through Comput.*, pp. 15–22, Jan. 2012.
- [15] C. A. Collazos, "Una metodología para el apoyo computacional de la evaluación y monitoreo en ambientes de aprendizaje colaborativo," 2003.
- [16] R. A. Ruddle and S. Lessels, "Three levels of metric for evaluating wayfinding," *Presence Teleoperators Virtual Environ.*, vol. 15, pp. 637–654, 2006.
- [17] 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.
- [18] T.-J. Nam and D. Wright, "The development and evaluation of Syco3D: a real-time collaborative 3D CAD system," *Des. Stud.*, vol. 22, no. 6, pp. 557–582, 2001.
- [19] H. Hrimech, L. Alem, and F. Merienne, "How 3D Interaction Metaphors Affect User Experience in Collaborative Virtual Environment," *Adv. Human-Computer Interact.*, vol. 2011, no. Article ID 172318, p. 11 pages, 2011.
- [20] S. Burigat and L. Chittaro, "Navigation in 3D virtual environments: Effects of user experience and location-pointing navigation aids," *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 65, no. 11, pp. 945–958, Nov. 2007.
- [21] X. Zhang, "A multiscale progressive model on virtual navigation," *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 66, no. 4, pp. 243–256, Apr. 2008.
- [22] A. Parush and D. Berman, "Navigation and orientation in 3D user interfaces: the impact of navigation aids and landmarks," *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 61, no. 3, pp. 375–395, Sep. 2004.
- [23] M. Usoh, K. Arthur, M. C. Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater, and F. P. Brooks, "Walking > walking-in-place > flying, in virtual environments," in

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

*Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques SIGGRAPH '99*, 1999, pp. 359–364.

- [24] D. A. Bowman, “Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments: Design, Evaluation, and Application,” *Methodology*, vol. 98, pp. 37–53, 1997.
- [25] D. Slambekova, “Gaze and Gesture Based Object Interaction in Virtual World (Doctoral dissertation, Rochester Institute of Technology),” pp. 1–54, 2012.
- [26] E. Gallo, N. Tsingos, G. Lemaitre, and R. Inria, “3D-Audio Matting, Post-editing and Re-rendering from Field Recordings,” *EURASIP J. Appl. Signal Processing*, pp. 1–14, 2007.
- [27] S. Kim, J. Chun, H. Park, and D. Kwon, “Interfacing Sensors and Virtual World Health Avatar Application,” *Inf. Sci. Serv. Sci. (NISS), 2011 5th Int. Conf. New Trends*, vol. 1, pp. 21–25, 2011.
- [28] K. Kanev and T. Sugiyama, “Design and simulation of interactive 3D computer games,” *Comput. Graph.*, vol. 22, no. 2–3, pp. 281–300, 1998.
- [29] G. Cirio, P. Vangorp, E. Chapoulie, M. Marchal, A. Lecuyer, and G. Drettakis, “Walking in a Cube: Novel Metaphors for Safely Navigating Large Virtual Environments in Restricted Real Workspaces,” *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 18, no. 4, pp. 546–554, Apr. 2012.
- [30] B. Williams, S. Bailey, G. Narasimham, M. Li, and B. Bodenheimer, “Evaluation of walking in place on a Wii balance board to explore a virtual environment,” *ACM Trans. Appl. Percept.*, vol. 8, no. 3, pp. 1–14, Aug. 2011.
- [31] N. C. Nilsson, S. Serafin, M. H. Laursen, K. S. Pedersen, and E. Sikstr, “Tapping-In-Place: Increasing the Naturalness of Immersive Walking-In-Place Locomotion Through Novel Gestural Input,” pp. 31–38, 2013.
- [32] 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, Feb. 2012.
- [33] V. M. Canseco Soto, “Sistema Colaborativo de Reuniones para PC’S y Dispositivos Móviles,” Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2004.
- [34] C. A. Collazos, J. A. Alvira M, D. F. Martínez R, J. Jiménez, R. Cobos, and J. Moreno, “Evaluando y Monitoreando Actividades Colaborativas en Dispositivos Móviles,” *Av. en Sist. e Informática*, vol. 5, no. 1, pp. 93–102, 2008.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- [35] D. W. Johnson, R. T. Johnson, and E. J. Holubec, *El aprendizaje cooperativo en el aula*. Buenos Aires: Paidós, 1999, p. 66.
- [36] H. R. Maamar, "A hybrid multicast transport protocol for collaborative virtual environments. University of Ottawa," University of Ottawa, Ontario, CANADA, 2008.
- [37] J. Jankowski and M. Hachet, "A Survey of Interaction Techniques for Interactive 3D Environments," *Eurographics 2013-State Art Reports.*, pp. 65–93, 2012.
- [38] V. Corrales, "Sistema de Navegación para Robots Sociales Basado en Señales," Universidad Carlos III de Madrid, 2012.
- [39] R. P. Darken and J. L. Sibert, "A toolset for navigation in virtual environments," in *Proceedings of the 6th annual ACM symposium on User interface software and technology - UIST '93*, 1993, pp. 157–165.
- [40] 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.
- [41] J. P. H. Huang, "A conceptual framework for understanding collaborative systems evaluation," *14th IEEE Int. Work. Enabling Technol. Infrastruct. Collab. Enterp. WETICE05*, pp. 215–220, 2005.
- [42] J. Cugini, J., Damianos, L., Hirschman, L., Kozierek, R., Kurtz, J., Laskowski, S., & Scholtz, "Methodology for evaluation of collaboration systems," *Eval. Work. Gr. DARPA Intell. Collab. Vis. Progr.*, vol. 3, 1997.
- [43] M. P. Steves and J. Scholtz, "A Framework for Evaluating Collaborative Systems in the Real World," *Syst. Sci. 2005. HICSS'05. Proc. 38th Annu. Hawaii Int. Conf.*, p. 29c–29c, 2005.
- [44] L. A. Guerrero, R. Alarcón, J. A. Pino, and D. A. Fuller, "Evaluating Cooperation in Group Work," *Groupware, 2000. CRIWG 2000. Proceedings. Sixth Int. Work. on. IEEE.*, pp. 28–35, 2000.
- [45] A. Kirigin, "Heuristic Evaluation Techniques for Collaborative Software," pp. 1–6, 2005.
- [46] I. Ivan and C. Ciurea, "Validation of Metrics for Collaborative Systems," *Rev. Inform. Econ.*, vol. 4, no. 48, pp. 83–86, 2008.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- [47] L. Damianos, J. Kurtz, A. Greenberg, K. Walls, M. Se, and S. Laskowski, "Evaluation for Collaborative Systems," *ACM Comput. Surv.*, vol. 31, p. 10, 1999.
- [48] L. Guerrero, R. Alarcón, and C. Collazos, "Indicadores de cooperación en el trabajo grupal," *Memorias la Conf. Latinoam. Informática, CLEI 2000, México DF, México*, pp. 1–10, 2000.
- [49] C. A. Collazos, L. A. Guerrero, J. A. Pino, and S. F. Ochoa, "A method for evaluating computer-supported collaborative learning process," *Int. J. Comput. Appl. Technol.*, vol. 19, pp. 151–161, 2004.
- [50] T. Kim, A. S. Pentland, and A. Chang, "Meeting Mediator: Enhancing Group Collaboration using Sociometric Feedback," *CHI'08 Ext. Abstr. Hum. Factors Comput. Syst.*, pp. 3183–3188, 2008.
- [51] C. Ciurea, "Metrics of Collaborative Banking Systems," *J. Appl. Collab. Syst.*, vol. 2, no. 1, pp. 16–23, 2010.
- [52] S. Mattsson, "Measures of collaboration in CSCW: Usability and collective measures in remote and co-located problem-solving," Chalmers University of Technology, University of Gothenburg, 2011.
- [53] 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, 2011.
- [54] N. Yamashita, K. Kaji, H. Kuzuoka, and K. Hirata, "Improving visibility of remote gestures in distributed tabletop collaboration," *Proc. ACM 2011 Conf. Comput. Support. Coop. Work - CSCW '11*, pp. 95–104, 2011.
- [55] N. T. Dang, C. Chatelain, J. M. Pergandi, and D. Mestre, "A framework for design and evaluation of collaborative virtual environments," in *Journées de de l'Association Francaise de Réalité Virtuelle*, 2008.
- [56] G. Goebbels, V. Lalioti, and T. Mack, "Guided Design and Evaluation of Distributed, Collaborative 3D Interaction in Projection Based Virtual Environments," in *Proceedings of HCI 2001 - 9th International Conference on Human Computer Interaction*, 2001.
- [57] 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.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- [58] S. Burigat and L. Chittaro, "Navigation in 3D virtual environments: Effects of user experience and location-pointing navigation aids," *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 65, no. 11, pp. 945–958, Nov. 2007.
- [59] S. Notelaers, T. De Weyer, P. Goorts, S. Maesen, L. Vanacken, K. Coninx, and P. Bekaert, "HeatMeUp: A 3DUI serious game to explore collaborative wayfinding," *2012 IEEE Symp. 3D User Interfaces*, pp. 177–178, Mar. 2012.
- [60] J. Wang, R. Budhiraja, O. Leach, R. Clifford, and D. Matsuda, "Escape from Meadwyn 4: A cross-platform environment for collaborative navigation tasks," *2012 IEEE Symp. 3D User Interfaces*, pp. 179–180, Mar. 2012.
- [61] T. T. H. Nguyen, C. Fleury, and T. Duval, "Collaborative exploration in a multi-scale shared virtual environment," *2012 IEEE Symp. 3D User Interfaces*, pp. 181–182, Mar. 2012.
- [62] P. Figueroa, D. Wilches, R. Serrano, L. Lozano, and N. Mendoza, "Hacking the Cube: A 3DUI 2012 Contest Solution," *2012 IEEE Symp. 3D User Interfaces*, pp. 1–2, 2012.
- [63] P. Apostolellis, B. Laha, and D. a. Bowman, "A gaming interface using body gestures for collaborative navigation," *2012 IEEE Symp. 3D User Interfaces*, pp. 185–186, Mar. 2012.
- [64] F. Bacim, E. D. Ragan, C. Stinson, S. Scerbo, and D. A. Bowman, "Collaborative navigation in virtual search and rescue," *2012 IEEE Symp. 3D User Interfaces*, pp. 187–188, Mar. 2012.
- [65] M. Cabral, G. Roque, D. dos Santos, L. Paulucci, and M. Zuffo, "Point and Go: Exploring 3D Virtual Environments," *2012 IEEE Symp. 3D User Interfaces*, pp. 1–2, 2012.
- [66] D. A. Bowman, "Interaction Techniques for Common Tasks in Immersive Virtual Environments," *Thesis Present. to Acad. Fac. by Interact.*, no. June, 1999.
- [67] M. Usoh, K. Arthur, M. C. Whitton, R. Bastos, A. Steed, M. Slater, and F. P. Brooks, "Walking > walking-in-place > flying, in virtual environments," in *Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '99*, 1999, pp. 359–364.
- [68] M. C. Whitton, J. V. Cohn, J. Feasel, P. Zimmons, S. Razzaque, S. J. Poulton, B. McLeod, and F. P. Brooks, "Comparing VE locomotion



## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- interfaces,” *IEEE Proceedings. VR 2005. Virtual Reality, 2005.*, pp. 123–130, 2005.
- [69] R. Kopper, D. A. Bowman, and M. Pinho, “Design and Evaluation of Navigation Techniques for Multiscale Virtual Environments,” *IEEE Virtual Real. Conf. VR 2006*, vol. pages, pp. 175–182, 2006.
- [70] G. Cirio, M. Marchal, T. Regia-Corte, and A. Lécuyer, “The Magic Barrier Tape: A Novel Metaphor for Infinite Navigation in Virtual Worlds with a Restricted Walking Workspace,” *Proc. 16th ACM Symp. Virtual Real. Softw. Technol.*, pp. 155–162, 2009.
- [71] C. Hölscher, S. J. Büchner, T. Meilinger, and G. Strube, “Adaptivity of wayfinding strategies in a multi-building ensemble: The effects of spatial structure, task requirements, and metric information,” *J. Environ. Psychol.*, vol. 29, no. 2, pp. 208–219, Jun. 2009.
- [72] E. A. Suma, S. L. Finkelstein, M. Reid, S. V Babu, A. C. Ulinski, and L. F. Hodges, “Evaluation of the cognitive effects of travel technique in complex real and virtual environments,” *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 16, no. 4, pp. 690–702, 2010.
- [73] R. P. McMahan, A. J. D. Alon, S. Lazem, R. J. Beaton, D. Machaj, M. Schaefer, M. G. Silva, A. Leal, R. Hagan, and D. A. Bowman, “Evaluating natural interaction techniques in video games,” *3D User Interfaces 3DUI 2010 IEEE Symp.*, vol. 0, pp. 11–14, 2010.
- [74] A. Nybakke, R. Ramakrishnan, and V. Interrante, “From Virtual to Actual Mobility: Assessing the Benefits of Active Locomotion through an Immersive Virtual Environment Using a Motorized Wheelchair,” *2012 IEEE Symp. 3D User Interfaces*, pp. 27–30, 2012.
- [75] R. P. McMahan, D. A. Bowman, D. J. Zielinski, and R. B. Brady, “Evaluating display fidelity and interaction fidelity in a virtual reality game,” *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 18, no. 4, pp. 626–33, May 2012.
- [76] 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,” *J. Educ. Technol. Soc.*, vol. 10, no. 3, pp. 257–274, 2007.
- [77] C. A. Collazos, L. A. Guerrero, J. A. Pino, and S. F. Ochoa, “Evaluating Collaborative Learning Processes,” in *Groupware: Design, Implementation, and Use. Springer Berlin Heidelberg*, 2002, pp. 203–221.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- [78] B. G. Witmer and M. J. Singer, "Measuring Presence in Virtual Environments : A Presence," *Presence*, vol. 7, pp. 225–240, 1998.
- [79] R. Schroeder, A. Steed, A. S. Axelsson, I. Heldal, Å. ° Abelin, J. Wideström, A. Nilsson, and M. Slater, "Collaborating in networked immersive spaces: As good as being there together?," *Comput. Graph.*, vol. 25, pp. 781–788, 2001.
- [80] E. I. Diamant, M. Hall, and S. R. Fussell, "Where Did We Turn Wrong? Unpacking the Effects of Culture and Technology on Attributions of Team Performance," *Proc. 2008 ACM Conf. Comput. Support. Coop. Work - CSCW '08*, pp. 383–392, 2008.
- [81] L. D. Setlock, S. R. Fussell, and C. Neuwirth, "Taking It Out of Context: Collaborating within and across Cultures in Face-to-Face Settings and via Instant Messaging," *Proc. 2004 ACM Conf. Comput. Support. Coop. Work - CSCW '04*, pp. 604–613, 2004.
- [82] V. Cheung, Y. B. Chang, and S. D. Scott, "Communication Channels and Awareness Cues in Collocated Collaborative Time - Critical Gaming," *Proc. ACM 2012 Conf. Comput. Support. Coop. Work - CSCW '12*, pp. 569–578, 2012.
- [83] 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*, pp. 661–670, 2012.
- [84] T. C. Peck, H. Fuchs, and M. C. Whitton, "Improved Redirection with Distractors: A large-scale-real-walking locomotion interface and its effect on navigation in virtual environments," *2010 IEEE Virtual Real. Conf.*, pp. 35–38, Mar. 2010.
- [85] M. Marchal, J. Pettre, and A. Lecuyer, "Joyman: A human-scale joystick for navigating in virtual worlds," *2011 IEEE Symp. 3D User Interfaces*, vol. 2011, pp. 19–26, Mar. 2011.
- [86] W. E. Marsh, M. Putnam, J. W. Kelly, V. J. Dark, and J. H. Oliver, "The Cognitive Implications of Semi-Natural Virtual Locomotion," *Virtual Real. Short Pap. Posters (VRW), 2012 IEEE*, pp. 47–50, 2012.
- [87] A. Bouwer, F. Nack, and V. Evers, "Towards support for collaborative navigation in complex indoor environments," *Proc. ACM 2011 Conf. Comput. Support. Coop. Work - CSCW '11*, pp. 601–604, 2011.

## MÉTRICAS PARA EVALUAR EL GRADO DE COLABORACIÓN EN UNA TAREA DE NAVEGACIÓN EN UN ENTORNO VIRTUAL 3D

- [88] C. A. Collazos, L. A. Guerrero, J. A. Pino, and S. F. Ochoa, "Collaborative Scenarios to Promote Positive Interdependence among Group Members," *Groupw. Des. Implementation, Use*, pp. 356–370, 2003.
- [89] V. A. M. Jorge, W. J. Sarmiento, A. Maciel, L. Nedel, C. A. Collazos, F. Faria, and J. Oliveira, "Interacting with danger in an immersive environment: issues on cognitive load and risk perception," in *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology - VRST '13*, 2013, p. 83.
- [90] W. J. Sarmiento, V. A. Jorge, A. Maciel, L. Nedel, C. A. Collazos, J. Oliveira, and F. Faria, "Awareness of Other: Evaluating the Impact of Proximity Cues in Collaborative Tasks," in *Virtual Reality Short Papers and Posters (VRW), 2013 IEEE*, 2013, pp. 63–64.
- [91] B. G. Witmer, "Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire," *Presence Teleoperators virtual Environ.*, vol. 7, pp. 225–240.
- [92] D. Bertram, "Likert Scales. Topic Report," *Fac. Math. – Univ. Belgrade – Serbia*, 2009.
- [93] "Unreal Development Kit." [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/products/udk/>.
- [94] M. J. Rubio Hurtado and V. Silvente Verlanga, "Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas t de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico.," vol. 5, pp. 83–100, 2012.
- [95] M. P. Carretero, D. Oyarzun, I. Aizpurua, and A. Ortiz, "Animación Facial y Corporal de Avatares 3D a partir de la Edición e Interpretación de Lenguajes de Marcas," *Congr. Español Informática Gráfica CEIG*, pp. 139–150, 2004.
- [96] G.-M. H, Alexander., R, Dario., R, "Taxonomía de Mecanismos de Awareness," *XVIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación.*, 2013.