

# AMBIENTES COLABORATIVOS EN INTERACCIÓN 3D, UNA PROPUESTA METODOLÓGICA PARA SU EVALUACIÓN



WILSON JAVIER SARMIENTO

Tesis de Doctor en Ciencias de la Electrónica

Director

César Alberto Collazos, PhD.

Luciana Nedel, PhD.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

*Universidad del Cauca*

Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Departamento de Sistemas

Línea de Investigación: Computación-Interacción Hombre Máquina

Popayán, Octubre de 2014



WILSON JAVIER SARMIENTO

AMBIENTES COLABORATIVOS EN INTERACCIÓN 3D, UNA  
PROPUESTA METODOLÓGICA PARA SU EVALUACIÓN

Tesis presentada a la  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
de la Universidad del Cauca  
para obtener el título de

Doctor en Ciencias de la Electrónica

Director  
César Alberto Collazos, PhD.

Luciana Nedel, PhD.  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Popayán, Octubre de 2014



*A Laura Sofia, mi princesa, mi compañera de juegos y lecturas.  
... y a ti, sí a ti, porque todavía eres una luz en mi vida.*



Noviembre 23 de 2015.



# Agradecimientos

Cuando inicie mi proceso de formación doctoral nunca imagine las dificultades que enfrentaría, sin embargo, contrario a lo que la razón establece, no fueron los problemas propios de la investigación los principales retos para finalizar este trabajo, fueron los problemas personales. Por eso hoy te doy gracias Señor, terminar mi doctorado no habrá sido posible sin mi fe en ti, sin la fortaleza que me dio la oración y la claridad que me dio tu palabra. Gracias, porque las dificultades personales me permitieron recordar que la vida nunca se pausa, y que siempre se debe hacer tiempo para lo importante, porque lo urgente no lo es tanto.

Sería injusto no expresar mi agradecimiento a todas las personas que de una forma u otra hicieron posible que lograra cumplir con esta meta en mi vida.

En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento a mi director, el profesor César Alberto Collazos, quien me dio la libertad de proponer, quien guió mi trabajo confiando en mi criterio y me hizo ver el valor de mis ideas. Gracias por su paciencia y apoyo. Durante la última etapa de mi doctorado estuve a punto de dejarme vencer por las adversidades, por eso, hoy más que nunca reconozco el valor de una llamada de atención, de un ultimátum, son esos sacudones los que nos recuerdan que no hay que dejarse vencer.

A mi directora, la profesora Luciana Nedel, de la UFRGS, cada uno de sus aportes, consejos y críticas, fueron relevantes en desarrollo de este trabajo. Gracias porque además, su apoyo e nivel personal y comprensión, se dejaron claro que un director no debe olvidar el lado humano se su pupilo.

Al profesor Anderson Maciel , de la UFRGS, usted fue un director más de mi trabajo, a su lado aprendí la importancia de la dirección trabajo lado a lado director – estudiante. Gracias.

A los profesores Manuel Ortega Cantero, de la Universidad de Castilla - La Mancha; Francisco Javier Álvarez, de la Universidad Autónoma de Aguascalientes; Jesús David Cardona, de la Universidad Autónoma de Occidente, y Enrique González Guerrero, de la Pontificia Universidad Javeriana. Sus comentarios permitieron enriquecer este documento, darle forma final y coherencia.

A los profesores José Tiberio y Pablo, gracias por abrirme las puertas de Imagine y COLVRI, trabajar con ustedes y su equipo de estudiantes fue una experiencia muy enriquecedora.

Al profesor Andrés Vivas, director del programa de Doctorado en Ciencia de la Electrónica, y por medio de su persona, a la Universidad del Cauca y la facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Gracias por permitirme realizar mi formación doctoral en este claustro universitario, por poner a mi disposición el engranaje académico-administrativo, cuando este fue necesario.

A mis compañeros de doctorado, Yenny, Miguel Ángel, Diego, Andrés, Luis, María Lili, Sandra y Ángela. Cada uno de ustedes fue un compañero de batalla, y es bueno saber que la fecha ninguno a caído en combate 😊.

Un abrazo fuerte a mis siempre amigos Omaira y Edwin, y demás colombianos en Porto Alegre, me hicieron vivir un pedacito de mi país en la distancia, junto a ustedes evidencié lo que dicen muchos: la alegría del pueblo colombiano rompe fronteras.

A mis compañeros del grupo de CG del Instituto de Informática de la UFRGS, aprendí a respetarlos como colegas y a apreciarlos como amigos. A Vitor, Víctor, Hernandi, Juliano, Guilherme, Lenna, Gerônimo, Marcio, Vinicius, y a muchos más. Un abrazo especial a Vitor e Víctor, quien se convirtieron en esos amigos que se atesoran, de ustedes aprendí mucho.

A mis compañeros del grupo Imagine, Ramiro, Leidy Alexandra, Juan Camilo, Alejandro, Diego, Diana, y a muchos más. Gracias por acogerme como a uno más de su equipo. Un agradecimiento especial a Ramiro, por permitirme desarmar y amar de nuevo su proyecto de maestría, gracia por la confianza y el trabajo disciplinado.

A mis padres, Lilia y Gustavo, a mis hermanos, Milena y Gustavo, a mi tía Tata, y demás familiares. Gracias porque sin entender qué hacia, o para qué, siempre han estado a mi lado, y eso hace más valioso su constante apoyo.

Es importante para mí expresar un agradecimiento enorme a mi hermanita Milena. Gracias chinita, fuiste un bastón emocional sin el cual no me habría podido levantar.

Un agradecimiento especial a mi hija, Laura Sofía, porque tu sacrificaste algo que no se puede recuperar, tiempo conmigo, porque yo sacrifique y perdí uno de los regalos más grande de la vida, tiempo contigo; porque hoy pretendo no perder un segundo que la vida me de a tu lado.

Por último, un eterno agradecimiento a Gloria, quien trasnocho conmigo a kilómetros de distancia, quien se leyó este documento por lo menos diez veces, porque este documento fue escrito en compás de 2/4, porque ella me demostró que hay relaciones más fuertes que amor, o amores más fuertes que las relaciones; porque hoy tengo la certeza que sin importar las vueltas de la vida, “. . . *que usted sabe, que puede contar conmigo.*”<sup>1</sup>.

Esta investigación fue posible gracias al apoyo de: el Programa de formación avanzada del Universidad Militar Nueva Granada, quien co-financió mis estudios de doctorado; de la vicerrectoría de investigación y el Instituto de Postgrado de la Facultad, proyecto 4128; quienes co-financiaron las pasantías y presentaciones en eventos; del short state program del LACCIR (Gran \*S1111LAC005\*), quien co-financió la pasantía realizada en el año 2012 en la UFRGS; y de la instituto de informática de la UFRGS, y AES Sul, Brasil, quienes co-financió las dos pasantías realizadas en dicha institución.

---

<sup>1</sup>Hagamos un trato, Mario Benedetti.



## Resumen estructurado

**Antecedentes:** el desarrollo de entornos y artefactos de interacción que promuevan la colaboración es actualmente uno de los principales intereses de investigación en el área de interacción humano computador, por el potencial que ofrecen en diferentes campos de aplicación como la medicina, la educación y el entretenimiento, entre otros. En particular los entornos virtuales colaborativos (CVE), son actualmente los que mayor complejidad presentan, dado que además de la colaboración, involucran aspectos de interacción e inmersión 3D.

**Objetivo:** el objetivo principal de esta tesis fue proponer una metodología que definiera los fundamentos conceptuales, métodos, procedimientos y lineamientos para la evaluación de sistemas colaborativos con interacción 3D; tomando la colaboración como elemento central de dicha evaluación.

**Métodos:** un enfoque metodológico basado en casos de estudios fue implementado para la identificación, definición y validación de los elementos que permitieron la construcción de la metodología de evaluación propuesta. Dos (2) casos de estudio no acotados, desarrollados en ambientes reales de investigación externos y sin restricciones que pudieran sesgar los resultados del proceso de observación, fueron desarrollados en la etapa de proposición. Éstos permitieron identificar los elementos que debían ser considerados para la elaboración de la metodología propuesta. Definida la primera versión de la metodología, un tercer caso de estudio fue desarrollado para validar la propuesta, el cual fue diseñado para incluir las tres (3) tareas básicas de interacción en entornos 3D: selección, manipulación y navegación; en dos condiciones diferentes de colaboración: libre y con restricciones. El proceso de observación y análisis de este caso de estudio permitió refinar los detalles de la propuesta, la cual fue validada mediante la implementación de un cuarto caso de estudio, desarrollado en un ambiente real y no controlado

con el fin de obtener resultados reales de la factibilidad de aplicación de la metodología en la evaluación de la colaboración en un entorno virtuales colaborativo.

**Resultados:** a partir de la observación y análisis de los dos primeros casos de estudio se definió una metodología para la evaluación de sistemas colaborativos 3D, denominada diagnóstico de la conformidad de los artefactos de consciencia compartida, en inglés *Conformity Diagnosis of Common Awareness Artefacts* (CD-CAA), que introduce y define las nociones de pirámide de consciencia y artefactos de consciencia, los cuales describen el proceso que permite realizar óptimamente una tarea colaborativa en un entorno virtual colaborativo. A partir de estas nociones se define un conjunto de indicadores para diagnosticar el nivel de colaboración de un equipo de trabajo en un entorno virtual colaborativo; un procedimiento, que define los pasos para realizar la experimentación con usuarios y; un conjunto de lineamientos que guían la correcta aplicación de este enfoque. La aplicación de la metodología en los casos de estudio evidenció que la definición de métricas para los indicadores propuestos, el seguimiento del procedimiento y los lineamientos propuestos, permiten evaluar significativamente el efecto de los artefactos de consciencia en la colaboración, cuando se ejecutan tareas que requieren el trabajo en equipo.

**Conclusiones:** el desarrollo de esta investigación mostró que es posible evaluar integralmente las diferentes características de la colaboración que deben ser consideradas en el diseño y desarrollo de artefactos de interacción e inmersión para un ambiente virtual colaborativo, en inglés *Collaborative Virtual Enviroment* (CVE) y se constituye en una herramienta de apoyo para investigadores y desarrolladores de este tipo de artefactos.

**Palabras clave:** colaboración, evaluación, entorno virtual colaborativo, consciencia, artefactos de colaboración, interacción e inmersión en 3D.

## Structured abstract

**Background:** development of virtual environments and interaction artifacts to promote collaboration is currently one of the main research interests in the human computer interaction area, because they offer a great potential of application in different fields such as medicine, education, entertainment, among others. Particularly, collaborative virtual environments (CVEs) present the major research requirements, due that they involve interaction and 3D immersion additional to collaboration aspects.

**Aims:** this thesis aims to propose a methodology that involves definition of concepts, methods, procedures and guidelines for evaluating collaborative systems with 3D interaction; taking into account that collaboration must be the central evaluation aspect.

**Methods:** in order to identify, define and validate the main elements that should be considered for evaluating collaboration in a CVE, a case study approach was herein implemented. Two main stages were developed, a proposition stage involving two (2) cases of study, and a validation stage with other two (2) different cases of study. The first two cases (propositional) were developed in real external and uncontrolled research environments, avoiding anything that might bias in the observation process. These cases allowed to identify the main elements that should be considered to develop the methodology. Once a first version of it was generated, the third case of study was developed for validating findings. This case was designed for including the three (3) basic interaction tasks in a 3D environment: selection, manipulation and navigation; and two collaboration conditions: with and without restrictions. The comprehensive analysis of this case was used for refining the methodology, which implementation feasibility was validated by implementing a fourth case study, developed newly in a real and not controlled research environment.

**Results:** from the observation and analysis of the first two case studies, a methodology for evaluating 3D collaborative systems called *ac* CDCAA was proposed, which introduces and defines the notions of pyramid of consciousness and artifacts of consciousness for describing the process that allows optimally to perform a collaborative task in a virtual environment. A set of indicators were also defined to diagnose the collaboration level of a team in a CVE, which are correlated with the pyramid of consciousness concept. The CD-CAA methodology includes also a procedure that defines the steps to perform the test with users and; a set of guidelines that guide the correct application of this approach. The application of the methodology in the case studies showed that the definition of metrics for the proposed indicators and the following of proposed procedure and guidelines, allow to evaluate the effect of the artifacts in collaboration consciousness when collaborative tasks are developed by a team.

**Conclusions:** development of this research showed that it is possible to fully evaluate the different collaboration characteristics that should be considered in the design and development of interaction and immersion artifacts for a *ac* CVE. This constitutes a support tool for researchers and developers of such devices.

**Keywords::** collaboration, evaluation, collaborative virtual environment, awareness, shared artefacts or common artefacts, 3D interaction and immersion.

# Contenido

Lista de figuras	vi
Lista de tablas	vii
Listado de siglas	xi
Glosario	xvii
<b>1 Introducción</b>	<b>19</b>
1.1 Problema de investigación . . . . .	23
1.2 Aportes y estructura del documento . . . . .	25
1.2.1 Estructura del documento . . . . .	26
1.2.2 Recomendaciones para la lectura de este documento . . . . .	29
1.2.3 Listado de publicaciones . . . . .	30
<b>2 Antecedentes y fundamentos teóricos</b>	<b>33</b>
2.1 Sistemas colaborativos en entornos 3D . . . . .	33
2.2 Elementos funcionales de los CVE . . . . .	37
2.2.1 Interacción . . . . .	37
2.2.2 Inmersión . . . . .	40
2.2.3 Colaboración . . . . .	42
2.3 Consciencia (awareness) en un CVE . . . . .	44

2.4	Evaluación de CVE . . . . .	50
<b>3</b>	<b>Enfoque CD-CAA para la evaluación de CVE, un cambio de perspectiva</b>	<b>57</b>
3.1	Modelo Conceptual . . . . .	58
3.1.1	Pirámide de consciencia del espacio de trabajo . . . . .	59
3.2	Diagnóstico de la colaboración en un CVE . . . . .	61
3.2.1	Propiedades de un artefacto de consciencia compartida . . . . .	61
3.2.2	Indicadores de colaboración de un CAA . . . . .	63
3.2.3	Relación entre los indicadores de colaboración y los niveles de consciencia de la WAP . . . . .	65
3.3	Procedimiento . . . . .	66
3.4	Lineamientos . . . . .	69
3.4.1	Seguir un bitácora de evaluación . . . . .	69
3.4.2	Documentar el protocolo experimental . . . . .	69
3.4.3	Definir un procedimiento para la estandarización de la instrucción a los usuarios . . . . .	70
<b>4</b>	<b>El estudio de caso como método de investigación</b>	<b>73</b>
4.1	Sobre el estudio de caso . . . . .	74
4.2	Proceso metodológico . . . . .	77
4.2.1	Caso P, Consciencia de proximidad en caminata colaborativa . . . . .	81
4.2.2	Caso D, Composición colaborativa en pantallas de gran formato . . . . .	82
4.2.3	Caso M, Validación experimental de indicadores . . . . .	83
4.2.4	Caso L, Lenguaje táctil para soportar actividades colaborativas . . . . .	84
<b>5</b>	<b>Caso de estudio: Consciencia de proximidad en caminata colaborativa</b>	<b>85</b>
5.1	Especificación . . . . .	86
5.2	Aplicación . . . . .	87
5.2.1	Problema de I+I . . . . .	87

5.2.2	Artefactos de I+I . . . . .	88
5.2.3	Diseño experimental . . . . .	92
5.2.4	Resultados . . . . .	110
5.3	Análisis . . . . .	114
5.4	Conclusiones . . . . .	117
<b>6</b>	<b>Caso de estudio: Composición colaborativa en pantallas de gran formato</b>	<b>121</b>
6.1	Especificación . . . . .	122
6.2	Aplicación . . . . .	123
6.2.1	Problema de I+I . . . . .	123
6.2.2	Artefacto de I+I . . . . .	125
6.2.3	Diseño experimental . . . . .	128
6.2.4	Resultados . . . . .	137
6.3	Análisis . . . . .	140
6.4	Conclusiones . . . . .	140
<b>7</b>	<b>Caso de estudio: Validación experimental de indicadores</b>	<b>145</b>
7.1	Especificación . . . . .	146
7.2	Aplicación . . . . .	146
7.2.1	Problema de I+I . . . . .	146
7.2.2	Artefactos de I+I . . . . .	149
7.2.3	Diseño experimental . . . . .	151
7.2.4	Resultados . . . . .	160
7.3	Análisis . . . . .	163
7.4	Conclusiones . . . . .	165
<b>8</b>	<b>Caso de estudio: Lenguaje táctil para soportar actividades colaborativas</b>	<b>167</b>
8.1	Especificación . . . . .	168
8.2	Aplicación . . . . .	168

8.2.1	Problema de I+I . . . . .	168
8.2.2	Artefactos de I+I . . . . .	170
8.2.3	Diseño experimental . . . . .	171
8.2.4	Resultados . . . . .	181
8.3	Análisis . . . . .	182
8.4	Conclusiones . . . . .	184
<b>9</b>	<b>Conclusiones y perspectivas</b>	<b>187</b>
9.1	Aportes y conclusiones . . . . .	187
9.2	Perspectivas de trabajo . . . . .	190
	<b>Anexos</b>	<b>217</b>
	CSCW systems in virtual environments: a general development framework . . . . .	219
	Walk in Place Using a Balance Board Matrix . . . . .	220
	Laboratory Experiments in CSCL Activities . . . . .	221
	Awareness of Other: Evaluating the Impact of Proximity Cues in Collaborative Tasks	222
	Interacting with Danger in an Immersive Environment: Issues on Cognitive Load and Risk Perceptionm . . . . .	223
	Measuring the Collaboration Degree in Immersive 3D Collaborative Virtual Environ- ments . . . . .	224
	Does Vibrotactile Intercommunication Increase Collaboration? . . . . .	225
	Common-Awareness Artifacts, Conceptual Elements to Designing and Evaluating Co- llaboration in CVE . . . . .	226

# Lista de figuras

2.1	Conceptos generales del trabajo colaborativo . . . . .	42
2.2	Ejemplo del modelo de interacción espacial (SMI) . . . . .	46
2.3	Modelo de consciencia de espacio de trabajo (WA) . . . . .	47
3.1	Pirámide de consciencia en un CVE . . . . .	60
3.2	Indicadores colaboración de un CAA y los niveles de la WAP . . . . .	67
4.1	Esquema del proceso metodológico empleado . . . . .	77
5.1	Zonas de interacción personal . . . . .	89
5.2	Artefacto de táctil de PA . . . . .	90
5.3	Artefacto visual de PA . . . . .	91
5.4	Caminata colaborativa . . . . .	93
5.5	Rutas diseñadas para la caminata colaborativa . . . . .	94
5.6	Posición de los usuarios al caminar juntos . . . . .	97
5.7	Reacción esperada de los usuarios en una caminata colaborativa . . . . .	98
5.8	Evento de cambio de rol en la caminata colaborativa . . . . .	99
5.9	Hardware y equipo de experimentación usado en el Caso <b>P</b> . . . . .	104
5.10	Video de capacitación para usuarios usado en el Caso <b>P</b> . . . . .	106
5.11	Bitácora usada en el Caso <b>P</b> . . . . .	107
5.12	Aplicación para la ejecución del CVE desarrollado para el Caso <b>P</b> . . . . .	108
5.13	Gráfica de los resultados del cálculo de métricas para el Caso <b>P</b> . . . . .	114

5.14	Gráfica de los resultados del cuestionario de usabilidad del Caso <b>P</b> . . . . .	116
5.15	Resultados de las pruebas del Caso <b>P</b> . . . . .	117
6.1	Elementos tradicionales de interacción con una pantalla de gran formato . . . . .	124
6.2	Sistema interacción usado en el Caso <b>D</b> . . . . .	126
6.3	Elementos visuales de consciencia usados en el Caso <b>D</b> . . . . .	128
6.4	Escenarios de evaluación del Caso <b>D</b> . . . . .	131
6.5	Gráfica de los resultados del cálculo de métricas para el Caso <b>D</b> . . . . .	137
7.1	Escenario de evaluación para la actividad de navegación del Caso <b>M</b> . . . . .	148
7.2	Escenario de evaluación para la actividad de selección de Caso <b>M</b> . . . . .	148
7.3	Escenario de evaluación para la actividad de manipulación de Caso <b>M</b> . . . . .	149
7.4	Gráfica de los resultados del cálculo de métricas para el Caso <b>M</b> . . . . .	163
8.1	Vocabulario vibro-táctil usado en el Caso <b>L</b> . . . . .	171
8.2	Dispositivo de comunicación vibro-táctil diseñado en el Caso <b>L</b> . . . . .	172
8.3	Concepto de la actividad colaborativa diseñada en el Caso <b>L</b> . . . . .	173
8.4	Entorno de virtual usado en el Caso <b>L</b> . . . . .	180
8.5	Gráfica de los resultados del cálculo de métricas para el Caso <b>L</b> . . . . .	183

# Lista de tablas

3.1	Indicadores de colaboración de un CAA . . . . .	65
4.1	Resumen del aporte de los caso de estudio. . . . .	80
5.1	Conjunto de métricas calculadas en el Caso <b>P</b> . . . . .	100
5.2	Cuestionario de evaluación de usabilidad aplicado en el Caso <b>P</b> . . . . .	101
5.3	Cuestionario de percepción de inmersión aplicado en el Caso <b>P</b> . . . . .	102
5.4	Resultados de las métricas del Caso <b>P</b> . . . . .	111
5.5	Resultados del cuestionario de usabilidad en el Caso <b>P</b> . . . . .	112
5.6	Resultados del cuestionario de percepción de inmersión en el Caso <b>P</b> . . . . .	113
6.1	Cuestionario de comparación interacción mano libre/interacción teléfono inteligente, aplicado en el Caso <b>D</b> . . . . .	134
6.2	Cuestionario para evaluar la usabilidad en la interacción con la pantalla de gran formato, aplicado en el Caso <b>D</b> . . . . .	135
6.3	Guión para la instrucción de los usuarios usado en el Caso <b>D</b> . . . . .	139
7.1	Cuestionario de percepción subjetiva aplicado en el Caso <b>M</b> . . . . .	159
7.2	Resultados del cálculo de métricas en la actividad de navegación realizada en el Caso <b>M</b> . . . . .	161
7.3	Resultados del cuestionario de percepción subjetiva usada en el Caso <b>P</b> . . . . .	162
8.1	Resultados del cálculo de indicadores del Caso <b>L</b> . . . . .	182



# Listado de siglas

**3D** Tridimensional.

Pag. 19–23, 29–31, 36, 53, 55, 56, 62, 65, 74–76, 78, 79, 83–85, 87, 103, 105, 116, 117, 119, 121, 123, 143, 146, 147, 150, 151, 167, 169, 192, 193

**AR** Realidad aumentada, en inglés *Augmented Reality*.

Pag. 124

**C3V** Visualización 3D colaborativa, en inglés *Collaborative 3D Visualization*.

Pag. 31, 78, 121, 123

**CAA** Artefactos de consciencia común o artefactos de consciencia compartida, en inglés *shared-awareness artefacts(SAA)* o *common-awareness artefacts*.

Pag. ii, v, vii, 24, 54–64, 152, 154, 178, 180, 190, 191, 193

**CAD/CAM** Diseño asistido por computador (en inglés *Computer Aided Design*) y manufactura asistida por computador (en inglés *Computer Aided Manufacturing*).

Pag. 31

**CAVE** Caverna de inmersión, en inglés *Cave Automatic Virtual Environment*.

Pag. 37, 122, 123

**CD-CAA** Diagnóstico de la conformidad de los artefactos de consciencia compartida, en inglés *Conformity Diagnosis of Common Awareness Artefacts*.

Pag. 10, 12, 23–27, 53, 57, 59, 62, 70, 72–74, 76, 78–80, 84, 120, 143, 145–147, 151, 152, 162, 164, 166, 167, 169, 170, 176, 177, 184, 186, 190–193

**CHE** Entorno háptico colaborativo, en inglés *Collaborative Haptic Environment*.

Pag. 30, 31

**CI** índice de colaboración, en inglés *Collaboration Index*.

Pag. 108, 114, 115

**CSCCL** Aprendizaje colaborativo asistido por computador, en inglés *Computer Supported Collaborative Learning*.

Pag. 40, 93

**CSCCW** Trabajo cooperativo asistido por computador, en inglés *Computer Supported Cooperative Work*.

Pag. 19, 21, 22, 24, 27, 29, 30, 38, 40, 42, 43, 45, 46, 77, 93, 190

**CVE** Ambiente virtual colaborativo, en inglés *Collaborative Virtual Environment*.

Pag. vi, 10, 22–25, 27, 29–31, 33, 40–42, 46, 47, 50, 51, 53–56, 60, 74–78, 85, 86, 90, 92, 100, 101, 106, 117, 152, 159, 171, 177, 181, 189, 190, 192, 193

**DoF** Grados de libertad, en inglés *Degrees of Freedom*.

Pag. 34, 78, 101

**HCI** Interacción humano-computador, en inglés *Human Computer Interaction*.

Pag. 18, 19, 25, 69, 71, 140

**HD** Alta definición, en inglés *High Definition*.

Pag. 101, 181

**HMD** Casco de realidad virtual, en inglés *Head Mounted Display*.

Pag. 36, 102, 104, 143, 181, 182

**HUD** Elemento visual sobrepuesto, en inglés *Heads Up Display*.

Pag. 89

**I+I** Interacción e inmersión.

Pag. 55, 72–80, 121, 150, 166, 167

**MMOG** Video juegos masivos multijugador, en inglés *Massively Multiplayer Online Game*.

Pag. 32

**MMOW** Sistemas masivos multiusuario, en inglés *Massive Multiplayer Online World*.

Pag. 32, 33

**MUVE** Entornos virtuales multiusuario, en inglés *Multi-User Virtual Environments*.

Pag. 29, 30, 32

**PA** Consciencia de proximidad, en inglés *Proximity Awareness*.

Pag. v, 25, 77, 83, 86–92, 97, 98, 105–115, 117

**SA** Consciencia de la situación, en inglés *Situation Awareness*.

Pag. 43

**SMI** Modelo de interacción espacial, en inglés *Spatial Model of Interaction*.

Pag. v, 41, 42

**VE** Entorno virtual, en inglés *Virtual Enviroment*.

Pag. 24, 30, 38, 41, 46, 47, 49, 50, 53, 57, 75, 86, 92, 94, 104, 124, 151, 169, 170,  
174, 176, 182, 192

**VR** Realidad virtual, en inglés *Virtual Reality*.

Pag. 30, 32, 36, 38, 41, 42, 83–85, 101–103, 116, 119, 123, 161, 176, 190

**WA** Consciencia de espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness*.

Pag. v, 43–45, 55–59, 63, 75, 191, 192

**WAP** Pirámide de consciencia del espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness Pyramid*.

Pag. v, 24, 54, 57, 58, 63, 75, 80, 81, 152, 156, 165, 180, 190–192



# Glosario

## **Artefacto de colaboración**

Elemento de interacción que facilita la ejecución de procesos colaborativos en un sistema. Está compuesto por una metáfora de interacción (modelo cognitivo), los dispositivos físicos (hardware) y los procesos lógicos que permiten su desarrollo (software).

Pag. 40, 41, 45, 46, 55, 57, 74, 93, 99, 109, 114, 117, 193

## **Artefacto de inmersión**

Elemento que permite que el usuario experimente la sensación de inmersión en un entorno virtual 3D. Está compuesto por una técnica de inmersión (modelo conceptual y matemático), los dispositivos físicos de interacción (hardware) que permiten crear la sensación de inmersión y los procesos lógicos (software) que permiten su desarrollo.

Pag. 37, 41, 84, 86

## **Artefacto de interacción**

Elemento que permite la ejecución de funciones de interacción con un entorno 3D, tales como selección, manipulación, navegación y control del sistema. Está compuesto por una técnica de interacción (modelo conceptual y matemático), los dispositivos físicos (hardware) requeridos para la interacción y los procesos lógicos que permiten su desarrollo (software).

Pag. 36, 41, 57, 74, 120

## **Artefacto de interacción e inmersión**

Elemento que permite la ejecución de funciones de interacción a la vez que se experimenta una sensación de inmersión en un ambiente virtual. Está compuesto por una técnica de interacción e inmersión (modelo conceptual y matemático), los dispositivos físicos de

interacción y de inmersión (hardware) y los procesos lógicos que permiten su desarrollo (software).

Pag. 22, 53–55, 59, 60, 72, 74, 76, 78, 80, 83, 84, 120–123, 126–128, 132, 140, 145, 146, 150–152, 154, 166, 169, 170, 172, 178, 180, 186, 187, 192

### **Banco de pruebas**

Diseño de experimentación basado en la repetición rigurosa de ensayos. En interacción se refiere a la repetición de una prueba bajo diferentes condiciones por un grupo de usuarios o sujetos experimentales.

Pag. 116, 140, 141

### **Caso de estudio**

Cada una de las condiciones, entidades o situaciones que son objeto de análisis o de estudio. En el contexto de esta investigación, un caso de estudio hace referencia al proceso de proponer o definir un artefacto de interacción e inmersión para una tarea específica a ser realizada en grupo, y evaluar cómo dicho artefacto afecta la colaboración del equipo de trabajo cuando realiza la tarea diseñada.

Pag. 60, 70–80, 119–121, 123, 126, 130, 143, 145–147, 151, 152, 166, 167, 169, 170, 177, 178

### **Co-presencia**

Sensación de que otra persona se encuentra en el mismo lugar físico donde estamos. En CSCW se entiende como la sensación de que otro usuario comparte el entorno de trabajo simultáneamente. En un CVE se asocia a la sensación de que otro usuario está en el mismo entorno virtual y es posible interactuar con él.

Pag. 25, 38, 50, 51, 85, 86, 100, 101, 159

### **Condición base**

Condición (línea) de referencia usada en un proceso experimental. Se suele usar una condición inicial, una condición ampliamente aceptada en el estado del arte ó una condición claramente validada. Su correcta elección es de relevante importancia, ya que sirve como referente de comparación con experimentos, tanto previos como posteriores, en una misma temática de trabajo.

Pag. 77, 90–92, 99, 105, 108–113, 115

## **Consciencia**

Conocimiento, sensación o experiencia que se tiene de una persona, objeto o situación, que permite discernir qué existe o sucede.

Pag. vi, 36, 38, 40–46, 55–58, 61–63, 75, 77, 86, 91, 93, 94, 120, 125, 126, 131, 154, 179, 192, 193

## **Diario de campo**

Herramienta empleada en varias áreas de investigación para llevar un registro de las observaciones cuando se realiza trabajo de campo.

Pag. 85, 121, 146, 170

## **Estudio de casos**

Método de investigación que combina distintas técnicas de recolección de información, la cual puede ser de carácter cualitativo o cuantitativo. Tiene como fin el estudio de una o varias condiciones particulares (casos), en contextos singulares, con el fin de describir, verificar o generar teoría.

Pag. 23, 25, 27, 69–72, 190

## **Mosaico de pantallas**

Dispositivo que emula una pantalla de gran formato al disponer en forma de matriz un conjunto de pantallas para configurar una de mayor tamaño.

Pag. 123, 128

## **Observación participante**

Técnica de recolección de datos usada en investigación cuantitativa, donde el investigador (observador) interacciona con los sujetos y su entorno. Es claramente un proceso de observación subjetivo, que permite al investigador hacer un proceso de inmersión en el contexto, para conocer el fenómeno desde su interior.

Pag. 85, 121, 146, 170

## **Pantalla de gran formato**

dispositivo usado en varias aplicaciones, donde se requiere un medio de visualización de gran tamaño y alta resolución. En este documento se considera una pantalla de gran

formato aquella que tiene la capacidad de desplegar imágenes con una resolución superior a 1920 1080 píxeles, en un área no inferior a 2 m de ancho

Pag. vi, vii, 119, 121–125, 127, 128, 133, 138, 140

### **Pantalla pública**

Dispositivos de visualización generalmente diseñados para interacciones de corta duración y con un único usuario a través de sistemas táctiles

Pag. 122

### **Presencia**

Sensación de “ser” o de “estar” en algún lugar. En realidad virtual (RV) se entiende como la sensación de estar en el mundo virtual y sentirse parte de él.

Pag. 38, 42, 47, 50, 100, 101, 159

### **Presencia de un lugar**

Sensación de encontrarse en un lugar diferente al real.

Pag. 38

### **Presencia social**

Se refiere a la calidad de la interacción con otra persona cuando ésta se realiza a través de un medio de comunicación (chat, teléfono, videoconferencia, realidad virtual), tomando como referencia ideal la interacción real cara a cara. Se debe entender que un mayor grado de presencia social genera una mayor sensación que la otra persona se encuentra en el mismo lugar.

Pag. 38, 51

### **Sobrecarga cognitiva**

Carga adicional de trabajo impuesta por una tarea al sistema cognitivo humano cuando ésta no es desarrollada de forma intuitiva o como se está acostumbrado a desarrollarla. Por ejemplo, existe una sobre carga cognitiva cuando se conduce un vehículo en reversa.

Pag. 62, 79, 154

### **Usabilidad**

Se refiere a la calidad de uso de un sistema o producto, es decir, que preste correctamente su funcionalidad (eficacia y eficiencia) y permita ser operado de forma adecuada (que sea

atractivo y presente facilidad de comprensión, aprendizaje y uso), para generar satisfacción en el usuario.

Pag. vii, 97, 99, 101, 106, 110, 159



# Capítulo 1

## Introducción

Los recientes desarrollos tecnológicos están generando un conjunto de cambios, muchos de ellos pronosticados años atrás, los cuales están modificando la imagen mental de “computador(a)” arraigada durante décadas. Sin entrar en formalismos sobre su definición, cualquier conocedor estaría de acuerdo en que un computador es una máquina con capacidad de cómputo, que posee diferentes canales de interacción con otras máquinas y con potenciales usuarios. Esta definición se ajusta sin duda alguna a muchos dispositivos electrónicos actuales, desde pequeños componentes ubicados en prendas de vestir, hasta complejos equipos de control de grandes máquinas; pasando por los muy conocidos dispositivos móviles, como los teléfonos y electrodomésticos inteligentes (*smartphones, smart TV's, etc.*). Algunos de estos dispositivos cuentan con características técnicas que superan a las de computadores(as) de escritorio considerados robustos hace apenas un par de décadas y, además, poseen un conjunto más amplio de alternativas de interconexión e interacción que los ofrecidos por dichos computadores(as). Ésta nueva perspectiva de la computación permite visualizar una red global de cómputo, datos y servicios altamente distribuida, que señala algunos de los retos más relevantes de la computación actual y que se orientan en cómo conectar, administrar y operar esta red de información. Enfoques como el internet de las cosas (*internet of things*) [Kop11], la computación ubicua (*ubiquitous computing*) [Ndi+03; FR11], la computación en la nube (*cloud computing*) [Arm+10], las ciudades inteligentes (*smart cities*) [Cho+12], la recuperación basada en contenido (*content-based retrieval*) [Sme+00], el análisis visual de información (*visual analytics*) [TC06], los resúmenes automáticos de videos (*video summarization*) [ABL06], y otras más, cuyos elementos conceptuales se han agrupado en una visión general que actualmente

se conoce como “datos masivos” o en inglés *big data* [Lyn08]; son estrategias planteadas para abordar dichos desafíos.

Desde el punto de vista del usuario común, lo que él está observando es un conjunto de dispositivos que además del “uso tradicional” ofrece un número importante de funcionalidades adicionales. Así, por ejemplo, lo que un usuario percibe es que con el televisor, ahora puede acceder a su correo, ver vídeos compartidos en la red y hacer videoconferencias; que una tableta electrónica también es un celular (o un celular ahora es una tableta) y que desde ella puede leer libros, corregir documentos, acceder a repositorios de datos, etc.; también ahora puede imprimir o compartir las fotos en las redes sociales desde la misma cámara fotográfica, entre muchos otros ejemplos. Es decir, todas las actividades que anteriormente solo podía realizar desde un “computador(a)”, ahora las puede desarrollar desde un conjunto cada vez más amplio de dispositivos. De ésta forma, los usuarios se están haciendo conscientes de las capacidades de cómputo, interacción e interconexión de todos estos nuevos dispositivos, de los contenidos disponibles y de la forma como acceden a ellos (funcionalidad).

En consecuencia, las posibilidades de interacción que tiene un usuario son muy variadas, por ejemplo, las pantallas táctiles están disponibles casi que en cualquier dispositivo, las pantallas de visualización estéreo ya están presentes en el hogar, gracias al mercado de los televisores 3D; los dispositivos vestibles llegaron en forma contundente, desde audífonos *bluetooth*, hasta las *google glass*, pasando por los relojes inteligentes (*smartwatch*); la interacción gestual se ha vuelto una realidad, con tecnológicas como el *Nintendo Wii* y el *Microsoft Kinect*. Así, los usuarios tienen una mayor expectativa de interacción, y demandan nuevos y mejores modelos para acceder y producir contenido.

Lo anterior plantea importantes desafíos en la interacción humano-computador, en inglés *Human Computer Interaction* (HCI), que implican diseñar y evaluar mecanismos adecuados para que el usuario interactúe con un contenido digital distribuido, altamente diverso y disponible desde numerosos medios y dispositivos. Por esta razón, los retos que se afrontan en diferentes campos como las interfaces ubicuas (*ubiquitous interfaces*) [Ndi+03; Bas+14], la interacción natural (*natural interaction*) [Wal+14a; Wal+14b; KJ14], las interfaces multiculturales (multi-cultural interface) [KTT06; BP15], interfaces accesibles e incluyentes (*accessible interface, inclusive interface*) [BBS14; Miñ+14], la interacción multimodal (*multimodal interaction*) [JS07; LBP14; MO+15] y las interfaces de usuarios distribuidas (*distributed interfaces*) [VTG13;

---

Elm11]; han cobrado relevancia en la búsqueda de lo que podemos llamar una red global de cómputo, datos y servicios centrada en el usuario.

Aunque es innegable la importancia de las áreas de estudio del HCI anteriormente listadas, se debe resaltar que probablemente el trabajo cooperativo asistido por computador, en inglés *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* sea una de las que presenta un papel relevante en el modelo de computación que se está desarrollando [Cou+14; BSJ14]. Dada la naturaleza social del ser humano y las ventajas e inconvenientes del trabajo en grupo [CT88; Rod91; Gru94; Ter95; OO97; Ray02; Pen+07; BK13; Cou+14], cada vez son mayores los retos con respecto a las posibilidades de interacción e interconexión a través de los desarrollos tecnológicos. Evidencia de esta realidad ha sido el auge de las redes sociales (*facebook, twitter, linkedin, instagram, . . .*) y las alternativas para compartir información (*Dropbox, Google Drive, Megaupload, eDonkey, BitTorrent, Napster, . . .*), las cuales han modificado tanto esquemas de mercados [Kwo+15] como la forma en que los seres humanos se relacionan [OFR15]. De esta forma, las expectativas que el trabajo colaborativo genera es la posibilidad de que profesionales de cualquier disciplina (médicos, administradores, ingenieros, profesores, etc.) puedan trabajar en equipo y realizar un diagnóstico, un diseño o tomar decisiones con respecto a una compañía, sin importar el lugar donde se encuentren, ni el momento, ni el medio o dispositivo computacional usado para realizar su actividad. Sin embargo, colaborar va más allá de compartir archivos, socializar, editar un documento o hacer una video conferencia, implica trabajar en forma coordinada, mantener canales adecuados de comunicación, compartir la información de forma oportuna, negociar y conciliar los métodos y estrategias. En otras palabras, que cada miembro del equipo realice parte de la actividad y que la actividad, como un todo, sea realizada de forma mancomunada por todos los miembros del equipo [CT88; Rod91; Ter95; Ray02; Sta06].

Por otro lado, se hace necesario aclarar que los grandes problemas que se enfrentan para permitir tales niveles de colaboración no se encuentran únicamente en el volumen y distribución de los datos, sino en la naturaleza heterogénea del contenido, la cual impide aplicar una solución general que funcione en todos los escenarios. No es igual administrar, acceder o interactuar con un documento de texto que con un video. Así, texto, imagen, sonido, contenido tridimensional (3D), video, entre otros, cada uno tiene sus especificidades que deben ser consideradas. Particularmente el contenido 3D es uno de los más demandados y a la vez uno de los más demandantes en términos de posibilidades de interacción. Más aún, el hecho de ofrecer escenarios de estimulación sensorial, como por ejemplo la visión estéreo, permite que tales posibilidades

se extiendan para ofrecer sensación de inmersión, con lo cual se puede hablar de posibilidades de interacción/inmersión. Las razones de su demanda son diferentes, una de ellas es que el contenido 3D está presente en la producción de otros contenidos, incluso sin que lo percibamos directamente. Por ejemplo, la industria cinematográfica usa producción 3D en un gran número de películas, incluso sin que éstas sean en animación 3D o tengan visualización 3D. Películas como *Gladiator*, *El señor de los anillos*, *Harry Potter*, han sido posibles gracias a la producción de contenido 3D. Otra razón, muy importante, es la demanda directa, tal como sucede en la industria de los videojuegos, donde el contenido 3D tiene una presencia absoluta. Un hecho a resaltar es que la industria de los videojuegos es una de las más grandes del mundo, se afirma incluso que recauda ganancias superiores al mercado de la música y similares al del cine [MHT13]. Otra razón de la alta demanda de contenido 3D está relacionada precisamente con las nuevas expectativas de los usuarios, quienes esperan su presencia en presentaciones corporativas, material educativo, publicidad interactiva, etc.

Como ya se afirmó, el contenido 3D también es uno de los más demandantes a nivel de interacción, es así que los dispositivos enumerados anteriormente (pantallas táctiles, . . . , interacción gestual), y muchos más, son usados en la manipulación de contenido 3D, incluso algunos son exclusivos de éste tipo de contenido [Bow+08; JH13; AA13]. También, el contenido 3D requiere de procesos de interacción complejos que implican una mayor sobrecarga cognitiva, en inglés *cognitive overload* para el usuario, dados los grados de libertad que se pueden ofrecer. Es por esta razón que la interacción en 3D se sigue considerando un problema abierto de investigación [JH15], que se acentúa con los desafíos en una red de computo, datos y servicios altamente distribuida.

En este punto es necesario reconocer que es la tecnología 3D la que promete proveer las mejores herramientas para generar un mayor sentido de inmersión al usuario y propiciar ambientes adecuados, para que el equipo que colabora se integre eficientemente. Así, la idea de un entorno virtual en el que diferentes miembros de un equipo se reúnan, no sólo para interactuar, sino para cumplir una tarea específica es no sólo imaginable sino deseable, pues la demanda de los usuarios en este sentido será cada vez mayor. Desafortunadamente, la oferta de herramientas correctamente diseñadas para ambientes de colaboración, que brinden a los usuarios las alternativas y ventajas de los diferentes esquemas de interacción en 3D es limitada. En este escenario se hace necesario preguntarse si ¿las metodologías actuales de desarrollo de software son adecuadas para la construcción de entornos virtuales de colaboración?.

Esta pregunta se abordó en la fase de propuesta de ésta tesis doctoral, y se observó que existen algunos modelos para el desarrollo de sistemas colaborativos que pueden ser usados, pero que éstos no tienen en cuenta las complejidades del contenido 3D y sus modelos de interacción, los cuales intervienen en las posibilidades de colaboración de los usuarios. Estos hallazgos permitieron proponer un marco general para el desarrollo de sistemas colaborativos en entornos 3D, a partir de un modelo cíclico de desarrollo de software [SC12]. Un aspecto a resaltar del modelo propuesto, es que el ciclo de desarrollo inicia y finaliza en la observación del usuario, donde se resalta la necesidad de monitorizar y evaluar la colaboración como objetivo central de estos sistemas [SC12].

Por lo general cuando se desarrolla una aplicación 3D surge la pregunta sobre ¿qué técnica de interacción 3D es la adecuada para la interfaz del usuario?, pero el proceso colaborativo agrega además la cuestión de ¿sí la técnica de interacción en 3D favorece o perjudica la colaboración?. Es así como se evidenció la falta de pautas para evaluar cómo los modelos y técnicas de interacción y visualización influyen en los procesos de colaboración en un ambiente virtual colaborativo, lo cual motivó la búsqueda de elementos que permitan evaluar la colaboración en entornos 3D y puedan ser usados para guiar el desarrollo de sistemas 3D colaborativos o nuevos modelos de interacción 3D colaborativa.

## 1.1. Problema de investigación

Como se evidenció en la sección anterior, existe una necesidad creciente de aplicaciones que permitan el trabajo colaborativo con elementos de interacción 3D. El desarrollo de dichas aplicaciones requiere métodos y guías que permitan que los procesos sean verificables, evaluables, medibles y repetibles, para que hagan parte de los esquemas de producción de software actuales y motivar su rápida inclusión a una industria ya desarrollada.

De este forma es posible plantear diferentes interrogantes para ser abordados en este trabajo de investigación. ¿en qué grado una técnica de visualización y/o de interacción 3D facilita o no una tarea colaborativa?, ¿en qué forma las metodologías y métodos de evaluación de sistemas CSCW pueden usarse en un sistema colaborativos en ambientes 3D?, ¿cómo pueden cuantificarse y medirse los procesos de colaboración en ambientes 3D? y ¿cuáles son los lineamientos metodológicos para un proceso de evaluación colaborativo en un entorno 3D?.

Para dar respuesta a estas preguntas se propuso como principal objetivo de esta tesis el *proponer una metodología para la evaluación de sistemas colaborativos con interacción 3D*, con los siguientes objetivos específicos:

- Definir los elementos comunes de los sistemas interactivos 3D que afectan de manera determinante el trabajo colaborativo.
- Establecer un conjunto de indicadores aplicables a la evaluación del grado de colaboración en un sistema de interacción 3D.
- Proponer un esquema para el proceso de observación y recolección de datos mediante un conjunto de instrumentos de medición.
- Evaluar la relevancia y efectos de distintos artefactos para interacción 3D en la realización de una tarea colaborativa.
- Formular los elementos de la propuesta metodológica para la evaluación de sistemas CSCW en ambientes 3D.
- Validar la propuesta metodología mediante su implementación en casos de estudio.

Por otro lado y teniendo en cuenta que, como se verá en el siguiente capítulo, un ambiente virtual colaborativo, en inglés *Collaborative Virtual Environment* (CVE), es un sistema que maximiza el reto de generar un ambiente 3D colaborativo, éste será el tipo de sistemas que se considerarán como principal objeto de estudio de esta investigación, con lo cual la propuesta quedó acotada a este tipo de sistemas. Así, se plantearon las siguientes hipótesis a ser verificadas durante el desarrollo de esta tesis de doctorado.

*H<sub>1.1</sub> : Un conjunto de indicadores adecuadamente definidos permiten diferenciar la colaboración de la misma actividad realizada usando diferentes condiciones de interacción/inmersión.*

*H<sub>1.2</sub> : El conjunto de indicadores definido permite identificar las características de interacción e inmersión que afectan una actividad colaborativa.*

*H<sub>1.3</sub> : A partir de los indicadores definidos es posible calcular un indicador global de colaboración que permita comparar dos o más condiciones diferentes de interacción e inmersión.*

Para verificar dichas hipótesis se planteó un proceso metodológico centrado en el estudio de casos, en inglés *case study* [Yin81; Yin13], donde se abordó en forma práctica el problema de evaluar la colaboración en un CVE y cómo ésta es afectada cuando se usan diferentes modelos de interacción e inmersión. Así, esta investigación contempló el desarrollo y análisis de cuatro (4) casos de estudio que permitieron contrastar experimentalmente las hipótesis planteadas. Los dos (2) primeros, desarrollados con fines de exploración y proposición, fueron soporte para la construcción del enfoque metodológico de evaluación de CVE dirigida a la colaboración, que constituye el eje central de esta tesis. Mientras que los dos (2) últimos sirvieron como elemento de validación del enfoque propuesto.

## 1.2. Aportes y estructura del documento

El principal aporte de esta tesis doctoral es la propuesta de un enfoque metodológico para la evaluación de la colaboración de un CVE, la cual se ha denominado diagnóstico de la conformidad de los artefactos de consciencia compartida, en inglés *Conformity Diagnosis of Common Awareness Artefacts* (CD-CAA). Esta propuesta está dividida en cuatro (4) componentes, el primero, un modelo conceptual que relaciona la interacción en 3D y la inmersión como función de la colaboración, el segundo, un conjunto de indicadores que permiten evaluar el impacto de la interacción e inmersión en la colaboración, el tercero, un proceso de evaluación que define las etapas que deben ser seguidas y, el cuarto, un listado de lineamientos que definen prácticas necesarias para una correcta evaluación. De los cuatro (4) componentes enumerados, el modelo conceptual y el conjunto de indicadores representan la mayor contribución de este trabajo, dado que proponen un cambio de perspectiva en la manera como es abordada tradicionalmente la evaluación de los CVE.

Otras contribuciones relevantes, fruto de esta investigación, son las propuestas de nuevos modelos de interacción e inmersión que se plantearon en tres de los cuatro casos de estudio desarrollados; la elaboración de un estado del arte en métodos de evaluación de CVEs, la validación experimental del conjunto de indicadores propuestos y la evaluación crítica del estudio de casos como enfoque metodológico para la formulación y validación de metodologías en el área de computación.

A continuación se describe la estructura de este documento, enfatizando en los aportes presentados en cada uno de los capítulos.

### 1.2.1. Estructura del documento

#### Capítulo 2. Antecedentes y trabajos relacionados

El capítulo 2, introduce los conceptos y fundamentos teóricos que enmarcan y soportan el desarrollo de esta investigación, buscando puntualizar aquellos conceptos que podrían resultar ambiguos o dependientes del contexto. Allí se presentan las características de los artefactos compartidos, propuestas por Robinson[Rob93]; las actividades propias de espacio de trabajo compartido, presentadas por Gutwin y Greenberg [GG02], y el método de evaluación para interacción en 3D por banco de pruebas, propuesto por Bowman y Johnson [BJH00]. Adicionalmente, el capítulo 2 presenta una revisión detallada de las metodologías, métodos, métricas e indicadores que han sido usados para la evaluación de CVEs, incluyendo algunas propuestas orientadas principalmente al diagnóstico de la usabilidad. También se incluyó una discusión sobre el estado del arte en métodos evaluación de entorno virtual, en inglés *Virtual Enviroment* (VE) y sistemas CSCW, enfatizando en las ventajas y desventajas de aplicar tales métodos a la evaluación de un CVE.

#### Capítulo 3. Evaluación de la colaboración en entornos 3D, un cambio de perspectiva

Este capítulo presenta la propuesta metodológica central, generada a partir de esta investigación, denominada CD-CAA, la cual se fundamenta en dos teorías esenciales del CSCW y adapta el esquema evaluativo de mayor aceptación en interacción en 3D, el banco de pruebas. El capítulo introduce algunas definiciones, requeridas para la comprensión y aplicación de la metodología y describe detalladamente cada uno de los cuatro (4) componentes del enfoque CD-CAA: 1) un modelo conceptual que propone una mirada integral de la colaboración a partir de los conceptos de pirámide de consciencia del espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness Pyramid* (WAP) y artefactos de consciencia común o artefactos de consciencia compartida, en inglés *shared-awareness artefacts*(SAA) o *common-awareness artefacts* (CAA), 2) un esquema de diagnóstico a partir de indicadores que permiten establecer el impacto de la interacción e inmersión en la colaboración, 3) un proceso de evaluación con etapas claramente definidas y 4) un listado de lineamientos que definen buenas prácticas para la evaluación.

#### **Capítulo 4. El estudio de caso como método de investigación**

El capítulo 4 presenta el estudio de casos como enfoque metodológico de investigación usado en el desarrollo y validación de la propuesta de evaluación de la colaboración generada en esta tesis doctoral. Discute sobre el papel del estudio de casos en la investigación en general, y muestra cómo ha sido usado en el desarrollo y validación de otras propuestas metodológicas en el área del HCI. Así mismo, describe cada uno de los casos de estudio desarrollados en esta investigación y el papel que éstos tuvieron en la definición y validación de la metodología CD-CAA.

#### **Capítulo 5. Consciencia de proximidad en caminata colaborativa**

Este capítulo presenta un primer caso de estudio, donde se propuso el concepto de consciencia de proximidad, en inglés *Proximity Awareness* (PA), como estrategia para aumentar la sensación de co-presencia, en inglés *co-presence*, entre los miembros de un equipo que realizan una actividad colaborativa en un CVE. Se proponen tres enfoques distintos de implementación de la consciencia de proximidad y, se conduce una evaluación que permite validar cómo este nuevo mecanismo de interacción mejora la colaboración del equipo de trabajo con respecto a un sistema CVE sin consciencia de proximidad. El capítulo esboza los primeros elementos conceptuales y procedimentales de la metodología propuesta, como lo son el uso de bancos de pruebas, algunos indicadores de evaluación de la colaboración y los lineamientos básicos para la ejecución del procedimiento de evaluación.

#### **Capítulo 6. Composición colaborativa en pantallas de gran formato**

Este capítulo presenta un segundo caso de estudio, donde se propone un sistema de composición colaborativa sobre pantallas de gran formato, en él se introduce un modelo de interacción apoyado en dispositivos móviles. El capítulo presenta un experimento en el que se observa el proceso colaborativo de composición libre, contrastando una interacción de mano alzada sobre un tablero con el modelo propuesto. Se presenta una evaluación de modelos de implementación de los elementos de la metodología esbozados a partir del primer caso de estudio y se identifican nuevos elementos a ser incluidos en la metodología.

## Capítulo 7. Validación experimental de indicadores

Este capítulo presenta una validación experimental del conjunto de indicadores propuesto en el enfoque CD-CAA. El diseño experimental permite comparar una misma actividad colaborativa en dos condiciones de colaboración diferentes, estableciendo métricas específicas para medir los indicadores propuestos por el enfoque CD-CAA. La validación experimental aisló en actividades diferentes las tareas de selección, manipulación y navegación, lo cual permite evidenciar la aplicabilidad de las métricas propuestas en diferentes tareas de interacción.

## Capítulo 8. Lenguaje táctil para soportar actividades colaborativas

El capítulo 8 presenta un último caso de estudio en el que se validan los diferentes elementos de la metodología CD-CAA propuesta. En él se propone un lenguaje háptico (vibro-cutáneo) como método para generar nuevos canales de comunicación en un entorno virtual colaborativo. Este nuevo canal de comunicación es validado mediante la comparación experimental bajo diferentes condiciones de comunicación verbal.

## Capítulo 9. Conclusiones y trabajo futuro

Finalmente, el capítulo 9 presenta las conclusiones de este trabajo de investigación. Se incluye una discusión de resultados obtenidos en los casos de estudio y cómo estos permitieron contrastar las hipótesis planteadas, así como también se realiza una reflexión sobre el grado de cumplimiento de los objetivos planteados. A partir de dichos argumentos se propone una serie de perspectivas de trabajo futuro y se plantean posibles estrategias para su desarrollo.

## Anexos

Como anexo a este documento se incluye el conjunto de publicaciones resultado de este trabajo de investigación.

Un primer subconjunto evidencia el trabajo de exploración realizado para conocer de cerca la interacción en 3D [Kra+12; Jor+13] y la colaboración [Col+12]. Así en [Kra+12] se presenta un trabajo en desarrollo para proponer una técnica de locomoción con la metáfora de caminar en lugar (*walking in place*). En [Jor+13] se presenta un estudio que evaluó cómo los grados de libertad de la locomoción en un ambiente virtual afectan en el desempeño de una tarea.

En [Col+12] se presenta un caso de evaluación de actividades de aprendizaje colaborativo en el contexto de un laboratorio de CSCW.

Un segundo subconjunto de publicaciones presenta los resultados parciales derivados de la aplicación de los caso de estudio. En [SC12] se presentó el diseño experimental dirigido a evaluar cómo diferentes modelos para generar la sensación de proximidad afectan la colaboración. En [Sar+14] se presentan los indicadores propuestos, se discute su aporte desde el punto de vista teórico, y se muestra la implementación de un subconjunto de ellos en un caso de estudio. En [Oli+15] se presentaron los principales elementos del lenguaje táctil usado en el último caso de estudio, y la propuesta experimental para su evaluación en una actividad colaborativa. En [SC16] se propone los CAA como herramienta de evaluación y diseño de componentes de interacción/inmersión en un CVE.

### 1.2.2. Recomendaciones para la lectura de este documento

Este documento ha sido estructurado de tal forma que no requiere una lectura secuencial. El principal componente de esta investigación es la propuesta metodológica para la evaluación de un CVE, la cual es presentada de forma detallada y autocontenida en el capítulo 3. Como ya fue explicado, esta propuesta fue el resultado de la aplicación del enfoque metodológico presentado en el capítulo 4, el cual contempló la ejecución de cuatro (4) casos de estudio, dos (2) de exploración que aportaron los elementos fundamentales para la construcción de la propuesta y dos (2) más de validación, que permitieron evaluar su aplicación y refinar aspectos específicos de la misma. Así, si el lector quiere seguir el proceso llevado a cabo en esta investigación, se sugiere realizar la lectura de la siguiente manera: en primer lugar el enfoque metodológico de estudio de casos que fue seguido en la investigación, presentado en el capítulo 4, luego los casos de estudio **P** y **D** (capítulos 5 y 6) que aportaron elementos claves para la construcción de la propuesta, seguido a esto la propuesta metodológica CD-CAA, presentada en el capítulo 3 y luego los casos de estudio **M** y **L** (capítulos 7 y 8), que permitieron validarla. Sin embargo, si el lector está interesado en conocer la propuesta metodológica puede dirigirse al capítulo 3. Por su parte el capítulo de conclusiones está fuertemente ligado al proceso completo de investigación y a los resultados obtenidos en cada uno de los casos de estudio.

### 1.2.3. Listado de publicaciones

- [Col+12] César A. Collazos y col. «Laboratory Experiments in CSCL Activities». English. En: ed. por Carina Gonzalez. IGI Global, 2012, pp. 222-240. ISBN: 9781466619876. DOI: 10.4018/978-1-4666-1987-6.
- [Jor+13] Vitor A. M. Jorge y col. «Interacting with Danger in an Immersive Environment: Issues on Cognitive Load and Risk Perception». En: *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology - VRST '13*. New York, New York, USA: ACM Press, 2013, pp. 83-92. ISBN: 9781450323796. DOI: 10.1145/2503713.2503725.
- [Kra+12] H. F. Krammes y col. «Walk in Place Using a Balance Board Matrix». En: *Workshop of Works in Progress (WIP) in SIBGRAPI 2012 (XXV Conference on Graphics, Patterns and Images)*. 2012, pp. 59-60.
- [Oli+15] Victor A. de J. Oliveira y col. «Does vibrotactile intercommunication increase collaboration?» En: *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*. IEEE Computer Society Press, 2015, pp. 253-254. ISBN: 978-1-4799-1727-3. DOI: 10.1109/VR.2015.7223391.
- [Sar+13] Wilson J. Sarmiento y col. «Awareness of Other: Evaluating the Impact of Proximity Cues in Collaborative Tasks». En: *Virtual Reality (VR), 2013 IEEE*. Lake Buena Vista, FL, USA: IEEE Computer Society Press, 2013, pp. 63-64. DOI: LakeBuenaVista,FL.
- [Sar+14] Wilson J. Sarmiento y col. «Measuring the Collaboration Degree in Immersive 3D Collaborative Virtual Environments». En: *Collaborative Virtual Environments (3DCVE), 2014 International Workshop on . IEEE VR 2014*. Minneapolis, MN, USA: IEEE Computer Society Press, 2014, pp. 1-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/3DCVE.2014.7160931>.
- [SC12] Wilson J. Sarmiento y César A. Collazos. «CSCW Systems in Virtual Environments: A General Development Framework». En: *Creating, Connecting and Collaborating through Computing (C5), 2012 10th International Conference on*. Ed. por Hideyuki Takada. Playa Vista, CA, USA: IEEE Computer Society, 2012, pp. 15-22. DOI: 10.1109/C5.2012.17.

- [SC16] Wilson J. Sarmiento y César. A. Collazos. «Common-Awareness Artifacts, Conceptual Elements to Designing and Evaluating Collaboration in CVE». En: *Communications in Computer and Information Science* to appear (2016).



# Capítulo 2

## Antecedentes y fundamentos teóricos

La definición de un marco conceptual, junto con la revisión de trabajos previos y el establecimiento del estado del arte son aspectos relevantes para el abordaje adecuado de un problema de investigación. Este capítulo presenta el marco conceptual en el cual se fundamenta la investigación objeto de esta tesis, partiendo de la definición de trabajo colaborativo y los aspectos específicos asociados al trabajo colaborativo en entornos 3D en un ambiente virtual colaborativo, en inglés *Collaborative Virtual Environment* (CVE), sus elementos funcionales y las propiedades que deben ser consideradas cuando éstos son evaluados. Adicionalmente, presenta una revisión del estado actual de los procesos de evaluación de los aspectos de inmersión, interacción y colaboración en un CVE.

### 2.1. Sistemas colaborativos en entornos 3D

En la introducción a este documento, se expuso la importancia actual de la investigación y estudio de la colaboración en entornos tridimensional (3D). Aun así, cabe aclarar que no fueron esas la razones que motivaron el desarrollo de los primeros sistemas 3D colaborativos. Las primeras propuestas en interacción 3D colaborativa surgieron de la válida curiosidad científica que planteó asociar dos áreas en desarrollo y prometedoras para ese momento, los sistemas de entornos virtuales multiusuario, en inglés *Multi-User Virtual Environments* (MUVE) y el trabajo cooperativo asistido por computador, en inglés *Computer Supported Cooperative Work* (CSCW). Los primeros trabajos en esta dirección se publicaron entre 1992 y 1994, por Benford y col. [BIR92; BF93; Ben+94b; Ben+94a], y Carlsson y col. [CF93; CH93]. A partir de entonces,

se comenzaron a desarrollar los conceptos teóricos de los CVE [CS98; Fra+00; Ben+01; SS15]. De esta forma los CVE fueron concebidos como sistemas que integran la bondades de la realidad virtual, en inglés *Virtual Reality* (VR), con conceptos de CSCW, para generar un espacio de colaboración en un entorno virtual, en inglés *Virtual Enviroment* (VE) [CF93; Ben+94b; CS98]. Sin duda alguna los CVE son los sistemas más complejos de colaboración en entornos 3D, pero también los más prometedores en cuanto a posibilidades de inmersión e interacción para los usuarios [SS15], razón por la cual se eligieron como objeto de estudio en esta investigación.

Los primeros sistemas desarrollados plantearon las principales propiedades de los CVE (Spline, MASSIVE y Diamond ParkSpline) [CH93; GB95; Wat+97]. Inicialmente estos sistemas tomaron algunas características relevantes de los MUVE, entre las cuales se resalta el uso de una personalización gráfica conocida como *embodiment* o *avatar*. Un avatar es empleado por los usuarios como una representación de ellos mismos en el VE, y les permite realizar toda tarea de interacción en este espacio [Ben+97; CW00]. Un avatar puede ser configurado para ajustarse a variables como edad, género o apariencia física, con el fin de generar empatía con cada usuario y entre los miembros del equipo, y coherencia con la actividad a ser desarrollada. Teóricamente, un avatar puede ser dotado de alternativas como expresión facial [FMH99; JAS97] y comunicación gestual [CS98; GV+99], las cuales brindan canales de comunicación adicionales que soportan la colaboración. Otra característica de los CVE es que la actividad colaborativa puede ser realizada siguiendo metáforas cercanas a la realidad, aproximándose a patrones de interacción natural, lo que es reforzado a partir del el uso interfaces multimodales, entre las cuales sobresalen la interacción háptica, gestual y propioceptiva y, la visualización y el audio envolventes [Pic+14; Duv+13]. Así, sobre una plataforma con grandes bondades tecnológicas, los CVE plantean mecanismos que favorecen la colaboración, lo cual marca la diferencia entre los CVE y los MUVE: la implantación de conceptos de CSCW que soporten la actividad colaborativa [ND14].

Algunas aplicaciones particulares no requieren todas las características que un CVE puede ofrecer, y por lo tanto se enfocan en fortalecer una aspecto puntual de la interacción. Por ejemplo, un entorno háptico colaborativo, en inglés *Collaborative Haptic Environment* (CHE), dirige su esfuerzo a la interacción con retorno de fuerza (háptica), y enfoca la colaboración en este punto, sin renunciar otros elementos de interacción e inmersión [BSH06; HLLL09; Ran+11; Ste+12]. Los CHE han sido principalmente estudiados y aplicados en medicina, puntualmente en el área de cirugía y medicina intervencionista, donde generalmente se ha dirigido a tareas entre dos personas remotamente distribuidas [Kim+01; HRE11; Ran+11; Qin+13; Cec+13].

Otro ejemplo particular es la visualización 3D colaborativa, en inglés *Collaborative 3D Visualization* (C3V), que busca compartir la visualización de un conjunto de datos de interés para un grupo de expertos [PW97; KM01; Fil+09; Pan+15]. En este caso, el equipo de trabajo puede estar ubicado en el mismo lugar geográfico o estar espacialmente distribuido. Entre las tareas que suelen realizarse en este tipo de sistemas se encuentran la anotación, filtrado de información, visualización desde diferentes enfoques y la navegación sobre los datos [Ogi+99; Fil+09; Rin+15]. Entre las aplicaciones que se pueden citar se encuentran la planificación quirúrgica, el diagnóstico basado en imágenes y el planeamiento urbanístico, entre otras [Hu+13; Lov+15; Rin+15; Pan+15].

Además de los CVE, existen otros sistemas 3D que han sido dotados de colaboración, como es el caso de los sistemas de diseño asistido por computador (en inglés *Computer Aided Design*) y manufactura asistida por computador (en inglés *Computer Aided Manufacturing*) (CAD/CAM), los cuales han sido una de las aplicaciones más tradicionales que emplean de forma exhaustiva la interacción 3D. Estos sistemas tienen como objetivo el diseño de una estructura física 100% coherente que representa un objeto, el cual eventualmente será construido o ensamblado en el mundo real. Los sistemas CAD/CAM van más allá de solo permitir el modelado de un objeto 3D, muchos de los sistemas comerciales ofrecen herramientas para realizar simulaciones, animaciones y render. Actualmente la arquitectura, el diseño automotriz, o el mecanizado de piezas, son solo algunos ejemplos de campos de aplicación que se apoyan en sistemas CAD/CAM [Gio02; Gio02; Gio02; Wau15]. La integración de herramientas para el trabajo colaborativo en sistema CAD/CAM ha sido un tema de continuo interés [Men97; KL98; Li+05; FL05], por esa razón en muchas herramientas comerciales ya se ha introducido algunos elementos que permiten el trabajo en grupo, aunque todavía persisten algunos problemas abiertos como la sincronización remota de los modelos 3D, la coherencia en la mezcla de versiones de un modelo 3D trabajado asincrónicamente y la interacción simultánea para el diseño colaborativo (*co-design*) [Li+05; FL05].

Las aplicaciones para la producción de contenido 3D también han sido habilitadas con herramientas para la colaboración, aunque éstas han sido menos exploradas que el caso de los software CAD/CAM. Es necesario recordar que los sistemas para la producción de contenido 3D son los que apoyan toda la creación del contenido 3D usado por la industria cinematográfica y de video juegos. En forma general, la producción de contenido 3D sigue la línea de ensamble modelado→animación→render, sobre la cual, dependiendo las particularidades del proyecto, existes diferentes procesos intermedios. Aunque los sistemas de producción de contenido 3D

son hermanos cercanas a los sistemas CAD/CAM, las diferencias son notables, ya que los primeros se centran en la creación y manipulación de superficies tridimensionales, generalmente representadas por mallas de polígonos. En otras palabras, mientras los sistemas CAD/CAM diseñan objetos sólidos, los sistemas de producción de contenido 3D solo diseñan la cascara exterior. Precisamente estas diferencias han sido las que han dificultado la aplicación directa de métodos y técnicas usadas con éxito en el CAD/CAM colaborativo, por esa razón las alternativas comerciales para producir contenido 3D colaborativo es limitada, y por lo tanto el problema en general sigue siendo un tema abierto de investigación [Agu+08].

Otro tipo de aplicaciones, que es necesario mencionar, son los sistemas masivos multiusuario, en inglés *Massive Multiplayer Online World* (MMOW). Éstos sistemas son comunidades virtuales que permiten a los usuarios una interacción social sobre un entorno 3D, como es el caso de Second Life<sup>1</sup>, Habbo<sup>2</sup> y smeeet<sup>3</sup>. Estos sistemas surgieron de la migración de los MUVE hacia una plataforma de escritorio que no requiriera dispositivos propios de la VR. Por eso, han tomado principalmente el elemento del avatar como centro de la interacción, pero simplificando algunas de sus propiedades e introduciendo otras, como el *chat* y la navegación 3D con teclado. Se han propuesto diferentes alternativas de aplicación de los MMOW, más allá de la interacción social, donde se han expuesto las ventajas que ofrecen éstos sistemas en un entorno educativo y corporativo [CU10]. Así mismo, los video juegos masivos multijugador, en inglés *Massively Multiplayer Online Game* (MMOG), son sistemas similares a los MMOW, donde World of Warcraft<sup>4</sup>, Entropía Universe<sup>5</sup> y Rune Scape<sup>6</sup>, son ejemplos representativos. El desarrollo de los dos tipos de sistemas, MMOW y MMOG, se ha dado de forma paralela, por lo tanto, es correcto decir que han tomado elementos mutuamente el uno del otro. Al respecto, se puede afirmar que el foco de los MMOW es la interacción social y el objetivo de los MMOG es el juego en sí mismo. Pero no siempre es posible definir claramente una línea de división, como es el caso de la popular plataforma ClubPenguin<sup>7</sup>, donde la frontera de la interacción social y el video juego se difumina en la inocencia natural de sus usuarios. Estos sistemas en sí mismos, no definen ni establecen elementos de colaboración, pero existe la posibilidad de que ésta emerja naturalmente como sucede en el mundo real. En algunos casos, se han tomado algunas

---

<sup>1</sup><http://secondlife.com/>

<sup>2</sup><https://www.habbo.es/>

<sup>3</sup><http://int.smeeth.com/>

<sup>4</sup><http://us.battle.net/wow/en/>

<sup>5</sup><http://www.entropiauniverse.com/>

<sup>6</sup><http://www.runescape.com/>

<sup>7</sup><http://www.clubpenguin.com/>

de estas plataformas y se han dotado de elementos de colaboración [De +08], comunicación afectiva [HRE11] o inmersión, por lo que se puede afirmar que en algunos casos se han tomado plataformas MMOW para desarrollar un CVE, recordando que un CVE tiene como objetivo central la realización de una actividad colaborativa en un entorno 3D inmersivo.

## 2.2. Elementos funcionales de los CVE

Como se mencionó en la sección anterior, los CVE fueron elegidos como objeto de estudio de esta investigación, debido principalmente a que son los sistemas colaborativos en entornos 3D más completos y que mayor prestaciones ofrecen a los usuarios en un futuro cercano. Los CVE han sido estudiados desde diferentes perspectivas, centrándose principalmente en tres grandes elementos funcionales: la interacción en 3D, la inmersión y la colaboración. Estos elementos no son componentes arquitectónicos del sistema, ni son subconjuntos de funcionalidades, son elementos conceptuales que permiten entender los CVE desde una visión más general. A continuación se explica cada uno de estos tres elementos y sus principales características.

### 2.2.1. Interacción

La interacción en 3D es el motor de estos sistemas, define cómo el usuario puede realizar cualquier acción en el CVE, desde caminar o tomar objetos, hasta realizar tareas complejas. De esta forma, la interacción en 3D permite la realización de la actividad colaborativa y, hasta cierto punto la define, ya que por ejemplo una misma tarea puede ser realizada de diferentes maneras cuando se emplean distintos dispositivos de interacción.

La interacción 3D ha sido y es un importante objeto de estudio, es así que actualmente es posible identificar más de diez (10) publicaciones entre 1993 y 2013 que presentan un estado del arte, revisión o reflexión acerca de la interacción en 3D, de las cuales tres (3) de ellas fueron publicadas después del 2013 [FBT93; Han97; PI99; Bow+01; WF03; Ste06; Bow+08; IDM11; TRT12; JH13; AA13; JH15]. Por eso, se ha afirmado en varios apartados de este documento que la interacción en 3D es un tema abierto y una preocupación actual de los investigadores en el área.

Una de las principales dificultades de la interacción en 3D es la naturaleza del contenido que se está manipulando, el cual puede tener numerosos grados de libertad, en inglés *Degrees*

*of Freedom* (DoF). En interacción en 3D se entiende como grado de libertad la posibilidad independiente y aislada de generar un cambio de estado. Por ejemplo, si todos los objetos a ser seleccionados se encuentran sobre una línea vertical, esta tarea se puede reducir a un (1) DoF (arriba–abajo); si el movimiento de un personaje se limita a un plano, esta tarea se restringe a dos (2) DoF (derecha–izquierda, adelante–atrás); si el objeto puede ser trasladado en los tres ejes, la manipulación se realiza con tres (3) DoF ( $X - Y - Z$ ). Una tarea 3D de mediana dificultad tiene normalmente entre 3 a 9 DoF, lo cual genera una alta carga cognitiva en el usuario.

Otra de las grandes dificultades de la interacción en 3D es el gran número de tareas que pueden ser realizadas en un entorno 3D, por esa razón se han clasificado o agrupado en categorías. Aunque existen algunas diferencias al respecto, es ampliamente aceptado que las tareas de interacción en 3D se pueden tipificar en selección, manipulación, navegación y control del sistema [Bow+01]. Con el fin de mostrar un marco general, a continuación se describen estos cuatro (4) grupos de tareas de la interacción en 3D.

La *selección* se refiere al evento de elegir un objeto de interés en una escena, lo cual aunque aparenta ser un problema trivial, enfrenta problemas complejos. La aproximación más sencilla se basa en trazar un rayo virtual desde la mano o apuntador del usuario hacia la escena, donde el primer objeto que sea interceptado con dicho rayo será el objeto seleccionado. Esta técnica conocida como trazado de rayo (*ray casting*), puede entenderse metafóricamente como apuntar un objeto con un láser. Sin embargo, la dificultad se encuentra en definir qué pasa si el objeto está ocluido parcial o totalmente, si hay muchos objetos a su alrededor, si es muy pequeño, si se encuentra muy lejos, si está dentro de otro objeto, si está en movimiento, etc. [SKJ00; Ste06; AA13].

La *manipulación* hace alusión al cambio del estado actual de un objeto 3D, es decir, la modificación de su posición, rotación o escala. En muchos casos el proceso de manipulación se debe tratar de manera jerárquica del objeto hacia sus partes. Adicionalmente, una tarea completa de manipulación tiene por lo menos nueve (9) DoF, así, tres ejes de traslación, tres de rotación y tres de escalamiento [SKJ00; Sch08; ADA09]. Una de las técnicas más difundidas para la manipulación es la mano virtual (*virtual hand*), la cual se basa en mapear los movimientos reales de la mano en su representación virtual [Han97; PI99].

La tarea de *navegación* se refiere al desplazamiento libre que puede hacer un usuario en una escena 3D, y es generalmente estudiada a través de dos subtareas, una mecánica y otra cogni-

tiva. El componente mecánico de la navegación se le denomina locomoción, y hace referencia a la subtarea de cambiar la posición del usuario en la escena 3D. Dependiendo de la aplicación, es posible usar metáforas y técnicas diferentes de locomoción, por ejemplo para una navegación global de una escena puede usarse un modelo exploración aérea [San+00], mientras que para navegar en una habitación es adecuada una metáfora de caminado [Whi+05; LaV+01]. El componente cognitivo de la navegación hace referencias a la planificación mental de la exploración, al planeamiento de la ruta a ser seguida por el usuario [MH11; RL06]. Si el usuario mentalmente no ha definido qué o cómo desea hacer una exploración, la locomoción es sólo una tarea de movimiento aleatorio, así, existe una fuerte correlación entre ellas.

En cuanto a las tareas de *control del sistema*, son todas aquellas acciones que se refieren a la interacción del usuario con el software para realizar actividades rutinarias como por ejemplo cambio de herramientas, salvar archivos o enviar mensajes. Cuando la actividad que está realizando el usuario implica un alto nivel de inmersión no es recomendable desligarlo del entorno 3D para hacer estas tareas. Un ejemplo claro y conocido son los video juegos, el usuario debe cambiar herramientas, armas, observar y seguir mapas, intercambiar entre tareas de navegación, combate o selección; todo sin salir del entorno virtual del juego [Bow+01; JH13].

Para poder realizar cualquiera de las anteriores tareas se han propuesto gran cantidad que técnicas y dispositivos de interacción, los cuales puede ser combinados de diferentes formas. Un ejemplo claro es el proceso de caminar en un mundo virtual. La técnica puede ser la misma: el avatar tiene dos grados de libertad, puede ir adelante-atrás y puede girar a la derecha e izquierda sobre su eje. Sin embargo, esta técnica puede ser implementada usando un joystick, un sistema apuntador, gestos corporales, etc. Por esa razón, en este documento, la unión técnica - dispositivos de interacción es llamada, artefacto de interacción.

Actualmente no existe un artefacto de interacción que pueda ser usado para toda tarea 3D. Por ejemplo, sí un artefacto es adecuado para una tarea de selección particular, como señalar elementos sobre una mesa cercana, es probable que no sea el adecuado para otra, como señalar un objeto sobre una repisa lejana. Por esa razón, identificar un artefacto adecuado de interacción es fundamental en cómo el usuario se conecta con una actividad y desarrolla consciencia, en inglés *awareness*, (*awareness*) de que la está realizando. Este concepto se presentará con mayor detalle más adelante. Si un artefacto es complejo de usar, el usuario va a tener dificultades de vincularse con la actividad y por lo tanto no va a hacerse consciente de su desarrollo. Al

contrario, cuando la interacción es fluida y fácil, el usuario olvida el artefacto y se concentra en la actividad, se hace consciente de ella.

### 2.2.2. Inmersión

La inmersión es un componente cognitivo que hace referencia a la capacidad del usuario de conectarse con una actividad, por eso, el término inmersión puede ser usado en actividades como la lectura y los video juegos para referirse a la capacidad que tiene una historia de absorber a un usuario. En un sistema de VR, el término inmersión sigue teniendo un componente cognitivo, pero está más relacionado con la posibilidad que tiene un usuario de olvidar el mundo real y sentirse dentro del entorno virtual. Para esto la VR se apoya en dispositivos que buscan engañar los sentidos del usuario [BM07; PPW97].

Los sistemas de visualización inmersiva son quizás los más conocidos, tanto que es posible afirmar que el casco de realidad virtual, en inglés *Head Mounted Display* (HMD), es un ícono de esta tecnología. La visualización inmersiva se basa en varios principios del sistema visual humano. El primero, la visión estereoscópica, la cual permite a nuestro cerebro la percepción de la profundidad a partir de dos imágenes desplazadas de la misma escena. Un segundo principio visual es el paralaje, hace referencia a la diferencia observada de un objeto cercano con respecto al fondo (lejano) cuando se cambia el ángulo de visión. Para poder observar este efecto en un sistema de visualización 3D es necesario tener dispositivos que rastreen la posición de la cabeza del usuario, para cambiar el ángulo de visualización acorde a sus movimientos. Un tercer principio es la perspectiva, que permite asociar la distancia de un objeto con el tamaño observado, es uno de los elementos fundamentales de la visualización 3D. Otros elementos como el desenfoco, los reflejos, las sombras, están relacionados con la calidad del sistema de render usado.

Además de los HMD existen otros dispositivos que permiten diferentes niveles de visualización inmersiva. Las pantallas estereoscópicas, que hoy se encuentran en teatros de cine y en nuestras casas (televisores 3D), son un ejemplo puntual. Otro tipo de dispositivos son las caverna de inmersión, en inglés *Cave Automatic Virtual Environment* (CAVE). Son pequeños salones (entre 2 o 3 metros) que proyectan el mundo virtual sobre sus paredes, techo y piso, y muchos autores los consideran el sistema de visualización inmersiva más avanzado. Dados sus altos costos son exclusividad de algunos laboratorios, aunque hace unos años se han empezado a desarrollar sistemas de bajo costo, versiones curvas para video juegos, e incluso actualmente se pueden

hacer montajes usando monitores o pantallas de TV. Los muros de proyección (*wall display*) son otros mecanismos de visualización, se basan en tener una superficie lo suficientemente grande que permita al usuario sentir que está observando el mundo a través de un enorme cristal. Para lograr una adecuada calidad en la resolución es necesario usar mosaicos de pantallas (*tiled display*).

Además de la visualización inmersiva, existen otros elementos relacionados con los sentidos. El audio envolvente se basa en la compensación de la intensidad y frecuencia del sonido reproducido por diferentes bocinas, de acuerdo con la posición virtual de la fuente de audio, lo que se conoce como render de audio 3D. El retorno de fuerza busca imitar el efecto percibido cuando manipulamos una herramienta. Dependiendo el objeto que se toque se perciben diferentes niveles de fuerza, lo que permite que el usuario perciba cuándo y cómo el objeto está siendo manipulado. Actualmente se están usando pequeños motores o estimulación eléctrica para generar sensaciones directas en la piel. También se han desarrollado modelos de render de viento (*wind render*) y pantallas olfativas (*olfactory display*) para aumentar la percepción del ambiente virtual. Por último existen dispositivos que permiten rastrear la posición de algunas partes del cuerpo, principalmente cabeza, manos y extremidades, con el propósito de mapear estos movimiento sobre el avatar y generar sensaciones de propiocepción, el MS-Kinect es un dispositivo muy usado con este fin.

De manera similar a lo que sucede con los dispositivos de interacción, los dispositivos de inmersión requieren de procesos y técnicas que los manejen de forma adecuada, en consecuencia, en este documento también se introduce el término artefacto de inmersión para definir a esa conjunción dispositivo - técnica usados para permitir la inmersión del usuario en una aplicación. Todos estos artefactos tienen como finalidad llevar al usuario a un proceso cognitivo de estar dentro del VE mediante los diferentes elementos sensoriales. Es decir, el usuario debe desarrollar consciencia (*awareness*) de que está dentro del mundo virtual. En un sistema de VR los procesos sensoriales percibidos por un usuario se han relacionado directamente con la capacidad de inmersión de los equipos. De esta forma, a mayor capacidad de inmersión, mayor sensación de estar dentro del entorno virtual. Dicha sensación ha sido explicada con el concepto de presencia, en inglés *presence*, el cual ha sido definido en diferentes escenarios y desde distintos punto de vista [BM07; BHG01; Vil+12; Kan+12]. Para un gran número de autores, la presencia se entiende como la sensación de “ser” de “estar allí” [Sla99; Vor+02; AJGM10; Kan+12], pero como dicho concepto es muy general, se han propuesto términos que acotan algunos elementos

de presencia [Sch+01b; Zha03; Bul12]. Por ejemplo, algunos autores diferencian el sentido de presencia generado por un medio digital, tele-presencia (*tele-presence*) [Les+01; NB03], del estado psicológico de sentirse en un lugar diferente al real, presencia de un lugar, en inglés *place presence* [Ste+99; Bul12]. Otro concepto muy común es el de presencia social, en inglés *social presence*, el cual se define en función de la calidad de la interacción con otra persona cuando ésta se realiza a través de un medio de comunicación, comparada con la interacción real cara a cara [BHB03; NB03]. Otro concepto relevante es el de co-presencia, en inglés *co-presence*, que se entiende como la sensación de estar en el mismo lugar de otra persona, o de sentir que la otra persona está con nosotros [WM02; GL01; GPP09].

### 2.2.3. Colaboración

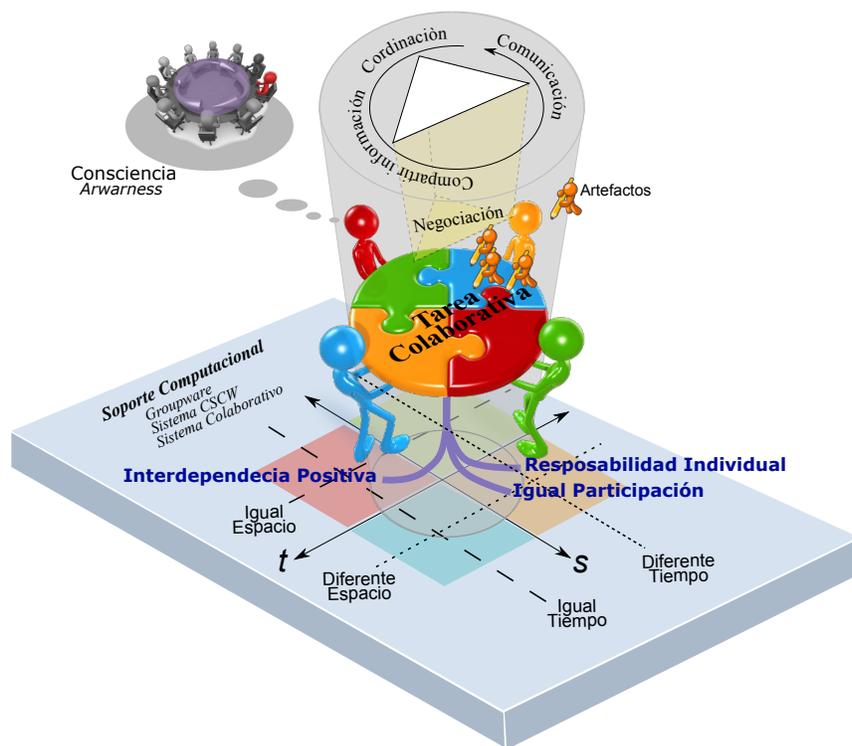


Figura 2.1: Ilustración que describe los conceptos generales del trabajo colaborativo. Se resalta los tres componentes fundamentales, equipo de trabajo, tarea colaborativa y soporte tecnológico.

La colaboración es el objetivo de cualquier sistema colaborativo, puntualmente en sistemas en entornos 3D, la inmersión y la interacción son un camino para llegar a ella. Por esta razón son muchos los conceptos involucrados en el estudio y la investigación del trabajo colaborativo. Sin embargo, es necesario para el desarrollo de esta investigación abstraer y entender las características generales del trabajo colaborativo.

Como en cualquier otro sistema colaborativo, el CSCW define conceptos que permiten entender la colaboración y a partir de éstos proponer esquemas que favorezcan el trabajo en equipo. La figura 2.1 ilustra los conceptos que se han considerado más relevantes para entender la colaboración sobre un entorno 3D en el CSCW. Los tres principales elementos del trabajo colaborativo asistido por computador son: el equipo de trabajo, la actividad colaborativa y el soporte tecnológico. El equipo de trabajo, es ilustrado a través de los personajes, los cuales se encuentran realizando una actividad colaborativa que se lleva a cabo a través de tareas de interacción, sobre un soporte tecnológico (*software* y *hardware*) que incluye elementos que permiten un alto grado de inmersión.

Para que el equipo de trabajo pueda realizar la actividad colaborativa se requiere que los usuarios puedan realizar procesos de alto nivel, entre los cuales se resalta la comunicación entre los miembros del equipo; la coordinación, bajo un conjunto de reglas claras y; compartir la información de manera democrática en el grupo de trabajo [Ray02]. Otro proceso clave es la negociación, el cual define los protocolos que permiten mayor fluidez en los otros procesos [KG06].

Es precisamente en este punto donde el elemento tecnológico soporta la colaboración, a través de mecanismos que apoyen los procesos de la actividad colaborativa. La manera como se implementan estos mecanismos en un sistema CSCW se conoce como artefacto de colaboración, en inglés *shared artefacts* o *common artefacts* [Rob91; SLd03]. En un CVE los artefacto de colaboración pueden ser diseñados siguiendo metáforas cercanas a la realidad [LP98; CS98]. La figura 2.1 ilustra cómo el personaje naranja usa dichos artefactos para realizar la actividad colaborativa, resaltando que estos mecanismos incluyen procesos tanto físicos como cognitivos de interacción. Uno de los principales objetivos de los artefactos compartidos es generar en el equipo de trabajo sentimientos de consciencia (*awareness*) de trabajo en grupo [Sch02], lo que se ilustra como la nube que sale del personaje rojo.

Otro concepto importante que aporta el CSCW es el entendimiento de la actividad colaborativa, donde se debe partir del hecho de que no todas las actividades pueden ser realizadas

en forma colaborativa [Ter95]. De esta forma, es posible plantear actividades donde la colaboración emerja naturalmente, pero también es posible incluir en la actividad propiedades que garanticen la colaboración. El aprendizaje colaborativo asistido por computador, en inglés *Computer Supported Collaborative Learning* (CSCL), ha realizado grandes aportes en el estudio de actividades con dinámicas colaborativas que permiten el desarrollo de habilidades de colaboración en los estudiantes [Col+04; Col+12]. Entonces, es posible incluir en una actividad no académica algunas de estas dinámicas con la finalidad de garantizar la presencia de procesos colaborativos. Así, características de la actividad colaborativa como la participación igualitaria, la responsabilidad individual y la interdependencia positiva, garantizan elementos de colaboración [Col+04; Col+12].

También es necesario considerar los factores espacio temporales ( $t$  y  $s$ ) que definen la actividad colaborativa. Si ésta se realiza en la misma ventana temporal es una actividad sincrónica, en caso contrario la actividad es asíncrona, lo que corresponde en la figura 2.1 a las líneas de trazo interrumpido y punteado perpendiculares al eje  $t$ , respectivamente. En el eje del espacio,  $s$ , se puede realizar la misma lectura, definiendo actividad espacio-coincidentes y remotas. De esta manera es posible clasificar las actividad colaborativas en, 1) de interacción cara a cara, 2) de ejecución continua, 3) de interacción remota y 4) de comunicación y coordinación, a esta clasificación se le conoce como la matriz espacio temporal del CSCW [Rod91; SLB98].

### 2.3. Consciencia (awareness) en un CVE

Recapitulando, el término consciencia (*awareness*) está presente en los tres elementos funcionales de los CVE. Un artefacto de interacción en 3D permite que el usuario logre un nivel adecuado de consciencia con la actividad realizada, un artefacto de inmersión tiene como objetivo generar un proceso cognitivo donde el usuario genere consciencia de estar presente en un VE y un artefacto de colaboración permite que el equipo de trabajo alcance una sensación de consciencia del trabajo en grupo. Así, la consciencia es un elemento que debe permitir relacionar estos tres componentes funcionales y definir cómo éstos trabajan juntos.

De forma general, la consciencia (*awareness*) se puede entender como un proceso y una sensación de alto nivel cognitivo que permite a una persona tener conocimiento de una situación, una cosa u otra persona [SCG12; Cha02]. Este concepto, sin embargo, resulta muy amplio y a la vez ambiguo, por lo cual ha sido necesario acotarlo a contextos y aplicaciones particula-

res [Sch02]. Así, el término consciencia (*awareness*) es utilizado para referirse a dos elementos diferentes pero complementarios, por un lado, los modelos que pretenden explicar el proceso de consciencia sensorial de un usuario, y por otro, los mecanismos diseñados para generar sensaciones de consciencia [Sch02].

En el trabajo en CVE se han tomado principalmente los conceptos de consciencia entendidos desde la VR. Por ejemplo, en VR los mecanismos de consciencia se relacionan con los artefactos de interacción e inmersión (artefacto de I+I). Por eso el mecanismo más extendido para representar elementos de consciencia dentro de un CVE es el modelo de interacción espacial, en inglés *Spatial Model of Interaction* (SMI). Éste propone que todo elemento del entorno virtual (objeto o usuario) tenga una zona de consciencia, aura (*aura*), compuesta por dos zonas diferentes. La primera, el foco (*focus*) que define cómo un usuario/objeto percibe su entorno y la segunda zona, la nube (*nimbus*), que define cómo el usuario/objeto es percibido por los demás [BF93; GB97]. Por ejemplo, en un modelo básico de percepción visual el foco de un usuario es un cono de visión y todo objeto posee una nube esférica que lo rodea.

La figura 2.2 ilustra ese modelo, se observa como cada usuario está rodeado por su nube y su foco emerge de la posición de sus ojos. Así, un usuario se hace consciente de un objeto y de otro usuario sólo si la nube de éste último se encuentra dentro del foco del primero. Por ejemplo, bajo este modelo visual, el usuario B no es consciente de la presencia del usuario D, mientras que el usuario A es consciente de la presencia de los usuarios B y C, pero no lo es del usuario D. Lo anterior evidencia la necesidad de actualizar el foco del usuario a medida que éste se mueve o gira su cabeza, al igual que la nube de un objeto, si éste es manipulado. Entonces, se puede ver cómo este modelo define una relación directa entre la sensación de consciencia y los artefactos de interacción+inmersión, los cuales alteran el foco y la nube de un usuario, y por lo tanto los espacios de percepción sensorial dentro del entorno virtual. Es importante que el modelo tenga en cuenta las limitaciones propias de los sentidos, por ejemplo el aura de los usuarios E, C y F se afecta por la presencias de barreras físicas que impiden el contacto visual [Ben+94a; GB95]. El SMI ha sido extendido desde muchas perspectivas, manteniendo vigentes los conceptos generales del modelo [GB97; BGL97; OODM07; Duv+13].

A pesar de esta aparente extensa conceptualización, existe un gran vacío con respecto a modelos que permitan explicar cómo un usuario logra un nivel de consciencia adecuado dentro de un CVE. Algunos modelos explican de forma general los procesos de inmersión relacionados con los sentimientos de presencia, mencionando tangencialmente la generación de consciencia [Zha03;

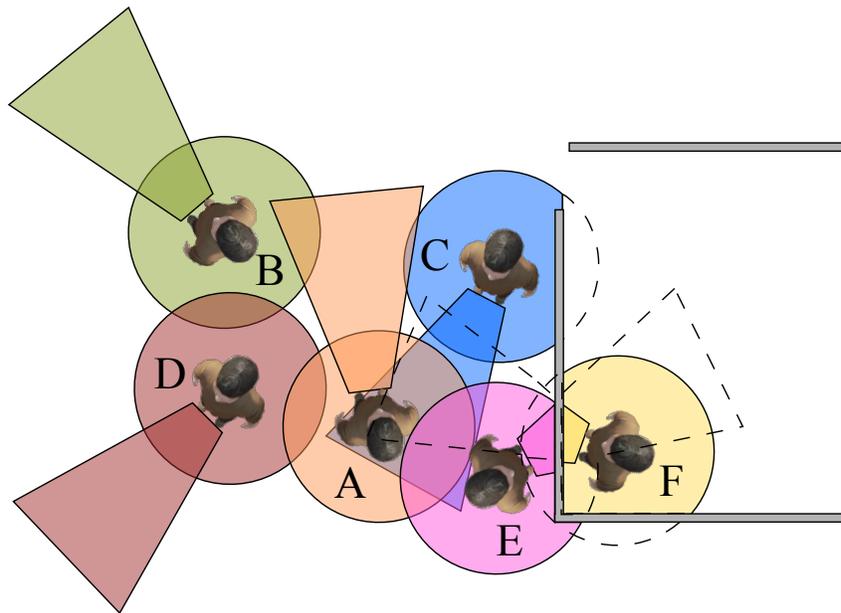


Figura 2.2: Ejemplo del modelo de interacción espacial, *spatial model of interaction*, (SMI), para un sistema básico visual. Las regiones esféricas corresponden a las nubes (*nimbus*) y las regiones cónicas a los focos (*focus*) de los usuarios.

BM07; Bul12]. Lo anterior no ha permitido una integración real a nivel conceptual de los sistemas CSCW y los sistemas de VR, donde los modelos de consciencia desarrollados desde el trabajo colaborativo pueden realizar un aporte que integre las dos ramas de conocimiento.

El CSCW ha definido el sentido de consciencia desde la capacidad que tiene un usuario de involucrarse con una tarea [GB97; Sch02]. Aunque existen diferentes modelos de consciencia [Cha02; Car+06], el concepto más generalizado para explicar cómo un usuario se conecta de forma cognitiva a una actividad, es el de consciencia de la situación, en inglés *Situation Awareness* (SA). Éste explica de forma general los procesos mentales de un usuario cuando opera un sistema, como un modelo por niveles. El primero está dado por la percepción de los elementos relevantes del sistema, el segundo, por la comprensión de dichos elementos, y en el tercer nivel, la capacidad de predecir estados del sistema en un futuro cercano [End88; End95].

Gutwin y Greenberg ajustaron el concepto de SA al contexto del trabajo en grupo, proponiendo en un marco de trabajo (*framework*) con los elementos generales de consciencia en el trabajo colaborativo, denominada consciencia de espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness* (WA) [GG02]. El WA es definido como el conocimiento que tiene un usuario de que otra persona está trabajando con él, a partir de la interacción que la otra persona realiza en el espacio común

de trabajo. De esta forma, se definen los dos elementos principales del WA, la percepción de la otra persona, y la percepción del espacio de trabajo común. Dado que los elementos de WA han sido usados como base conceptual del enfoque de evaluación que se presenta en el capítulo 3, a continuación se describirá los principales elementos del WA [GG02].



Figura 2.3: Modelo de consciencia de espacio de trabajo, *workspace awareness* (WA). Se ilustran los tres componentes del WA y su relación con el ciclo de percepción-acción de Neisser.

El marco de trabajo propuesto por Gutwin y Greenberg está dividido en tres partes, las cuales están soportadas en el ciclo de percepción-acción de Neisser de la siguiente forma. El primer componente, el ambiente, está dado por la información que conforma la consciencia. Así, se define que la consciencia debe tener información de ¿qué?, ¿quién?, ¿dónde?, ¿cómo? y ¿cuándo? se genera un evento de interacción. Dicha información modifica el segundo componente, el conocimiento, que está relacionado con el cómo se recopila la información de la consciencia, y tiene que ver con la capacidad de los usuarios para acceder a la información que está básicamente en todo elemento comunicativo del sistema, es decir los mensajes verbales y corporales y el estado de los artefactos y mecanismos de seguimiento de las acciones. Para cerrar el ciclo, el conocimiento dirige el tercer componente, la exploración, que define cómo el sentimiento de consciencia es usado en la colaboración, mediante actividades que soportan el trabajo colaborativo, las cuales permiten realizar un muestreo del ambiente [GG02]. Así, el

flujo continuo entre los tres elementos permite mantener un nivel adecuado de consciencia de trabajo en grupo [GG02]. La figura 3 ilustra los tres componentes del marco de trabajo del WA y su relación con el ciclo de percepción-acción de Neisser. Con respecto a los usuarios, como elemento activo del WA, y observando cada componente de manera aislada, podemos afirmar que el ambiente es el conjunto de las variables extrínsecas, mientras que el conocimiento representa elementos intrínsecos de los usuarios. Sin embargo, las actividades desarrolladas dependen directamente de los usuarios, y cómo ellos realizan los procesos de colaboración, por esta razón son elementos relevantes para evaluar cómo la interacción afecta la colaboración. Puntualmente, Gutwin y Greenberg presentan cinco (5) actividades que definen cómo el WA apoya la colaboración, las cuales son descritas a continuación.

- *Gestión del acoplamiento (Management of coupling)*. Un proceso importante en la colaboración es cuando el usuario deja de trabajar sólo y logra acoplarse al equipo de trabajo. Este proceso se conoce como la transición entre el trabajo individual y el trabajo grupal. Un artefacto diseñado para permitir un nivel adecuado de WA debe permitir que dicha transición se realice de forma natural y, de esa forma, la colaboración fluya libremente.
- *Simplificación de la comunicación (Simplification of communication)*. La comunicación es uno de los procesos fundamentales de la colaboración, pero es afectada directamente por las restricciones tecnológicas que impiden una comunicación natural. Por esta razón, los mecanismos diseñados de WA deben generar canales alternos de comunicación, los cuales permitan tanto la comunicación tácita, como elementos de comunicación no verbal e implícita.
- *Coordinación de acciones (Coordination of actions)*. La coordinación es otro proceso fundamental de la colaboración, por esta razón el WA debe proveer mecanismos dirigidos principalmente a proporcionar mensajes que permiten mejorar el estado actual del trabajo y permitir el intercambio de información sobre el estado actual del mismo.
- *Anticipación (Anticipation)*. En un equipo de trabajo altamente cohesionado algunas personas pueden predecir lo que la otra persona va a opinar y la estrategia de solución que va a planear. Por lo tanto un mecanismo de WA debe proveer pistas que permitan predecir las interacciones del compañero, para generar una alta conexión y cohesión cognitiva de trabajo en grupo.

- *Asistencia (Assistance)*. En el trabajo colaborativo, el hecho de que un usuario ayude a su compañero es un indicador de un alto grado de colaboración. Por esta razón los mecanismos de WA deben proveer información acerca de quién necesita ayuda y cuál es su problema, para así aportar un ambiente adecuado que facilite que otro usuario lo asista.

Con respecto a los mecanismos definidos desde el CSCW para la generación de consciencia, se han propuesto diversas alternativas y enfoques acotados en aplicaciones puntuales, donde algunas veces se producen guías generales que se espera sean aplicadas en el diseño y construcción de nuevos mecanismos.

Particularmente los artefactos de colaboración, son un concepto extendido y aceptado en CSCW que se refiere a elementos interactivos que permiten mejorar los niveles de consciencia del equipo de trabajo [BS99; Pek03]. Éstos han sido usados como herramienta de diseño de sistemas CSCW ya que permiten encapsular elementos de interacción colaborativa [LP98; SLd03]. En esencia, los artefactos de colaboración son metáforas de interacción, algunas veces inspiradas en elementos del contexto real. Algunos ejemplos muy conocidos son el tele cursor, iconos con emotividad, cuadros de comentarios o mensajes como "Pedro está escribiendo" [LP98; SLd03]. Entonces podemos afirmar, que los artefactos de colaboración son un mecanismo de amplia aceptación para la generación de consciencia en sistemas colaborativos.

Diseñar de forma correcta un artefacto de colaboración no es una tarea trivial, es necesario modelar los proceso de colaboración que van a ser apoyados y construir todo el proceso de interacción que realizan los usuarios [Rob91]. Al respecto, Robinson formuló cinco características deseables de todo artefacto de colaboración [Rob93], las cuales son explicadas a continuación.

- *Predecibilidad (predictability)*. Un artefacto de colaboración, debe tener un mecanismo de interacción intuitivo, donde el usuario pueda predecir cómo usarlo y como interactuar con él.
- *consciencia periférica (peripheral awareness)*. Es importante que la interacción con un artefacto de colaboración no obstruya el foco de la tarea, de forma que el usuario pueda interactuar con éste usando únicamente su atención periférica, reservando la atención central para la tarea principal.

- *Comunicación implícita (implicit communication)*. Un artefacto de colaboración debe proveer canales alternos de comunicación, permitiendo que los usuarios desarrollen de elementos de comunicación implícita.
- *Lenguaje en doble nivel (double level language)*. Un artefacto de colaboración debe permitir un intercambio de información fluido en el equipo de trabajo, que admita una adecuada discusión y facilite procesos de negociación.
- *Vista general (overview)*. Un artefacto de colaboración debe permitir que el usuario tenga una vista general de la tarea colaborativa, lo que debe incluir cómo los otros miembros del equipo están aportando y el estado general de la tarea.

## 2.4. Evaluación de CVE

Se ha afirmado en varios apartes de este documento que los CVE pueden considerarse como una unión de los sistemas de realidad virtual, o ambientes virtuales (VE), y los sistemas CSCW, o groupware. Sin embargo, con respecto a los tres elementos funcionales mencionados en la sección 2.2 (interacción, inmersión y colaboración), los VE son los sistemas más cercanos, ya que poseen dos de estos elementos, la inmersión y la colaboración. Por esta razón, antes de presentar los trabajos previos más relevantes en evaluación de los CVE se presentarán las principales propuestas en el proceso de evaluación de VE.

El enfoque más usado en la evaluación de nuevos métodos y artefactos de interacción+inmersión en entornos virtuales es la evaluación experimental a partir de bancos de pruebas. Esto se evidencia al revisar la memorias los eventos más importantes del área, el IEEE VR, el IEEE 3DUI, el ACM i3D y el ACM VRST, donde más del 95% de las nuevas propuestas de artefactos de I+I son evaluadas usando procesos experimentales con bancos de pruebas.

Uno de los primeros trabajos que realizó una definición de un método de evaluación para VE usando banco de pruebas fue la propuesta de Poupyrev y col. [Pou+97]. Ellos presentan una guía de evaluación para la manipulación de objetos en VE que llamaron *Virtual Reality Manipulation Assessment Testbed (VRMAT)*. De forma general, proponen el uso de bancos de pruebas experimentales, tomando como unidad atómica de la evaluación, una instancia del experimento que evalúa un conjunto específico de parámetros. Así, se define un conjunto de métricas de rendimiento del usuario, las cuales son tomadas como variables dependientes

del experimento que son función del conjunto específicos de parámetros. Al cambiar un valor específico de un parámetro se genera un nuevo experimento, el cual a su vez genera un nuevo listado de valores para las métricas evaluadas. Este procedimiento se repite para todas las combinaciones de los parámetros a considerar y para todo el grupo de usuarios que participan en la evaluación, dando origen al banco de pruebas (*testbed*). La propuesta de Poupyrev y col. involucra parámetros a ser considerados, el número de objetos, el tamaño, la distancia, el porcentaje de oclusión y la orientación. En cuanto a las métricas a ser evaluadas entre las alternativas propuestas están el tiempo de la tarea, la precisión y el porcentaje de errores. Además, sugieren incluir algunos datos subjetivos obtenidos a través de cuestionarios como la facilidad de uso, la facilidad de aprendizaje y el sentido de presencia [Pou+97].

Posteriormente, Bowman y col. fueron quienes definieron un esquema general de evaluación de técnicas de interacción para VE usando bancos de pruebas [BJH99; BJH00; BGH02]. La propuesta presentada por ellos definió un proceso que puede ser aplicado para evaluar un artefacto de interacción diseñado para cualquiera de las 4 tareas de interacción 3D [BJH99; BJH00; BGH02]. La propuesta de Bowman y col. se estructura en el procedimiento que se explica a continuación.

1. *Evaluación inicial.* El primer paso es la realización de una evaluación preliminar que permita un entendimiento completo de la tarea de interacción para la cual va dirigido el proceso. Esta evaluación puede ser realizada de forma interna a partir de la experiencia del investigador/desarrollador o con pruebas con usuarios.
2. *Definición de una taxonomía.* El siguiente paso es definir una taxonomía acotada al problema de interacción a ser evaluado. Es necesario descomponer la tarea en sub-tareas, donde cada una de ellas representa una decisión en el diseño de la interacción. La definición de la taxonomía debe ser resultado de un detallado proceso de análisis.
3. *Análisis de factores externos.* En este punto es necesario determinar aquellos elementos externos que afectan la tarea de interacción. Bowman y col. los dividen en cuatro, características la tarea (distancia, tamaño de los objetos, velocidad), características del entorno (obstáculos, iluminación, movimiento), características del usuario (edad, condiciones cognitivas, problemas visuales) y características del sistema (calidad gráfica, equipos empleados).

4. *Definición de métricas.* Una etapa importante de la evaluación es especificar cómo va a ser medida la tarea de interacción realizada por el usuario. Es necesario construir un conjunto de métricas, que aporten múltiple información de la tarea, para poder realizar un análisis completo. El conjunto de métricas definido puede ser de naturaleza cualitativa o cuantitativa, y venir de una fuente objetiva, como el registro de toda interacción realizada en el sistema; o de una subjetiva, como la apreciación que hace el usuario.
5. *Ejecución del banco de pruebas.* Posteriormente, es necesario realizar todo el proceso de experimentación con los usuarios. Así, se define un conjunto de variables independientes a partir de los elementos taxonómicos definidos y los factores externos a considerar, y se establecen como variables dependientes, cada elemento del conjunto de métricas definido. La idea es usar un mismo esquema evaluativo para cada valor de interés de una variable independiente. Se debe realizar una instancia del experimento para cada valor de cada una de las variables independientes definidas, repitiendo este proceso a cada usuario, es decir se ejecuta el banco de pruebas (*testbed*).
6. *Análisis de resultados.* Por último, es necesario realizar un completo análisis de los datos, recordando que cada métrica se considera una variable dependiente en el banco de pruebas. De esta forma, es posible identificar para cada métrica, qué configuración de variables independientes genera el mejor resultado. Adicionalmente, los resultados pueden ser generalizados en heurísticas y lineamientos de diseño, los cuales, junto con los resultados cuantitativos, pueden ser aplicados en el desarrollo de nuevos ambientes virtuales. Así, a partir del análisis de procesos experimentales con usuarios se desarrollan aplicaciones más usables en las que se considera al usuario como elemento central del desarrollo.

Aunque ha primado la aplicación del banco de pruebas como método evaluativo para VE, se han desarrollado otras propuestas que han tenido como foco la usabilidad. Gabbard et al. presenta un modelo que denominan “centrado en el usuario” (*user centered*) [GHS99]. La principal contribución de este enfoque es la unión de la evaluación heurística realizada por expertos, una formativa centrada en el usuario, y una evaluación final sumativa. De esta forma el esquema propuesto es una evaluación por cascada. En una primera etapa se realiza un análisis de la tarea de interacción, la cual genera los lineamientos a ser usados por la evaluación heurística por expertos. Como salida de la evaluación de los expertos se producen escenarios representativos de interacción, que sirven para el diseño de la evaluación formativa. Este segundo paso es

realizado por el equipo de desarrollo y tiene como finalidad hacer ajustes a los procesos de interacción, pero integrando al usuario en los procesos de evaluación. Por último, se realiza una evaluación sumativa con usuarios, con el objetivo de verificar los procesos de interacción y ajustar parámetros [GHS99]. Este esquema de evaluación propuesto fue aplicado por Gabbard et al. en la evaluación de un VE para aplicaciones médicas [Gab+99].

Otro caso representativo de evaluación de un VE es el presentado por Sutcliffe y col. [Sut+06], en el cual se evalúa el comportamiento de los usuarios al organizar piezas de ajedrez en un tablero. En este caso, se evaluó el desempeño de los usuarios al realizar la tarea de interacción en el mundo real y en un mundo virtual, en un CAVE, en el que además se consideraron dos condiciones la presencia/ausencia de feedback háptico y la representación virtual de las manos del usuario. La evaluación se basó en la observación del comportamiento del usuario, para lo cual éstos eran grabados mientras realizaban la tarea y posteriormente eran analizados los videos buscando aciertos y errores en el movimiento de las piezas. En otro estudio, estos mismos autores proponían un esquema completo de evaluación heurística para VE [SG04]. El enfoque de la evaluación es extender la propuesta de Nielsen con 12 heurísticas específicas para los VE, las cuales son: el compromiso con la naturalidad, la compatibilidad con el dominio de la tarea del usuario, la expresión natural de las acciones, la cercanía entre la acción y su representación, la retroalimentación realista, la fidelidad en los puntos de visualización, el apoyo a la navegación y la orientación, las salidas y entradas claramente señaladas, las salidas del ambiente consistentes, el apoyo al aprendizaje y la claridad en los cambios a modo asistido por el sistema y el sentido de presencia [SG04].

Otras propuestas se han centrado en la evaluación de las sensaciones de presencia y co-presencia generados por los VE, donde los enfoques de evaluación se han orientado principalmente a evaluación subjetiva por medio de la aplicación de cuestionarios [Sch+01b]. La principal dificultad con este tipo de enfoque es que los cuestionarios son generalmente diseñados por los mismos investigadores y validados experimentalmente al comparar las respuestas de dos grupos de usuarios, el grupo control que realiza una actividad en contexto real y un grupo de prueba inmerso en un VE [WS98; GMH01; BHB03]. Lo anterior origina que algunos investigadores cuestionen el procedimiento usado para validar el cuestionario [Sla99]. Otro enfoque consiste en tomar medidas biométricas de los usuarios, las cuales se correlacionan con la sensación de presencia, tales como frecuencia cardíaca, temperatura de la piel, conductividad de la piel, etc. [Sch+01b].

Con relación a los enfoques de evaluación aplicados a los CVE, es importante mencionar que éstos han tomado elementos de las propuestas anteriormente presentadas como son: una evaluación de usabilidad para el elemento de interacción, ya sea por banco de pruebas o heurística, y algunos elementos evaluativos de presencia y co-presencia y, adicionalmente, introducen elementos de evaluación de la colaboración.

Schroeder y col. [Sch+01a] presentan una evaluación del trabajo colaborativo realizado por dos usuarios al ejecutar la tarea de resolver un cubo de Rubik en tres escenarios diferentes: ejecución real cara a cara, un usuario en un computador de escritorio y el otro en un CAVE y los dos usuarios en CAVEs separados. En este caso la evaluación se centró en el desempeño del equipo al ejecutar la tarea y la sensación de presencia y co-presencia, las cuales fueron evaluadas a partir de un cuestionario que diligenciaban los usuarios al terminar el experimento.

Tromp y col. presentan un enfoque basado en evaluación sistemática de usabilidad [TSW03]. La propuesta es el resultado de la generalización de las experiencias de los autores en la aplicación de un proceso de evaluación formativa a un proyecto puntual. El procedimiento presentado fue realizado en cada uno de los prototipos desarrollados, lo que permitió presentar un análisis longitudinal (en el tiempo). La evaluación se orientó a la inspección de usabilidad, donde el recorrido cognitivo (*walkthrough method*) y la evaluación heurística fueron los métodos utilizados. Cabe resaltar que algunos aspectos de inmersión y colaboración fueron tenidos en cuenta durante la evaluación por inspección [TSW03].

Goebbels y col. presentan una guía de evaluación general para un CVE [GLM01]. El procedimiento propuesto se divide en tres etapas. En la primera sesión, de interacción, expertos observan e interactúan de manera independiente con el CVE. Parte del proceso incluye también que evaluadores no expertos operen el sistema y sean observados por los evaluadores expertos. Luego, en la segunda sesión, de co-presencia, un usuario novato realiza una tarea guiado por un usuario experto, sin que este último intervenga directamente en la ejecución de la tarea. En la tercera sesión, de co-trabajo, los dos usuarios realizan una tarea en forma colaborativa. Durante estas dos últimas sesiones el grupo de evaluadores expertos observan todo el proceso, tomando notas y llenando formularios de preguntas puntuales. Al finalizar el proceso, los usuarios son sometidos a un cuestionario con el fin de obtener información subjetiva de inmersión y usabilidad [GLM01]. Este procedimiento fue aplicado posteriormente en la evaluación de un CVE médico para dos usuarios [GLG03].

Más recientemente, Himech and Merienne [HM10; HAM10; HAM11] proponen realizar una evaluación sumativa para determinar cómo es afectada la experiencia de usuario en la ejecución de una tarea colaborativa cuando se varían las metáforas de interacción (selección y navegación). Entre las variables propuestas para la evaluación se incluyen: co-presencia, conciencia/participación, usabilidad, satisfacción, preferencia, esfuerzo colaborativo y presencia social. Estas variables fueron evaluadas por un conjunto de métricas que se obtuvieron por varias estrategias como son la observación del usuario, un sistema de monitoreo y las respuestas a un cuestionario subjetivo.



## Capítulo 3

# Enfoque CD-CAA para la evaluación de CVE, un cambio de perspectiva

*“To evaluate a class of objects, it helps to have some understanding of what those objects are.”*

*[Ram99]*

Como se evidenció en el capítulo 2, la evaluación de un ambiente virtual colaborativo, en inglés *Collaborative Virtual Environment* (CVE), ha estado principalmente orientada hacia el diagnóstico independiente de sus tres componentes funcionales: interacción, inmersión y colaboración, aun cuando se reconoce que el objetivo principal de los CVE es el trabajo en grupo dentro de un entorno virtual, en inglés *Virtual Environment* (VE) [GB97; CS98; Ben+01; Dan+08; NPM10; HM10; Duv+13]. Este capítulo presenta el enfoque metodológico de evaluación para los CVE denominado diagnóstico de la conformidad de los artefactos de consciencia compartida, en inglés *Conformity Diagnosis of Common Awareness Artefacts* (CD-CAA), el cual se propone como una herramienta para desarrolladores e investigadores en interacción tridimensional (3D) que permite responder a la pregunta ¿cómo un artefacto de interacción e inmersión (I+I) afecta la colaboración?. El cual, es el resultado del proceso metodológico, guiado por casos de estudio, que se describe en el capítulo 4 y que se presenta con detalle en los capítulos 5 a 8 de este documento.

El enfoque CD-CAA consta de cuatro (4) elementos: un modelo conceptual, que tomando la colaboración como objetivo central del proceso evaluativo, introduce y describe las nociones de pirámide de consciencia del espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness Pyramid* (WAP)

y artefactos de consciencia común o artefactos de consciencia compartida, en inglés *shared-awareness artefacts*(SAA) o *common-awareness artefacts* (CAA); un conjunto de indicadores, soportados sobre el modelo conceptual, que se proponen cómo herramienta para diagnosticar el nivel de colaboración de un equipo de trabajo en un CVE; un procedimiento, que define los pasos para realizar la experimentación con usuarios y; un conjunto de lineamientos que guían la correcta aplicación de este enfoque. En las diferentes secciones que conforman este capítulo se describen en detalle cada uno de estos elementos.

### 3.1. Modelo Conceptual

El desarrollo del enfoque propuesto parte de un cambio en la perspectiva de evaluación de los CVE, el cual considera la colaboración como resultado de una relación causa-efecto con los procesos de inmersión e interacción, tal y como se expresa en la ecuación 3.1.

$$collaboration = f(inmersion, interaction); \quad (3.1)$$

Esta relación asume que todos los procesos de interacción e inmersión afectan de una u otra manera los procesos de colaboración. Teniendo en cuenta que en un CVE todo proceso de interacción e inmersión realizado por un usuario es mediado a través de uno o más artefacto de I+I, tal relación de causalidad puede entonces definirse como,

$$collaboration(team) = \int_{\forall m \in team} artefact_{I+I}(m, CF); \quad (3.2)$$

donde, la colaboración de un equipo de trabajo ( $collaboration(team)$ ), se establece en función de la interacción de cada miembro con cada artefacto de I+I ( $artefact_{I+I}$ ); la cual a la vez depende no sólo de las condiciones propias del usuario, miembro del equipo ( $m$ ), sino de los factores de la colaboración ( $CF$ ). Estos últimos corresponden a los factores externos e internos que afectan la forma en que cada miembro del equipo ( $m$ ) interacciona en forma colaborativa, tales como las características de la tarea colaborativa, el entorno virtual, la precisión de los dispositivos, entre otros. Se aclara que la notación  $\int$  no se refiere a la operación matemática de integración, sino al hecho de hacer un análisis “integrador” para todo el equipo, de los procesos realizados de forma individual por cada uno de sus miembros.

Como resultado de este cambio de perspectiva emerge el concepto de pirámide de consciencia del espacio de trabajo que se presenta a continuación.

### 3.1.1. Pirámide de consciencia del espacio de trabajo

A partir de la relación de causalidad planteada en la ecuación 3.2 se propone la “pirámide de consciencia del espacio de trabajo”(WAP), que se ilustra en la figura 3.1. La cual se concibe como un modelo que explica los procesos cognitivos de consciencia, en inglés *awareness*, que experimenta un usuario cuando realiza una actividad colaborativa en un CVE. El modelo exhibe tres (3) componentes principales: el primero corresponde a una escala de cuatro (4) niveles de consciencia del trabajo colaborativo, cada uno indicando el grado de inmersión que un usuario podría desarrollar cuando participa en la ejecución de una tarea colaborativa en un CVE. El segundo se refiere a los CAA, definidos como artefactos diseñados para una interacción colaborativa que, además de soportar las funciones de interacción e inmersión (I+I), proveen los mecanismos necesarios para que el usuario pueda alcanzar el nivel más alto de consciencia, la consciencia del trabajo en grupo. En otras palabras, son artefactos de I+I, que a su vez son un artefacto de colaboración, en inglés *shared artefacts* o *common artefacts*. Por último, el tercer componente, involucra el concepto de consciencia de espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness* (WA), propuesto por Gutwin y Greenberg [GG02], pero en este modelo se redefine como un proceso que describe una espiral ascendente, a medida que se supera cada uno de los niveles de consciencia.

El proceso de ascenso a niveles cada vez más altos de consciencia es ilustrado en la imagen de la izquierda de la figura 3.1. En el primer nivel el usuario deberá superar la sobrecarga cognitiva que supone el involucrarse con los mecanismos o artefactos de consciencia compartida (CCA), de forma tal que pueda realizar de forma sencilla, casi natural, tareas tanto individuales como colectivas. Superado este nivel, el usuario debería generar la sensación de presencia personal, es decir debería sentir que hace parte del entorno virtual o mejor aún que se encuentra presente en el lugar donde se desarrollan las tareas a cumplir. En el tercer nivel concurren dos procesos de consciencia que a la vez son independientes, es decir no necesariamente se realizan de forma simultánea. El primero de ellos, es la sensación de co-presencia, que se refiere a la capacidad que debe desarrollar el usuario de sentirse acompañado por su equipo, de forma tal que pueda saber dónde se encuentran los demás miembros con respecto a él. En el segundo proceso de este nivel, se introduce el concepto de enlace al trabajo individual, que se refiere al hecho de que el usuario se involucre con las actividades propias e individuales, es decir, que éste pueda ir más allá de la interacción básica en un ambiente 3D de forma que pueda comprender cómo, a partir de las tareas de interacción 3D, se realizan actividades más complejas. En el cuarto

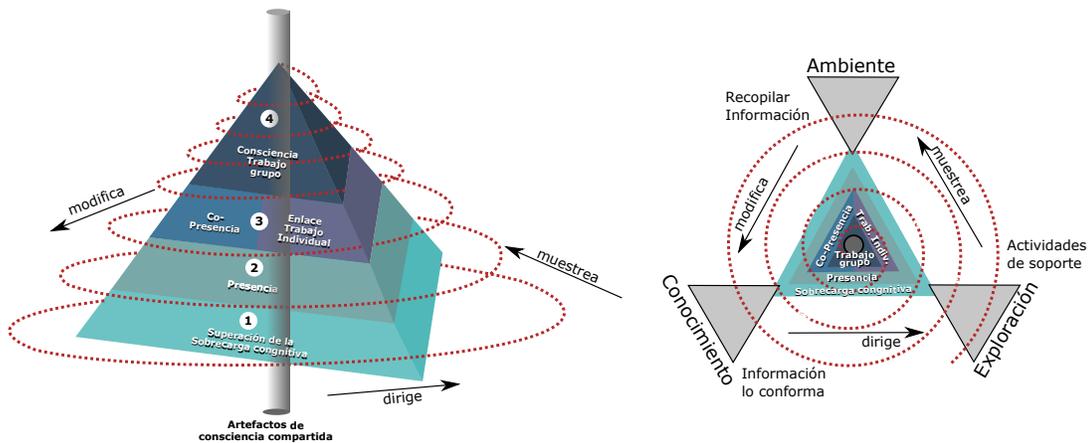


Figura 3.1: Ilustración del modelo de pirámide de consciencia en un CVE, que integra los conceptos de consciencia desde el punto de vista de la VR y el CSCW. A la izquierda, una vista en perspectiva, donde se pueden observar los cuatro niveles que la conforman, y cómo el proceso de ascenso por la pirámide se realiza siguiendo una espiral que representa lo elementos cíclicos del WA. En la derecha, una vista superior, en la cual se observa claramente su relación con el modelo de WA. Los CAA, se ilustran como un columna de apoyo a al pirámide, transversales a todos los niveles de consciencia

y último nivel, se encuentra la sensación de consciencia del trabajo en grupo; en este nivel se espera que cada usuario se sienta miembro del equipo y por consiguiente, asuma que tiene una responsabilidad para el desarrollo de la tarea y además, que puede contar con el apoyo de sus compañeros. De esta forma se puede afirmar que el nivel más alto de la pirámide, corresponde al grado más profundo de inmersión, es decir a una completa sensación de inmersión colaborativa. Los CAA, transversales a todos los niveles de consciencia, deben entonces soportar el proceso de ascenso para alcanzar el más alto nivel de consciencia, la consciencia de trabajo en grupo, el WA, como se ilustra en la figura 3.1. Por esta razón, más allá de proveer herramientas para permitir la interacción con el entorno 3D, los CAA deben estar diseñados para favorecer una interacción colaborativa e implementar mecanismos que permitan a los usuarios alcanzar el nivel de consciencia de trabajo en grupo.

Como se puede observar, el proceso de ascenso de un nivel a otro describe una espiral ascendente, resultado de realizar repeticiones del flujo definido por el marco de trabajo del WA, descrito en la sección 2.3 de este documento. Brevemente, cuando un usuario entra a un CVE, posee un conocimiento previo de lo que tiene y desea hacer, lo cual dirige una exploración

que se realiza a partir del desarrollo de actividades que soportan la colaboración y permiten un muestreo del ambiente. Para cerrar el ciclo, el estado del ambiente modifica el conocimiento con la información que es recopilada mediante los diferentes canales de comunicación y el ciclo se repite mientras se asciende en los diferentes niveles de consciencia propuestos.

## 3.2. Diagnóstico de la colaboración en un CVE

De acuerdo al modelo conceptual propuesto en la sección anterior, los artefactos de consciencia compartida (CAA) son la columna que soporta el proceso de ascenso en la pirámide de consciencia del espacio de trabajo (WAP). De forma general, éstos se definieron como artefactos de interacción que soportan la colaboración, lo cual conlleva implicaciones importantes. La primera se genera en su definición, un CAA es un artefacto de interacción, es decir son los elementos físicos (hardware), lógicos (software) y conceptuales que permiten interactuar y percibir el VE. Una segunda implicación es que un CAA es un artefacto de colaboración, es decir un elemento metafórico e interactivo que facilita la sensación de consciencia durante una actividad colaborativa. La última implicación es que para soportar un adecuado ascenso por la WAP, un CAA debe apoyar el ciclo de percepción-acción del WA. En tal sentido, el diagnóstico de la colaboración propuesto en el enfoque CD-CAA se centra en evaluar de qué manera los CAA cumplen con un conjunto de características que soportan la interacción colaborativa y el desarrollo del ciclo de percepción-acción del WA .

### 3.2.1. Propiedades de un artefacto de consciencia compartida

De acuerdo a su definición, un CAA es un artefacto de interacción colaborativa, y a su vez es un artefacto que promueve una inmersión colaborativa. Con lo cual, las características deseables de un CAA, en función de la colaboración, pueden ser analizadas de estas dos dimensiones, la interacción y la inmersión.

Dada su dimensión como artefacto de interacción colaborativa, un CAA debe asimilarse a un artefacto de colaboración, el cual es definido como un elemento de interacción que debe permitir un adecuado trabajo en grupo [Rob93]. Para que ésto sea posible, Robinson afirma que un artefacto de colaboración correctamente diseñado debe cumplir con cinco (5) característi-

cas [Rob93], las cuales, desde este momento serán asociadas como deseables para un CAA, y son explicadas a continuación.

- *Predecibilidad (predictability)*. Un CAA, debe tener un mecanismo de interacción intuitivo, donde el usuario pueda predecir cómo usarlo y cómo interactuar con él.
- *Consciencia periférica (peripheral awareness)*. Es importante que la interacción con un CAA no obstruya el foco de tarea, de forma que el usuario pueda interactuar con éste usando únicamente su atención periférica, reservando la atención central para la tarea principal.
- *Comunicación implícita (implicit communication)*. Un CAA debe proveer canales alternos de comunicación, permitiendo que los usuarios desarrollen elementos de comunicación implícita.
- *Lenguaje de doble nivel (double level language)*. Un CAA debe permitir un intercambio de información fluido en el equipo de trabajo, que admita una adecuada discusión y facilite procesos de negociación.
- *Vista general (overview)*. Un CAA debe permitir que el usuario tenga una vista general de la tarea colaborativa, lo que debe incluir cómo los otros miembros del equipo están aportando y el estado general de la tarea.

Adicionalmente, debido a su dimensión como artefacto que promueve la inmersión colaborativa, un CAA debe soportar el ciclo de percepción-acción del WA definido por Gutwin y Greenberg [GG02]. De forma tal que sí el ciclo de percepción-acción del WAP se realiza de forma fluida, el ascenso por los niveles de consciencia se produce de igual manera, describiendo una espiral ascendente. Uno de los elementos fundamentales en el proceso descrito por Gutwin y Greenberg, es el soporte que el WA hace al trabajo en grupo, definido por un conjunto de actividades, cuya presencia establece indicadores de un nivel adecuado de consciencia [GG02], y dada la correspondencia planteada con el modelo de WAP, un nivel adecuado de inmersión colaborativa. En este sentido, también se establecen como características deseables de un CAA el promover tales actividades, las cuales se describen a continuación.

- *Gestión del acoplamiento (Management of coupling)*. Un proceso importante en la colaboración es cuando el usuario deja de trabajar sólo y logra acoplarse al equipo de trabajo.

Este proceso se conoce como la transición entre el trabajo individual y el trabajo grupal. Un CAA diseñado para permitir un nivel adecuado de WA permite que dicha transición se realice de forma natural y, de esa forma, la colaboración fluya libremente.

- *Simplificación de la comunicación (Simplification of communication)*. La comunicación es uno de los procesos fundamentales de la colaboración, y es afectada directamente por las restricciones tecnológicas que impiden una comunicación natural. Por esta razón, los CAA deben generar canales alternos de comunicación, los cuales permiten tanto la comunicación tácita, como elementos de comunicación no verbal e implícita.
- *Coordinación de acciones (Coordination of actions)*. La coordinación es otro proceso fundamental de la colaboración, por esta razón un CAA debe definir mecanismos dirigidos principalmente a 1) proporcionar mensajes que permiten mejorar el trabajo y 2) permitir el intercambio de información sobre el estado actual del trabajo.
- *Anticipación (Anticipation)*. En un equipo de trabajo altamente cohesionado algunas personas pueden predecir lo que la otra persona va a opinar y la estrategia de solución que va a planear. Por lo tanto un CAA debe facilitar pistas que permitan predecir las interacciones del compañero, para generar una alta conexión y cohesión cognitiva de trabajo en grupo.
- *Asistencia (Assistance)*. En el trabajo colaborativo, el hecho de que un usuario ayude a su compañero es un indicador de un alto grado de colaboración. Por esta razón un CAA deben proveer información que permita identificar quién necesita ayuda y cuál es su problema, para así aportar un ambiente adecuado que facilite que otro usuario lo asista.

### 3.2.2. Indicadores de colaboración de un CAA

Regresando al inicio de este capítulo, el enfoque CD-CAA ha sido planteado como una herramienta que permite responder el interrogante ¿cómo un artefacto de I+I afecta la colaboración?, estableciendo una relación donde la colaboración es vista como función de la inmersión y la interacción de un usuario a través de artefactos de I+I (ecuación 3.2). Lo que indica que, aun cuando dicho artefacto no haya sido diseñado específicamente para soportar la colaboración, la afecta por ser parte integral del CVE. Por esta razón, en esta instancia se propone diagnosticar

la colaboración soportada por un artefacto de I+I a partir de una evaluación de qué tanto se aproxima su comportamiento al de un CAA correctamente diseñado.

Bajo este enfoque, para responder el interrogante ¿cómo un artefacto de I+I afecta la colaboración?, es necesario considerar al artefacto de I+I como un CAA, y verificar en qué grado se cumple con las características deseables, previamente definidas. Así, se plantea un conjunto de diez (10) indicadores, cinco (5) asociados a diagnosticar la interacción colaborativa y los otros cinco (5) a diagnosticar el nivel de inmersión colaborativa. La tabla 3.1 presenta el conjunto completo de indicadores, donde se puede observar que éstos están orientados a verificar el cumplimiento de cada una de las propiedades de un CAA, descritas en la sección 3.2.1. Se debe aclarar que el conjunto de indicadores presentado corresponde a indicadores conceptuales de alto nivel, los cuáles deben ser implementados a partir de métricas específicas en cada caso de estudio. De esta forma, cada indicador puede tener asociado una o más métricas concretas. Se recomienda que el cálculo de cada métrica se encuentre acotada en un rango de  $[0 - 1]$ , donde 1 indique el cumplimiento total de la propiedad del CAA, medida bajo dicho indicador, y 0 el incumplimiento total de la misma. Así, cada indicador permite un diagnóstico de los procesos de colaboración asociados a un artefacto de I+I específico, para un equipo de trabajo y unas condiciones de colaboración dadas, lo que permite plantear la ecuación 3.2, de la siguiente forma,

$$collaboration(team) = \int_{\forall m \in team} \left\{ \begin{array}{l} IT_1^C(m, CF) \\ \vdots \\ IT_1^C(m, CF) \\ IM_5^C(m, CF) \\ \vdots \\ IM_5^C(m, CF) \end{array} \right\} \Big|_{artefact_{I+I}} \quad (3.3)$$

donde, la colaboración de un equipo de trabajo ( $collaboration(team)$ ), se establece al hacer un análisis “integrador” para todo el equipo ( $\int$ ), de los indicadores de interacción ( $IT_i^C$ ) e inmersión ( $IM_i^C$ ) para cada artefacto de I+I ( $artefact_{I+I}$ ), los cuales dependen de las condiciones propias del usuario ( $m$ ) y de los factores de la colaboración ( $CF$ ).

Lo anterior permite un análisis independiente de cada indicador, lo que provee un diagnóstico diferenciado de cada una de las propiedades del artefacto de conciencia compartida (CAA). Sin

Indicadores de colaboración de unCAA	
Inmersión Colaborativa	Interacción Colaborativa
$IM_1^C$ Acoplamiento del equipo	$IT_1^C$ Predecibilidad
$IM_2^C$ Simplificación de la comunicación	$IT_2^C$ Consciencia periférica
$IM_3^C$ Coordinación	$IT_3^C$ Comunicación implícita
$IM_4^C$ Anticipación	$IT_4^C$ Negociación
$IM_5^C$ Asistencia	$IT_5^C$ Vista general

Tabla 3.1: Indicadores de colaboración de un artefacto de conciencia compartida (CAA). Cada indicador está orientado a diagnosticar el cumplimiento de las propiedades de un CAA descritas en la sección 3.2.1.

embargo, si se desea un análisis global de la colaboración, es posible hacerlo calculando un índice de colaboración ( $CI$ ) de la siguiente forma,

$$collaboration(team) = \int_{\forall m \in team} CI(m, CF)|_{artefact_{I+I}} \quad (3.4)$$

donde el índice de colaboración ( $CI$ ) es calculado como una suma ponderada, usando la siguiente expresión,

$$CI(m, CF)|_{artefact_{I+I}} = \sum_{i=1}^5 W_i^{IT} IT_i^C(m, CF) + \sum_{j=1}^5 W_j^{IM} IM_j^C(m, CF)|_{artefact_{I+I}} \quad (3.5)$$

los pesos,  $W_i^{IT}$  y  $W_j^{IM}$  pueden ser asignados por la experiencia del investigador/desarrollador o ser calculado a partir de los datos experimentales.

### 3.2.3. Relación entre los indicadores de colaboración y los niveles de consciencia de la WAP

Teniendo en cuenta que los artefactos de conciencia compartida (CAA) soportan el ascenso cognitivo de cada uno de los miembros del equipo de trabajo por los niveles de consciencia. Resulta relevante demostrar la relación entre los indicadores de la colaboración propuestos en la sección 3.2.2 y tales niveles de consciencia. La figura 3.2 ilustra dicha relación. Se observa una

vista lateral de la pirámide con los indicadores ubicados a la derecha (interacción colaborativa) e izquierda (inmersión colaborativa).

En el primer nivel, la propiedad de predecibilidad de un CAA permite evaluar la superación de la sobrecarga cognitiva, en inglés *cognitive overload* impuesta por el CAA. En el segundo nivel se encuentra la sensación de presencia del usuario; recordando, como se mencionó en la sección 2.2.2, que el concepto de presencia es complejo y existen debates sobre su definición, y dado que el modelo de WAP está orientado al diagnóstico de la colaboración, se realiza una relación apoyado en el concepto de presencia social, que es definida en función de la calidad de la interacción con otra persona, cuando ésta se realiza a través de un medio de comunicación [BHB03; NB03]. Así, una comunicación transparente sería el indicador ideal de presencia social, por tal razón los indicadores de comunicación implícita y simplificación de la comunicación son adecuados para determinar este nivel de consciencia. En el tercer nivel, se mapean cuatro (4) indicadores, los dos (2) indicadores de inmersión colaborativa (anticipación y coordinación) permiten definir una clara relación entre los proceso de colaboración y la sensación de co-presencia. Por su parte, los dos (2) indicadores de interacción (consciencia periférica y vista general) definen el grado de participación de cada usuario con sus responsabilidades en la actividad colaborativa. En el último nivel se encuentran los indicadores relacionados con el nivel más alto de consciencia colaborativa: acoplamiento, asistencia y negociación, lo cuales permiten establecer que se ha alcanzado el mayor nivel de consciencia del trabajo colaborativo.

### 3.3. Procedimiento

Como se evidenció en el capítulo 2, el procedimiento metodológico más usado en la evaluación de nuevos y modelos de interacción en 3D, es la evaluación experimental por banco de pruebas. Teniendo en cuenta que el enfoque de evaluación CD-CAA está dirigido a investigadores y desarrolladores en el área de la interacción en 3D, se propone como procedimiento una adaptación de la evaluación experimental por banco de pruebas descrito por [BJH99; BGH02], el cual se presenta a continuación.

1. *Evaluación inicial.* El primer paso es la realización de pruebas internas del sistema y de los artefactos de interacción. Esta evaluación preliminar tiene como objetivo ajustar los procesos de interacción que aunque no hacen parte de la evaluación, un error de diseño o implementación pueden afectar el desempeño de un usuario y sesgar toda la evaluación.

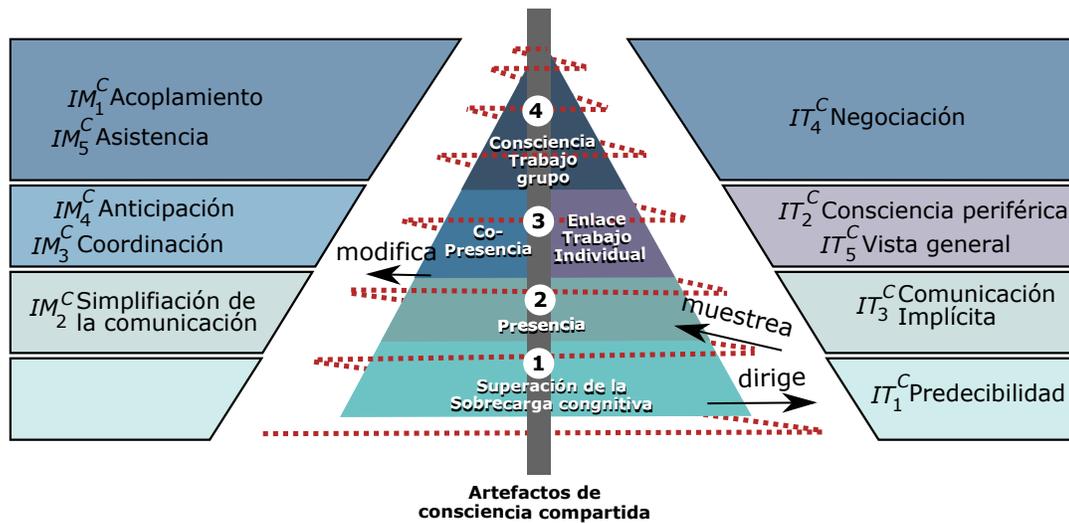


Figura 3.2: Relación entre los indicadores colaboración de un CAA y los niveles de consciencia de la WAP. Se presenta un vista lateral de la pirámide de consciencia del espacio de trabajo(WAP), donde las líneas punteadas ilustran el espiral ascendente del ciclo de percepción-acción del WA. Al lado derecho de la pirámide se ubican los indicadores de interacción colaborativa ( $IT_i^C$ ) y al lado izquierdo los indicadores de inmersión colaborativa ( $IM_j^C$ ), indicado el nivel de consciencia que cada indicador permite diagnosticar.

Por ejemplo, si lo que se desea es evaluar cómo un artefacto de manipulación afecta la colaboración, los artefactos de visualización inmersiva deben estar trabajando correctamente, porque aunque no son el foco del estudio, errores en ellos afectan negativamente la evaluación.

2. *Diseño de la actividad colaborativa.* Este es un paso fundamental del proceso, y debe ser resultado de un cuidadoso proceso de análisis y diseño por parte del equipo de evaluación. Se debe considerar que la actividad colaborativa va a ser el ambiente controlado de estudio, por eso un error en el diseño de esta actividad puede entregar resultados errados o incoherentes del proceso de evaluación. En el diseño de la actividad colaborativa se debe tener en cuenta que el artefacto de I+I a ser evaluado deber ser parte central en la realización de la tarea. También es fundamental que la actividad diseñada garantice elementos de colaboración, en otras palabras, que la actividad deba ser realizada en forma colaborativa. Para eso es necesario diseñar actividades donde se incluyan preferiblemente

características como responsabilidad individual, igual participación e interdependencia positiva [Col+04; Col+12].

3. *Análisis de los factores de colaboración.* En un CVE existe un gran número de factores que pueden afectar la colaboración. Algunos de ellos son propios del artefacto de I+I que se está evaluando y otros de la actividad colaborativa diseñada, por ejemplo, precisión del hardware. Otros, son factores externos como el tamaño del entorno virtual, la apariencia del avatar, iluminación del entorno virtual, entre otros. El análisis de estos factores permite definir cuáles de éstos son relevantes para procesos de evaluación, y por lo tanto son variables independientes que deben ser consideradas en el banco de pruebas. Otros factores no son relevantes y por lo tanto es necesario incluir en el proceso de experimentación elementos que minimicen su impacto en la colaboración. Por ejemplo, si el escenario virtual afecta la colaboración, pero no es una variable de interés, debe minimizarse su efecto en la actividad colaborativa, y además se podría realizar la evaluación en varios escenarios, para que las conclusiones sean independientes de dicho factor.
4. *Definición de métricas.* Una vez definida la actividad colaborativa y establecidos los factores que afectan la colaboración relevantes a la evaluación, es necesario especificar el conjunto de métricas a ser empleado. Para esto es necesario evaluar el artefacto de I+I desde la óptica de la colaboración, asumiendo que ha sido diseñado como un CAA y por consiguiente debe dar cumplimiento a los 10 indicadores de colaboración de un CAA. Cada uno de los indicadores debe ser estudiado en el contexto de la actividad colaborativa y de forma ideal debe ser plateada por lo menos una métrica para cada uno de ellos. Sin embargo, se debe tener en cuenta que dependiendo la actividad colaborativa y la naturaleza de la evaluación, algunos de los indicadores pueden no aplicar o puede resultar muy complejo definir una métrica cuantificable, para esos casos, el diagnóstico puede realizarse limitándose únicamente a los indicadores verificables.
5. *Ejecución del banco de pruebas.* Una vez se tiene los dos elementos necesarios, es posible ejecutar el banco de prueba, teniendo en cuenta que el conjunto de métricas asociadas a los indicadores de colaboración corresponde a las variables dependientes del experimentos, y el artefacto de I+I y los factores de colaboración relevantes a la evaluación serán las variables independientes.

6. *Análisis de resultados.* Por último es necesario realizar un completo análisis de los datos, recordando que cada indicador debe ser analizado de forma independiente, ya que ofrece información de un elemento puntual de la colaboración. Sin embargo, se recuerda que en caso de que se desee, se puede realizar un ponderación de los indicadores en un índice global de colaboración (ecuación 3.5).

## 3.4. Lineamientos

Un elemento importante en de cualquier proceso metodológico es la implantación de buenas prácticas que minimicen los errores humanos y guíen el proceso, facilitando el desarrollo correcto de la práctica metodológica. Por esta razón, el enfoque CD-CAA presenta un listado de tres (3) lineamientos que buscan guiar una buena práctica del proceso evaluativo, los cuales están orientados a minimizar errores comunes observados en procesos de evaluación de modelos y técnicas de interacción 3D, y se describen a continuación.

### 3.4.1. Seguir un bitácora de evaluación

Llevar un registro del proceso de evaluación debe ser una actividad rutinaria, que permite identificar a la fecha cuantos experimentos se han realizado, duración promedio del experimento, variables evaluadas, entre otros. una bitácora de evaluación reduce la dependencia de personas específicas para realizar la ejecución de las pruebas, lo cual reduce el riesgo de interrumpir la experimentación a causa de condiciones personales del equipo evaluador.

### 3.4.2. Documentar el protocolo experimental

El proceso completo de experimentación incluye una cantidad no despreciable de pasos y procedimientos que inicia cuando se le da la bienvenida a los usuarios y finaliza en el momento en que el último cuestionario o registro es completado. Cuando dicho proceso está claramente definido y puede ser replicado varias veces, se puede entender como un protocolo de experimentación. Sin embargo, muchas veces ese proceso está en la cabeza de una o dos personas del equipo de evaluación, lo que hace que el proceso sea altamente dependiente de ellas, emergiendo la necesidad de una adecuada documentación. Realizar un proceso de documentación de todo el protocolo experimental permite ejecutar pruebas de escritorio y simulaciones para identificar

posibles errores. La documentación del proceso debe incluir elementos como cómo salvar los archivos de registro, en qué momento realizar el proceso de instrucción de los usuarios, cómo llenar los cuestionarios para recolectar información subjetiva de los usuarios, etc. Sin embargo, la idea de documentar el protocolo experimental es definir sin ambigüedades qué se debe hacer en cada uno de los pasos del experimento, por esa razón se propone realizar este proceso mediante elementos de pseudocódigo y en forma algorítmica, estableciendo los prerrequisitos del proceso, entradas, salidas y flujo procedimental.

### **3.4.3. Definir un procedimiento para la estandarización de la instrucción a los usuarios**

Uno de los problemas más comunes en el proceso de evaluación con usuarios es el proceso de instruirlos en cómo realizar correctamente la actividad a ser evaluada. El evaluador, como ser humano, está sujeto a condiciones externas e internas que lo afectan. Esta es una de las razones por las cuales el proceso de instrucción de dos usuarios puede tener diferencias importantes, a pesar de que sea hecho por el mismo evaluador. Por esta razón es necesario definir métodos que permitan estandarizar el proceso de instrucción que reciben todos los usuarios que participan en la prueba. A continuación se describen tres de las estrategias usadas en los casos de estudio desarrollados en esta investigación, explicando las ventajas y desventajas de cada una de ellas.

- *Guión hablado.* Es una estrategia fácil de implementar, consiste en escribir previamente el texto que va a ser dicho a cada uno de los usuarios, el cual debe ser pulido y afinado para que no sean necesarias explicaciones adicionales. Esta estrategia requiere la lectura textual del guión en el proceso de instrucción y es de este hecho del que se derivan sus principales desventajas. La primera es que es susceptible a variables humanas como la velocidad de lectura, entonación y al acento. Además, los usuarios pueden interrumpir la lectura, lo cual puede nuevamente originar diferencias en la instrucción.
- *Video.* El uso de videos para el proceso de instrucción de los usuarios evita muchos de los problemas del guion hablado. Los usuarios no pueden interrumpir el video, y éste siempre va a ser reproducido con la misma entonación, velocidad y acento. Además, el video incluye demostraciones de las actividades que se espera que el usuario realice, enriqueciendo el proceso. La principal dificultad de esta herramienta es el tiempo de realización, el cual es mucho mayor que la simple escritura de un guion, siendo éste incluso

uno de los procesos necesarios para la producción del video. Otra de las desventajas es que un video desconoce las diferencias en los tiempo de comprensión de un usuario, no importa lo específico y detallado del video, siempre existe la posibilidad que para un grupo de usuarios la explicación vista no haya sido suficiente.

- **Multimedia.** El uso de herramientas multimedia para la instrucción de los usuarios permite eliminar el elemento lineal de la instrucción del video, al permitirle al usuario avanzar y retroceder a voluntad para observar los videos, ilustraciones, fotos e instrucciones que incluye la multimedia. Así, una herramienta es el método ideal para instruir a los usuarios de la tarea a realizar, permite incluir toda la ayuda audiovisual que se requiera y permite al usuario recibir la instrucción a su ritmo, avanzando y retrocediendo a medida que lo requiera. La gran desventaja que tiene esta posibilidad es tiempo necesario para el desarrollo de la herramienta multimedial, sin embargo, el tiempo invertido en este proceso puede ser valorado sí se tiene en cuenta el tiempo que se puede perder sí por un error en la instrucción de los usuarios se afecta todo un proceso de evaluación.



## Capítulo 4

# El estudio de caso como método de investigación

*"The case study is a research strategy which focuses on understanding the dynamics present within single settings."*

*[Eis89]*

Para proponer un nuevo elemento o enfoque metodológico en cualquier campo del saber, es necesario comprender con propiedad el objeto al cual va dirigido y conocer los enfoques metodológicos propuestos con anterioridad. Parte importante de ese conocimiento es adquirido a partir de una revisión rigurosa del estado del arte, como la realizada en el capítulo 2 de este documento. Sin embargo, la comprensión detallada de las características del objeto de estudio es sólo posible mediante un trabajo de campo, es decir de una observación rigurosa del mismo. En cuanto a la validación se refiere, es posible realizar un proceso teórico, que permita definir el cumplimiento de criterios deseables [Ram99] o mediante la intervención de interesados (*stakeholders*) [Ho97], aunque lo ideal sería llevar a la práctica los elementos metodológicos propuestos y validarlos en un contexto aplicado.

Un método de investigación comúnmente usado en las ciencias sociales [Eis89; Fly06; HG08; Yin13] y que ha sido aplicado con éxito en el diseño y validación de propuestas metodológicas en el área de interacción humano-computador, en inglés *Human Computer Interaction* (HCI) [Ram99; Ho97; Col03], es el estudio de casos, en inglés *case study*, el cual ha sido adoptado para el desarrollo de este trabajo de investigación.

Este capítulo presenta los procesos y métodos que permitieron definir y validar los elementos conceptuales y el proceso del enfoque metodológico denominado diagnóstico de la conformidad de los artefactos de consciencia compartida, en inglés *Conformity Diagnosis of Common Awareness Artefacts* (CD-CAA), presentado detalladamente en el capítulo 3. La sección 4.1 contextualiza el estudio de casos, como método de investigación, y lo define en el marco de esta tesis. La sección 4.2 presenta el proceso metodológico aplicado específicamente para el desarrollo del enfoque CD-CAA, se describe cada caso de estudio de manera general, enfatizando en los aportes que cada uno entregó para la construcción de las conclusiones finales que permitieron la elaboración y validación del enfoque propuesto.

## 4.1. Sobre el estudio de caso

El estudio de casos ha sido considerado como un método de investigación en ciencias humanas y sociales, en áreas como la educación, la administración, la psicología, entre otras [Eis89; Fly06; HG08; Yin13]. Aunque existen varias definiciones asociadas al estudio de casos, la definición de Martínez [Mar06] como el “*estudio de un único caso o de varios casos, combinando distintos métodos para la recogida de evidencia cualitativa y/o cuantitativa con el fin de describir, verificar o generar teoría*”, es una adecuada interpretación en español de la postura de Yin [Yin81; Yin13]. Bajo ésta definición, un caso de estudio (“*caso*”), es el objeto de análisis de éste método de investigación, y dependiendo el contexto de aplicación puede tratarse de un individuo, un grupo de personas, una empresa, un proyecto, entre otras. [Sim09; Swa10].

Aunque el estudio de casos ha sido históricamente cuestionado como método válido para obtener conclusiones científicas [Yin81; Axe84; Fly06], es importante resaltar que su uso se ha extendido en los últimos años [Yin13; HG08], incluso a otras áreas de conocimiento. Por ejemplo, al realizar una búsqueda en *ScienceDirect* configurada para obtener solo los documentos que incluyan en su título del término “*Case Study*”, se obtiene un total de 33,424 resultados<sup>1</sup>, el mismo procedimiento se puede repetir en una base de datos más especializada como *PubMed*, entregando un total de 21,905 registros<sup>1</sup>. Aplicando el mismo ejercicio a una base de datos específica del área de ingeniería, como *IEEE Xplore*, se obtienen 11,671 publicaciones<sup>1</sup>. Por último, acotando la búsqueda a una base de datos dirigida a la computación, *ACM Digital*

---

<sup>1</sup>Consulta realizada el 15 de enero de 2015

*Library*, se obtienen 1,655 resultados<sup>1</sup>. Estos resultados permiten afirmar que la comunidad académica en general acepta el estudio de casos como método de investigación.

Un aspecto relevante, y que ha sido cuestionado del estudio de casos como método de investigación aplicable en cualquier área de estudio, se relaciona con la idea de que éste presenta un enfoque metodológico exclusivo de la investigación cualitativa. Al respecto hay que indicar que el estudio de casos se formuló en las ciencias sociales y humanas, donde se caracterizó por ser un método flexible que permitía usar diferentes medios para la recolección de datos [Sta78; Yin81; Axe84]. Esta flexibilidad permitió que algunos casos de estudio incluyeran datos cuantitativos, con lo cual, solo fue cuestión de tiempo para que se aplicará en enfoques meramente cuantitativos.

Los ejemplos de estudio de casos cualitativos son numerosos; recordando el ejercicio de búsqueda en bases de datos bibliográficas del comienzo de este capítulo, se encontraron 21,905 artículos en *PubMed*, base de datos de publicaciones en medicina, área donde la investigación cualitativa prima de forma notoria. Sin embargo, en computación, la ingeniería de software ha usado una perspectiva híbrida, donde se han incluido métricas cuantitativas y cualitativas, así como datos obtenidos tanto por análisis de archivos de registro (*logs*), como por métodos de inspección subjetiva como encuestas y entrevistas [Kit+02; PSE04; HR07]. En la HCI, línea donde se enmarca esta tesis doctoral, los estudio de casos tienen amplio reconocimiento, debido a que los procesos de validación solo pueden ser conducidos a muestras específicas de usuarios y generalmente bajo condiciones controladas. Además de que en ella convergen especialistas en computación, sociólogos, psicólogos y otros expertos en comportamiento humano. Una evidencia de este hecho es la convocatoria anual para presentación y publicación de estudios de caso<sup>2</sup> que realiza el evento *ACM CHI*, evento internacional más importante en el área, el cual reúne investigadores e innovadores a nivel mundial.

Este método también ha sido aplicado en el diseño y validación de propuestas metodológicas en el campo del desarrollo de sistemas colaborativos. Por ejemplo, Ramage [Ram99], desarrolló una metodología para la evaluación de sistemas colaborativos denominada *Systemic Evaluation for Stakeholder Learning* (SESL), como resultado de las experiencias obtenidas al evaluar cinco (5) casos de estudio, los cuales le permitieron evidenciar en un contexto práctico los vacíos de otros métodos de evaluación propuestos previamente. En el proceso de validación final, Ramage usó una validación teórica contrastando las características de su propuesta con

---

<sup>2</sup><http://chi2015.acm.org/authors/case-studies/>  
<https://chi2016.acm.org/wp/case-studies/>

lo que él denominó, criterios de un buen método de evaluación [Ram99]. La metodología PME (*Participative Methodology Evaluation*) es otro ejemplo del estudio de casos como elemento de validación de una metodología [Ho97]. PME es una propuesta general de evaluación metodológica, la cual fue desarrollada por Ho, aplicando el método de *Critical Systems Thinking* (CST). Para la validación de PME, Ho aplica la propuesta en un caso de estudio y la somete a una evaluación mediante inspección de interesados (*stakeholders*) [Ho97]. Por su parte, Collazos usó el estudio de casos para la elaboración y validación de su propuesta, un método para monitorizar y evaluar el aprendizaje colaborativo asistido por computador [Col03]. Collazos construye una aproximación metodológica a partir de la definición de indicadores deseables a ser monitorizados. En un caso de estudio inicial, él implementa su propuesta de evaluación, lo que le permite identificar problemas puntuales. A partir de las conclusiones derivadas, Collazos ajusta la propuesta y realiza una validación final en un segundo caso de estudio [Col03].

Una vez identificados los conceptos generales del estudio de casos y su importancia como método de investigación, se hace necesario precisar qué se entiende como caso de estudio en el contexto de esta investigación. Cada caso de estudio reportado en esta tesis corresponde al proceso de proponer o definir un artefacto de interacción e inmersión (I+I) para una tarea específica a ser realizada en grupo, y evaluar cómo dicho artefacto afecta la colaboración del equipo de trabajo, cuando realiza la tarea diseñada. Los casos de estudio enmarcados en ésta tesis doctoral presentan un análisis de datos tanto cuantitativo como cualitativo, donde se ha incluido principalmente el cálculo de métricas cuantitativas a partir de los datos registrados durante los procesos de interacción e inmersión (I+I) realizados por los usuarios, así como algunos elementos de valoración subjetiva recolectados principalmente por medio de cuestionarios y, el registro de datos mediante la observación del proceso de evaluación.

Como se menciona en el capítulo 3, el enfoque CD-CAA está dirigido a ser usado principalmente en el diseño y desarrollo de nuevos artefactos de I+I. Lo anterior implicó al autor de este documento involucrarse de forma activa y participativa en todo el proceso, para lo cual fue necesario integrarse a grupos de investigación con experiencia en el desarrollo de artefactos de I+I, donde su papel fue activo, y no el de un mero observador o indagador. Sí se observa de forma aislada, cada caso de estudio en un problema específico de I+I, con sus propias hipótesis, métodos y resultados. Sin embargo, en el contexto de esta tesis doctoral, el análisis de cada uno aportó al desarrollo, depuración o validación del enfoque CD-CAA, el cual responde a la necesidad real de establecer ¿cómo comparar y contrastar la colaboración en condiciones

diferentes de I+I?. Los detalles del proceso seguido y de cada caso de estudio se describen a continuación.

## 4.2. Proceso metodológico

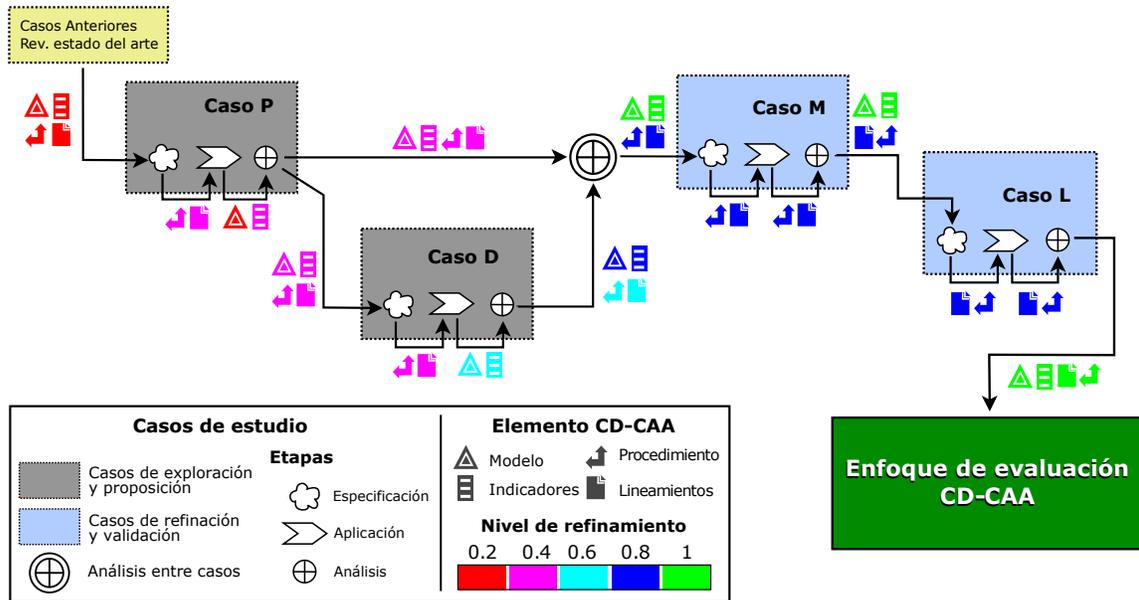


Figura 4.1: Esquema del proceso metodológico empleado. Cada cuadro ilustra un caso de estudio, los de color gris representan los casos de exploración y proposición, y los de color azul claro, los casos de refinamiento y validación. Las flechas muestran el flujo de entrada y salida de cada caso. Los íconos en colores representan cada uno de los elementos del enfoque CDCAA, donde el color representa el nivel de refinamiento de cada elemento, en una escala entre 0,2 y 1,0. Los íconos blancos representan etapas internas de cada caso de estudio (especificación, aplicación y análisis).

El enfoque de evaluación CD-CAA fue el resultado de la especificación, aplicación y análisis de cuatro (4) casos de estudio. La figura 4.1 describe de manera general la contribución de cada uno de ellos en la formulación y evaluación del enfoque propuesto. De forma general, cada caso de estudio siguió el esquema de desarrollo que se presenta a continuación. En la primera etapa, la especificación, se definieron los objetivos e interrogantes a ser abordados, algunos de los cuales fueron proyectados en el planteamiento del problema, y otros se derivaron de los

propios avances de la investigación. La segunda etapa, la de aplicación, inicia al abordar un problema de I+I, de interés al grupo de investigación donde se desarrolló el caso de estudio. A partir de la problemática identificada se propone un artefacto de I+I que cubre las necesidades establecidas. Luego, se plantean hipótesis acerca de cómo los artefactos afectan la colaboración y se diseña un esquema de evaluación para contrastar dichas hipótesis. Posteriormente, se definen los protocolos experimentales y se ejecutan y supervisan las pruebas. La etapa de aplicación finaliza con el procesamiento de los datos y el contraste de las hipótesis. En la última etapa, la de análisis, se valora el proceso de evaluación, infiriendo o validando elementos del enfoque metodológico en desarrollo.

Usando como referencia el estado del arte, y con la experiencia obtenida en el sondeo realizado sobre interacción tridimensional (3D) [RS11; Kra+12; Jor+13] y colaboración [Col+12] (cuadro amarillo esquina superior izquierda, figura 4.1 ), se desarrollaron los dos primeros casos de estudio (**P** y **D**), que tuvieron un papel de exploración y proposición en la construcción del enfoque CD-CAA. Es importante resaltar, que en el abordaje del Caso **P** y Caso **D** no se desconoció la existencia de otros métodos de evaluación de un ambiente virtual colaborativo, en inglés *Collaborative Virtual Environment* (CVE), ni se descartó su aplicación. Por el contrario, a partir del desarrollo del caso de estudio, se evidenció una gran limitación de tales estrategias, al realizar una evaluación independiente de la colaboración, la inmersión y la interacción, que impedía responder de forma adecuada a la pregunta de ¿cómo un elemento de I+I afecta la colaboración en un CVE?.

Durante la aplicación del Caso **P** se evidenció la necesidad de evaluar la colaboración como un elemento altamente dependiente de la interacción, lo que motivó una búsqueda de modelos teóricos que describieran las características ideales de lo que en este documento se denomina un artefacto de interacción. De esa forma, se reconoció una gran similitud entre las características de un artefacto de colaboración, en inglés *shared artefacts* o *common artefacts* [Rob91], y las propiedades que debe tener un artefacto de interacción que aporte de forma positiva a una actividad colaborativa. También se identificó la necesidad de establecer elementos y pautas que permitieran una correcta integración del personal que realiza el proceso de evaluación. Otro hallazgo importante fue la notoria comodidad del personal de evaluación frente a una valoración de carácter cuantitativa, y una reacción completamente opuesta a un diagnóstico por inspección de naturaleza cualitativa. Lo anterior permitió elaborar una primera aproximación del enfoque CD-CAA.

De la aplicación del Caso **D** surgió el requerimiento de evaluar cómo el equipo hace uso del espacio de trabajo, es decir, cómo monitorizar las actividades que se realizan en un espacio mutuo. Siguiendo un procedimiento similar al usado en el Caso **P**, se realizó una búsqueda de fundamentos teóricos que definieran los procesos y elementos de la colaboración, desde el punto de vista del espacio de trabajo mutuo. Fue así que se identificó el concepto de consciencia de espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness (WA)* [GG02], el cual explica las dinámicas del trabajo en equipo sobre un espacio común, como un caso aplicado del ciclo de percepción de Neisser [GG02]. Además, en éste caso de estudio se realizaron ajustes a los elementos, pautas y procedimientos diseñados en el caso anterior (Caso **P**). Se aclara que, aunque en este caso no se trabajó directamente en un CVE, sí se evaluó el proceso de colaboración con dispositivos de I+I usados en un CVE, pero sobre una aplicación de composición de imágenes. Así, se consideró que dado que el proceso de I+I evaluado seguía los mismos elementos usados en un CVE, las observaciones y conclusiones serían igualmente válidas. Esto es posible, toda vez que es común que los CVE empleen la proyección en 2D para facilitar la interacción y visualización en tareas específicas.

Del análisis conjunto (ícono  $\oplus$  en la figura 4.1 ) de éstos casos de estudio (Caso **P** y Caso **D**), se evidenció una fuerte relación entre el nivel ideal de consciencia, en inglés *awareness*, en una actividad colaborativa (planteado desde el WA), el nivel ideal de inmersión que se desea alcanzar en un CVE y los procesos de consciencia que se experimentan al interactuar en un entorno virtual, en inglés *Virtual Environment (VE)*, lo que permitió plantear el modelo de pirámide de consciencia del espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness Pyramid (WAP)*, el cual relaciona la colaboración como un elemento dependiente de la inmersión y de la interacción, mediante la percepción de consciencia (sección 3.1.1).

Los dos últimos casos de estudio (Caso **M** y Caso **L**) permitieron refinar y validar el enfoque metodológico propuesto. Una vez hecho esto, se procedió a realizar una validación experimental del conjunto de indicadores propuesto [Sar+13], para lo cual se diseñó el Caso **M**. La figura 4.1 ilustra este hecho, indicando que los elementos modelo e indicadores, entran al caso de estudio **M** con un nivel de refinamiento de 1,0. En este caso se planearon tres (3) actividades colaborativas, cada una orientada a desarrollar de forma grupal una tarea de interacción en 3D: selección, manipulación y navegación. Las tres (3) actividades se desarrollaron en dos (2) condiciones diferentes de colaboración. De esta forma, se ejemplificó el cómo establecer métricas específicas para evaluar el conjunto de indicadores propuesto y se validó la capacidad de diferenciar una actividad 3D colaborativa realizada bajo distintas condiciones. Adicionalmente,

Caso de estudio	Papel desempeñado	Elemento CD-CAA			
		Modelo	Procedimiento	Indicadores	Lineamientos
Caso P	Proposición	×	×	×	×
	Validación	–	–	–	–
Caso D	Proposición	×	×	×	×
	Validación	–	×	×	×
Caso M	Proposición	–	×	–	×
	Validación	×	×	×	×
Caso L	Proposición	–	–	–	×
	Validación	×	×	×	×

Tabla 4.1: Resumen del aporte realizado de cada caso de estudio al desarrollo del enfoque CD-CAA

las actividades de interacción 3D colaborativa fueron evaluadas siguiendo el procedimiento y lineamientos propuestos en el enfoque CD-CAA, y a partir de un análisis posterior se realizaron ajustes a dichos elementos.

Por último, con el fin de validar de forma integral el enfoque CD-CAA, en un caso donde se propusiera un nuevo artefacto de I+I, se desarrolló el Caso L. En este caso se aplicó el modelo, procedimiento, indicadores y lineamientos definidos y depurados a partir de los casos anteriores. Es necesario aclarar que este caso no fue diseñado de forma específica para validar el enfoque CD-CAA, al contrario, el Caso L es un caso real donde se propuso y desarrolló un nuevo elemento de I+I, en el que era necesario evaluar cómo el nuevo artefacto afectaba la colaboración. De esta forma, el enfoque CD-CAA fue puesto a prueba en un contexto no controlado, lo que da un mayor grado de confiabilidad a los resultados obtenidos durante su aplicación. En la etapa de análisis de este último caso de estudio, se evidenciaron las bondades del enfoque CD-CAA en el diagnóstico de nuevas propuestas de I+I para CVE, y se realizó un ajuste final a las recomendaciones sobre los elementos de lineamientos y procedimiento, lo cual se ilustra en la figura 4.1. Así, de la necesidad de un enfoque de evaluación que pudiera dar una respuesta al interrogante ¿cómo un elemento de I+I afecta la colaboración en un CVE?, emergieron y se validaron los elementos fundamentales de la propuesta CD-CAA, principal contribución de esta tesis.

La tabla 4.1 resume el papel desempeñado (proposición y validación) de cada caso de estudio. Se observa que el único caso 100 % propositivo fue el Caso **P**, y que los demás casos desempeñaron en cierto grado un doble papel. Es imposible afirmar que el Caso **D** no permitió una evaluación de los elementos en desarrollo, y que el Caso **L** no permitió una depuración final del enfoque propuesto, aunque ésta se limitó a refinar criterios de aplicación de los lineamientos. A continuación se presenta un resumen de cada caso estudio, aclarando que los detalles de las etapas de especificación, aplicación y análisis son presentadas en los capítulos del 5 al 8 .

#### 4.2.1. Caso P, Consciencia de proximidad en caminata colaborativa

Como se indicó al comienzo de ésta sección (4.2), la especificación del primer caso de estudio se orientó desde la búsqueda de una solución a una problemática real de I+I en un CVE. Así, se abordó una limitante bien conocida por el trabajo cooperativo asistido por computador, en inglés *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, como lo es generar sensación de co-presencia entre los miembros del equipo de trabajo, para garantizar cohesión y un nivel adecuado de consciencia en un sistema colaborativo [TSS96; OO97; Ray02; NCR04]. En un CVE la sensación de co-presencia es señalada como uno de los retos más relevantes para su desarrollo, donde la principal dificultad es la limitaciones de los dispositivos de inmersión [Ben+97; CS98; CW00; GMH04; HM10; NPM10]. Se propuso entonces el concepto de consciencia de proximidad, en inglés *Proximity Awareness (PA)*, como una estrategia que provee al usuario información adicional sobre la proximidad de otra persona dentro de un entorno virtual. Se diseñaron tres implementaciones diferentes de PA, cada una de ellas dirigida a estimular de forma independiente cada uno de los sentidos de la vista, oído y tacto.

El proceso de evaluación se orientó a comparar cada una de las implementaciones con una condición base, en inglés *baseline*, con el fin de identificar en qué forma una estrategia de PA afecta la colaboración. De ese modo, se diseñó un proceso de evaluación que permitiera dicha comparación, el cual se fue ajustando a medida que el proceso evaluativo avanzaba. En todo momento se mantuvo una constante discusión con todo el personal que dirigía y realizaba la evaluación, buscando la mejor manera de validar la propuesta de PA, de cómo medir la colaboración y de cómo comparar cada implementación contra la condición base.

Se plantearon diferentes alternativas, estrategias, procesos, de los cuales emergió la necesidad de que los usuarios realizarán una tarea sencilla, una caminata, pero que a su vez garantizara colaboración del equipo de trabajo. Este último punto se volvió fundamental, ya que dependiendo el tipo de caminata emergía la posibilidad de que el equipo no colaborará, y en consecuencia que el objeto de estudio no se hiciera presente. Por lo anterior, fue necesario introducir en la actividad colaborativa (la caminata) elementos que fomentaran y/o dirigieran la colaboración. También se observó la necesidad de estandarizar el proceso de instrucción en la actividad experimental a los usuarios, mediante diferentes medios como guiones o videos. De esa forma, emergió la primera versión del enfoque CD-CAA, con un modelo, indicadores, proceso y lineamientos inmaduros, pero que ya presentaban la esencia fundamental del enfoque y sus elementos claves.

#### **4.2.2. Caso D, Composición colaborativa en pantallas de gran formato**

Este caso de estudio permitió plantear la evaluación de una actividad I+I colaborativa sobre el un espacio de trabajo mutuo. Puntualmente, el equipo de trabajo debía realizar la actividad sobre la misma pantalla de visualización. Como se explicó en capítulo 2, una caso espacial de CVE es un visualización 3D colaborativa, en inglés *Collaborative 3D Visualization (C3V)*, en el que las actividades de I+I se realizan generalmente sobre una pantalla de visualización, que permite la interacción simultánea de todos los usuarios. Un problema de este caso de estudio fue que la actividad realizada por los usuarios no se desarrollaba en un ambiente 3D, sino que se limitaba a realizar procesos de selección y manipulación 2D sobre la pantalla, usando un teléfono inteligente (*smartphone*) como dispositivo de interacción. Sin embargo, la posibilidad de realizar un proceso de evaluación sobre pantalla de visualización de gran formato era un caso de alto interés para los objetivos de esta investigación, y se evidenció que los procesos de selección y manipulación en un espacio 2D son sólo una restricción de los grados de libertad, en inglés *Degrees of Freedom (DoF)* de una interacción 3D. Así, las conclusiones derivadas de este caso de estudio podían ser generalizadas a un C3V y por consiguiente a un CVE.

Es necesario aclarar, que este fue el único caso de estudio en el cual no se participó en el 100 % del proceso de propuesta, desarrollo y evaluación del artefacto de I+I. La participación del autor se limitó a la propuesta, diseño y construcción de la interacción colaborativa y a todo

lo referente con el diseño, ejecución y análisis de la evaluación. Los detalles relacionados con esta participación se presentan en el capítulo 6.

En este caso la evaluación se orientó a comparar la actividad de I+I contra una interacción física similar, la cual se tomó como *gold standard*. La actividad consistía en que un equipo de (4) personas debía ubicar, seleccionar y rotar imágenes sobre la pantalla de visualización a través de su *smartphone*. Así, se comparaba la actividad realizada por los usuarios usando el sistema de visualización contra la misma actividad desarrollada sobre un tablero físico con láminas reales, que podían ser pegadas y reubicadas. Para el desarrollo de la actividad se calibró la visualización de forma que las láminas físicas tenían el mismo tamaño de las imágenes digitales proyectadas.

En la ejecución de este caso de estudio se evidenció la necesidad de evaluar cómo el manejo del espacio de trabajo hecho por el equipo influye en las actividades de I+I. Se observó que los problemas de interacción y la sobrecarga cognitiva, en inglés *cognitive overload* son un obstáculo para que el usuario se involucre al trabajo en grupo, e incluso puede romper un proceso de inmersión que se había logrado con anterioridad. Aunque este caso tuvo principalmente un papel propositivo, también se desempeñó como un caso preliminar de validación, donde por primera vez se contrastó la aplicabilidad del procedimiento, lineamientos e indicadores usados en el caso anterior (caso P).

La importancia de este caso de estudio fue que en sus etapas de especificación y análisis se cuestionó cada uno de los elementos preliminares del enfoque CD-CAA, dadas las diferencias con el caso previo (Caso P), lo que permitió depurar y definir con un alto grado de madurez cada uno de dichos elementos (modelo, procedimiento, indicadores y lineamientos).

### 4.2.3. Caso M, Validación experimental de indicadores

Este es el único caso de estudio que se diseñó de forma específica para evaluar y depurar elementos del enfoque CD-CAA. El objetivo principal era validar de forma experimental el conjunto de indicadores resultado del análisis conjunto de los dos (2) casos previos. Adicionalmente se pretendía poner a prueba todo los demás elementos (procedimiento, modelo y lineamientos), para depurarlos y generar una versión final del enfoque. De esa forma, se diseñaron tres (3) actividades colaborativas, cada una orientada a una de las tareas principales de interacción en 3D definidas por Bowman y col. [Bow+01], como son: navegación, selección y manipulación. La actividad de control de sistema no fue incluida por no ser de interés para la colaboración.

Este caso de estudio se diseñó teniendo en cuenta la necesidad de que las actividades colaborativas usaran elementos conocidos y de interacción natural, de manera tal que no se involucrara una nueva propuesta de I+I, enfocándose así en la validación del conjunto de indicadores. Se diseñaron entonces tres (3) actividades colaborativas que debían ser realizada bajo dos (2) condiciones diferentes de colaboración: libre y restringida. De esta forma, se esperaba que los indicadores permitieran diferenciar la condición bajo la cual una actividad fue realizada.

El análisis de los resultados mostró que el conjunto de indicadores permitía diferenciar las actividades desarrolladas bajo dos condiciones diferentes de colaboración. Adicionalmente, durante la ejecución de este caso de estudio se verificó la aplicabilidad del proceso diseñado y la importancia de seguir con los lineamientos definidos, para garantizar la ejecución correcta del procedimiento de evaluación. Por último, se evidenció una coherencia entre las conclusiones de las pruebas experimentales y el modelo WAP, lo que permitió avanzar hacia una última depuración y validación final del enfoque CD-CAA.

#### **4.2.4. Caso L, Lenguaje táctil para soportar actividades colaborativas**

Para validar de forma adecuada el enfoque CD-CAA era necesario usarlo en un contexto real, no restringido, donde se requiriera evaluar la colaboración de un equipo de trabajo usando un artefacto de I+I. Por esta razón, no se diseñó un caso específico de validación (como se hizo con el Caso M), sino que se aplicó el enfoque CD-CAA como parte del diseño, construcción y evaluación de un nuevo artefacto de I+I. De esta forma, el enfoque CD-CAA se usó para evaluar cómo un lenguaje vibrotáctil puede aportar en la realización de una actividad colaborativa, como un canal adicional para la colaboración.

De la aplicación de este último caso de estudio es posible afirmar que el enfoque CD-CAA permitió un adecuado proceso de evaluación del nuevo artefacto de I+I (lenguaje vibrotáctil), en el que fue posible aplicar los lineamientos sugeridos, seguir el procedimiento estipulado y calcular un conjunto de métricas para evaluar los indicadores propuestos. También fue posible, hallar conclusiones que permitieron diagnosticar la colaboración, caracterizando cómo los grupos de trabajo escalaron en la WAP, e identificando los elementos que facilitaron o dificultaron dicho proceso cognitivo.

## Capítulo 5

# Caso de estudio: Consciencia de proximidad en caminata colaborativa

*“Awareness of other people’s presence and work is one of the most important factors in collaborative environments.”*

*[Ray02]*

Para el desarrollo de este caso de estudio, se realizó un proceso de integración al personal de investigación del *Grupo de Pesquisa em Computação Gráfica, Processamento de Imagens e Interação*(CG-INF)<sup>1</sup>, del *Instituto de Informática* de la *Universidade Federal do Rio Grande do Sul* (UFRGS), en Brasil. Desde el interior de dicho grupo se participó integralmente en el proceso de formulación, diseño, desarrollo y evaluación del nuevo artefacto de interacción e inmersión (I+I). Como se mencionó en el capítulo 4, éste fue un caso de estudio real, no acotado, ni restringido.

Durante el proceso inicial de integración se realizó una serie de reuniones, mesas de trabajo y discusiones, que generaron como resultado la propuesta de consciencia de proximidad, en inglés *Proximity Awareness* (PA), y de los tres artefactos presentados en la sección 5.2.2. Se consolidó un equipo de desarrollo y evaluación conformado por tres (3) expertos que coordinaron y validaron todo el proceso, uno de ellos experto en trabajo colaborativo (Universidad del Cauca), y otros dos expertos en interacción tridimensional (3D) y realidad virtual, en inglés *Virtual Reality* (VR) (UFRGS); dos (2) estudiantes de doctorado, incluyendo el autor de este documento, que fueron responsables del desarrollo de los artefactos, y también, del diseño,

---

<sup>1</sup>[http://inf.ufrgs.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=55](http://inf.ufrgs.br/index.php?option=com_content&view=article&id=55)

planeación, ejecución y análisis de los experimentos; y un equipo de apoyo, para el acompañamiento y ejecución de las pruebas con usuarios, conformado por dos (2) estudiantes de maestría y dos (2) estudiantes de pregrado con experiencia en conducir este tipo de estudios.

A continuación, se presentan las tres (3) etapas del caso de estudio: especificación, aplicación y análisis; se describen los procedimientos, métodos, datos y conclusiones generadas a partir de su ejecución. Así mismo, se evidencia que el desarrollo de este caso de estudio permitió una primera exploración e indagación de los conceptos y técnicas que fundamentan el diagnóstico de la conformidad de los artefactos de consciencia compartida, en inglés *Conformity Diagnosis of Common Awareness Artefacts* (CD-CAA).

## 5.1. Especificación

Para este caso de estudio se planteó como objetivo principal definir los elementos fundamentales de un procedimiento que permitiera realizar la evaluación de un artefacto de I+I y diagnosticar cómo éste afecta el proceso de colaboración de un equipo de trabajo, lo cual permitiría definir una primera aproximación del enfoque metodológico CD-CAA. Para ello se plantearon las siguientes preguntas a ser abordadas 1) ¿Cuál es el enfoque más adecuado para evaluar el efecto de un artefacto de I+I en la colaboración de un equipo de trabajo? 2) ¿cuál puede ser el procedimiento a seguir dentro de dicho enfoque? y 3) ¿cómo se puede cuantificar o cualificar el impacto de un artefacto de I+I en la colaboración?

Para poder dar respuesta a los anteriores interrogantes, se tomó como punto de partida la experiencia de los grupos de investigación (CG-INF e IDIS) y una revisión de la literatura, que permitió identificar los principales métodos, metodologías y métricas, del estado del arte, para evaluar la colaboración y la interacción en un entorno 3D.

El proceso de conceptualización, desarrollo y evaluación de nuevos artefactos de inmersión se llevó a cabo bajo la siguiente dinámica. Con una frecuencia aproximada de dos veces por semana, el personal a cargo del diseño de la evaluación y las pruebas se reunía a evaluar el avance en el desarrollo de los artefactos, y el planeamiento y diseño de las pruebas para la validación experimental. Aproximadamente, cada dos semanas se realizaba una reunión con los expertos en interacción 3D y VR, donde se discutían los aciertos e inconvenientes presentados.

Días después, debido a las dificultades de distancia física y diferencia horaria, se realizaba un proceso de retroalimentación con el experto en colaboración. Cada ajuste realizado en el proceso

de evaluación sugerido por el experto en colaboración era sometido a consideración por los expertos en interacción 3D y VR, para conciliar diferencias, dando mayor prioridad a éstos últimos, como usuarios potenciales del enfoque metodológico en desarrollo. Esta dinámica se realizó durante un periodo de cinco (5) meses.

Es importante resaltar que el diseño de los procesos de evaluación se asumió sin preconceptos o restricciones, lo cual permitió conocer y entender con libertad los métodos y procedimientos usados por el grupo de investigación experto en interacción 3D y VR (CG-INF), y generar una evaluación ajustada a sus necesidades. Así, fue posible establecer cuál era el enfoque evaluativo (cualitativo o cuantitativo) más adecuado y aceptado por el grupo CG-INF, y dentro de dicho enfoque, encontrar un procedimiento que permitiera ejecutar un prueba experimental que validara los artefactos propuestos y un conjunto de métricas asociadas a indicadores de colaboración que permitiera cuantificar el efecto de éstos sobre la colaboración.

Con base en el método de recolección de datos se aplicó una metodología de observación participante, en inglés *participant observation* [Kaw05], usando como herramienta de registro un diario de campo, en inglés *field diaries*. Así, todas las actividades fueron registradas, y las notas de campo fueron usadas tanto para el análisis de este caso, como para el análisis conjunto realizado con los hallazgos del Caso D. A continuación se describe la etapa de aplicación del caso de estudio que evidencia los detalles de los elementos de evaluación aplicados.

## 5.2. Aplicación

### 5.2.1. Problema de I+I

La propuesta aquí descrita, surgió como una respuesta a la pregunta ¿de qué forma se puede mejorar la cohesión de un equipo de trabajo dentro en un ambiente virtual colaborativo, en inglés *Collaborative Virtual Environment* (CVE)? Así, de la mano de una revisión de literatura, la indagación científica y la experiencia de los grupos de investigación (CG-INF e IDIS), se identificó la importancia de la sensación de co-presencia, en inglés *co-presence*, entendida como la sensación de que otra persona se encuentra en el mismo lugar físico donde nosotros encontramos. Así mismo, se evidenció la necesidad de establecer cómo ésta influye en la cohesión del equipo y su papel determinante para alcanzar un nivel adecuado de consciencia, en inglés *awareness* del trabajo en grupo [TSS96; OO97; Ray02; NCR04]. También fue posible

establecer que la principal dificultad para generar sensación de co-presencia está dada por las limitaciones conocidas en los artefactos de inmersión que impiden transferir las sensaciones reales a un entorno virtual, en inglés *Virtual Environment* (VE) [Ben+97; CS98; CW00; GMH04; HM10; NPM10]. Lo anterior permitió concluir, que un error común en el diseño de un CVE es confiar únicamente a los artefactos de inmersión convencionales la responsabilidad de generar la sensación de co-presencia.

A partir de esta observación, se propuso buscar estrategias para mejorar la sensación de co-presencia, brindando al usuario información adicional sobre la cercanía de otra persona en el VE. De esa forma, surgió el concepto de consciencia de proximidad, en inglés *Proximity Awareness* (PA), como un mecanismo para proveer al usuario información sobre la proximidad de otra persona, es decir la posición relativa donde éste se ubica, y la distancia a la cual se encuentra.

### 5.2.2. Artefactos de I+I

La propuesta de consciencia de proximidad, en inglés *Proximity Awareness* (PA) se centra en aplicar un estímulo a un usuario que le permita identificar tanto la dirección relativa, como la distancia a la que se encuentra otro usuario. Es necesario tener en cuenta que la sensación de co-presencia depende de la distancia, si ésta es muy grande, no se debe generar dicha sensación. De esta forma, se establece una zona de influencia de PA. Cuando un usuario entra en la zona de influencia de otro usuario, el estímulo es generado, y cuando sale de ella, el estímulo cesa. Es importante una aplicación continua del estímulo mientras la distancia entre los usuarios sea menor que el radio de la zona de influencia. Sin embargo, el estímulo debe disminuir cuando aumenta la distancia, siendo máximo cuando los usuarios están cerca a tocarse, y cero en el límite de la zona de influencia.

Para determinar el radio de la zona de influencia de PA ( $R_{PA}$ ) se usó como referencia las zonas de interacción personal propuesta por Hall [Llo09], estableciendo su límite entre la zona de interacción social y la pública. Dado que Hall determinó las zonas de influencia en pies (*ft*), con fines generales se establece como 18 *ft* el límite máximo para la zona de influencia de PA. La figura 5.1 muestra la relación entre las zonas de interacción de Hall y la zona de influencia de PA [Llo09].

Otra característica importante del PA es que los estímulos son mutuos, de forma que si el primer usuario percibe a otro, éste último también debe percibir al primero. Además, se consideró que

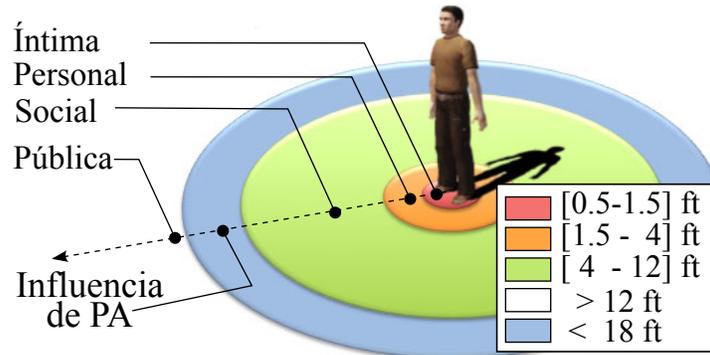


Figura 5.1: Zonas de interacción personal definidas por Hall [Llo09] y su relación con la zona de influencia de PA (color azul). Se observa que el límite de ésta última está ubicado entre la zonas interacción social (color verde) y pública (color blanco).

los estímulos tenían que ser fácilmente interpretables, por tal razón, era deseable afectar un solo sentido. Teniendo en cuenta estas consideraciones, se diseñaron tres (3) artefactos para la generación de PA entre dos usuarios, los cuales se describen a continuación.

### Estrategia auditiva

Este artefacto usa como estímulo de proximidad un sonido de viento localizado en la posición relativa del otro usuario. El sonido fue elegido a partir de pruebas internas, las cuales se orientaron a buscar un sonido natural y confortable al usuario. El estímulo auditivo es reproducido de forma constante mientras que el otro usuario se encuentra en la zona de influencia de PA.

Para garantizar la coherencia del estímulo percibido por el usuario, el sonido es generado usando un motor de audio 3D, de forma tal que se atenúa y se compensan las salidas de sonido estéreo, para que el usuario perciba que la fuente del sonido está ubicada en la posición del otro usuario. Para garantizar mayor naturalidad en el estímulo, se usó una función de atenuación logarítmica y no se incluyó efecto de reverberación, ya que éste genera confusión en el momento de identificar la posición de la fuente del sonido.

## Estrategia táctil

Este artefacto fue construido como un cinturón dotado con pequeños motores de vibración. El cinturón está formado por una correa en la que se ubican dos segmentos ajustables, cada uno con tres motores separados a una distancia de 5 cm.



Figura 5.2: Artefacto de táctil de PA. Se observa a un usuario usando el cinturón de vibración y un detalle del dispositivo que muestra los motores ubicados a cada lado.

El usuario viste el cinturón y ajusta cada segmento para que cada conjunto de tres motores se ubique a los lados derecho e izquierdo de la cintura, con cada motor central ubicado justo en cada uno de los extremos. El cinturón es conectado a un microcontrolador, el cual permite la comunicación con el PC por puerto serial (USB). La figura 5.2 muestra a un usuario vistiendo el cinturón de vibración, y un detalle del dispositivo.

El estímulo de proximidad es realizado mediante el encendido independiente de cada motor. Un motor es activado de acuerdo con la posición relativa del otro usuario, y la intensidad de la vibración depende de la distancia entre los usuarios. El estímulo deja de ser aplicado cuando la distancia es mayor a la zona de influencia de PA. La intensidad de vibración es controlada a través del tiempo de relajación de dos vibraciones consecutivas. La variación del tiempo de relajación en función de la distancia es atenuada con una función logarítmica, la cual es cero cuando los usuarios están muy cerca, generando así una vibración constante asociada al máximo estímulo generado.

### Estrategia visual

Este artefacto fue diseñado como un elemento visual sobrepuesto, en inglés *Heads Up Display* (HUD). Así, se presenta en la esquina inferior derecha de la pantalla de visualización un diagrama adicional que permite ubicar al otro usuario con respecto a la posición egocéntrica.

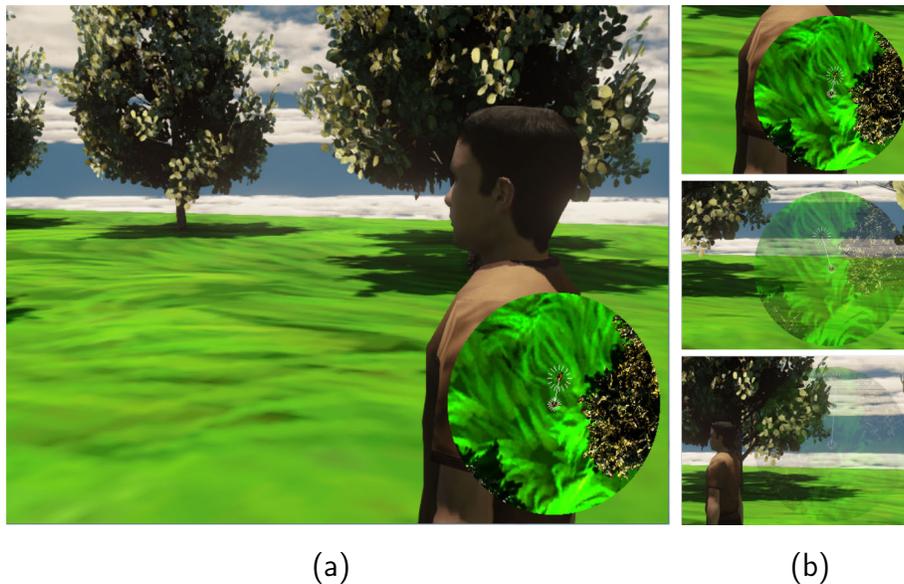


Figura 5.3: Artefacto visual de PA. En (a) se observa una vista en primera persona del primer usuario, con el artefacto visual ubicado en la esquina inferior derecha como un HUD. Se observa la posición relativa del otro usuario y la línea del esquema de radar. En (b) se muestra el cambio en la propiedad de opacidad del artefacto cuando la distancia entre los usuarios se incrementa.

El diagrama presentado al usuario corresponde a una vista superior de la escena, a este esquema visual se le conoce como minimapa. Para el artefacto de PA se diseñó un minimapa en forma circular, con radio igual al radio de influencia de PA, en el que el usuario es ubicado siempre en el centro del círculo. Sobre el minimapa se gráfica un diagrama básico de radar como una línea que sale del centro del diagrama a la posición del otro usuario, lo cual permite identificar la distancia y dirección donde se encuentra el otro usuario. Para generar la sensación de dependencia del estímulo visual con respecto a la distancia de los usuarios, se generó una propiedad de opacidad en el HUD, que es atenuada en forma logarítmica con respecto a la distancia de los usuarios.

La figura 5.3(a) presenta una captura de pantalla con una vista en primera persona, que corresponde a lo observado por el primer usuario. Se observa que el otro usuario está en frente y cerca de él, ubicado un poco a su derecha. En la esquina inferior derecha se presenta el

artefacto visual de PA, en el que se observa el primer usuario en el centro, y el otro usuario en frente a la derecha. También se observan la línea del radar que va del centro del círculo (posición del primer usuario) a la posición del otro usuario. La figura 5.3(a) presenta tres (3) vistas en detalle del artefacto visual. Se observa cómo cambia la opacidad a medida que se aumenta la distancia entre los usuarios, de tal forma que en el detalle de la parte inferior es casi imperceptible.

### 5.2.3. Diseño experimental

El proceso de evaluación se orientó a dar respuesta a las preguntas de sí una estrategia de PA impacta de forma positiva la colaboración? y, ¿cuál de las estrategias propuestas (visual, auditiva o táctil) permite generar una mayor sensación de co-presencia?. Se decidió entonces, hacer una comparación entre una condición base, en inglés *baseline*, y los tres artefactos diseñados, definiendo como condición base un CVE en condiciones normales, sin ninguna estrategia de PA.

De la dinámica descrita en la sección 5.1, se definió la necesidad de realizar un enfoque experimental orientado a obtener datos de carácter cuantitativo, quedando descartada una evaluación cualitativa basada en métodos de inspección. Así, para poder evaluar la colaboración y determinar cómo ésta es impactada por los artefactos de PA, se diseñó un experimento centrado en el desarrollo de una actividad colaborativa, bajo las consideraciones de que la actividad debería ser simple, requerir información de la proximidad de la otra persona y que sólo pudiera ser cumplida exitosamente mediante el trabajo en equipo.

Así, se llegó al diseño de una caminata colaborativa en la que el equipo, conformado por dos personas, debía recorrer un camino, siguiendo una ruta señalada por flechas en el piso que sólo se mostraban a una persona a la vez. De esa forma, una persona tomaba el rol de guía, mientras la otra de lazarillo o guiado, la figura 5.4 muestra una vista en primera persona de cada uno de los usuarios. Las dos personas debían caminar lado a lado, lo más cerca posible, imitando el proceso de caminar juntos de forma natural, para lo cual el lazarillo debía seguir al guía. Dado que el objetivo de este experimento era evaluar cómo las estrategias de proximidad impactaban en la colaboración, se impidió cualquier comunicación oral entre los usuarios, con el fin de maximizar la interacción haciendo uso del artefacto diseñado.



Figura 5.4: Caminata colaborativa. En (a) se muestra la vista en primera persona del usuario guía. Las flechas en el piso indican el camino correcto. En (b) se muestra la vista en primera persona del usuario guiado, el cual no puede ver las flechas, solamente al guía delante de él.

La ruta a seguir estaba compuesta por cuatro segmentos de longitud similar. Al finalizar cada segmento los roles eran intercambiados, de forma tal que cada usuario asumía dos (2) veces el papel de guía y dos (2) veces el papel de guiado. De esta manera, se aseguraba igual participación, responsabilidad individual e interdependencia positiva; características definidas como aquellas que permiten garantizar colaboración en una actividad grupal [Col03; Col+12]. El equipo debía realizar la caminata colaborativa dentro de un laberinto en el bosque, donde lo dos usuarios tenían que ir del inicio de la ruta hasta el final. Una vez definida la actividad colaborativa, se planteó la siguiente hipótesis.

*$H_{5.4}$  : Usar un artefacto de consciencia de proximidad en una actividad de caminata mejora la colaboración del equipo con respecto a la condición base.*

Para probar la hipótesis  $H_{5.4}$ , se diseñó una prueba experimental con un procedimiento de banco de pruebas [BJH99; BJH00], en el que cada condición de evaluación corresponde a un ensayo del experimento y los ensayos son realizados por los sujetos de prueba. Para el proceso de comparación experimental se definió un esquema intra-sujetos (*within-subjects*), bajo el cual, un sujeto experimental era sometido tanto a la condición de control, como a la condición de prueba.

Para este caso, un equipo de trabajo (*team*) correspondía al sujeto experimental; la condición base (*baseline*), a la condición control; y cada uno de los artefactos de PA diseñados (*auditivo*,

*táctil y visual*), a las condiciones de prueba. La actividad colaborativa debía ser realizada por el mismo equipo cuatro (4) veces, una bajo la condición base, y las otras tres (3) usando cada uno de los artefactos de PA. Así, cada equipo realizó (4) ensayos diferentes del experimento.

Con el fin de evitar sesgos por recordar el recorrido, se diseñaron cuatro rutas diferentes con los mismos puntos de inicio y fin. La figura 5.5 muestra las rutas diseñadas, los círculos blancos señalan el final de cada segmento, donde se realiza el cambio de rol, las letras *S* y *E* indican el inicio y fin de la ruta, respectivamente. Se observa que las cuatro (4) rutas tienen características similares como longitud, estar compuesta de segmentos lineales, tener tres (3) puntos de intercambio de rol, y los mismos puntos iniciales y finales.

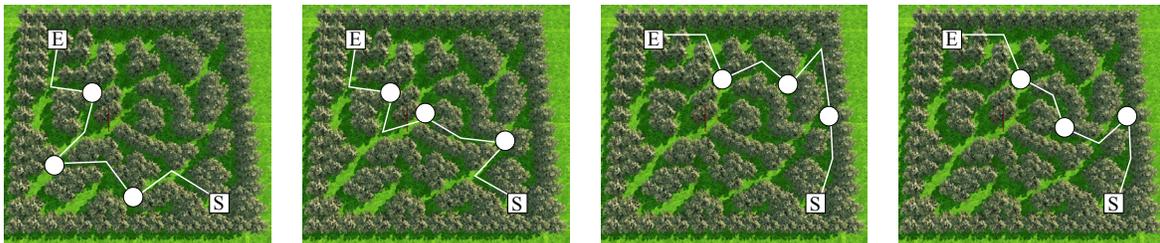


Figura 5.5: Rutas diseñadas para la caminata colaborativa. Se muestra una vista superior del entorno virtual (VE), un laberinto en un bosque. Se ilustran cada una de las cuatro (4) rutas diseñadas. Los círculos blancos señalan los puntos donde el rol de los usuarios es intercambiado. Las letras *S* y *E* señalan el inicio y fin de la ruta.

## Datos y Métricas

Durante la aplicación de los experimentos se realizó un proceso de recolección de datos y cálculo de métricas que incluyó dos (2) elementos, métricas cuantitativas derivadas del registro de la interacción de los usuarios con el CVE, y cuestionarios que capturaron la percepción subjetiva de los miembros de los equipos.

Para hacer posible el cálculo de las métricas, resultado de los procesos de interacción de los usuarios, el CVE desarrollado realizaba un registro detallado de todas las variables del estado de cada avatar, con una frecuencia de 250 *ms*. Los archivos de registro (*log files*) eran actualizados simultáneamente en los dos (2) PC, lo que permitió realizar pruebas de verificación y control de los datos.

Durante la ejecución de este caso de estudio se discutió la aplicación de indicadores y métricas de colaboración propuestas en el estado del arte para trabajo cooperativo asistido por computador, en inglés *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* y aprendizaje colaborativo asistido por computador, en inglés *Computer Supported Collaborative Learning (CSCL)* [Col+02; TPM07; Mat11]. Sin embargo, dado que todas las propuestas medían los procesos de colaboración sin tener en cuenta una relación causal con la interacción realizada por los usuarios, no hubo consenso sobre su aplicación para la evaluación buscada. Por otro lado, se encontró que las características de un artefacto de colaboración, en inglés *shared artefacts* o *common artefacts*, definidas por Robinson [Rob91], representaban indicadores del proceso de interacción colaborativa, lo cual se ajustaban a la necesidad de análisis discutida por el personal de evaluación. Así, se decidió calcular métricas asociada a cada indicador (característica), donde cada una representaba un aspecto colaborativo relevante.

A continuación se describe el conjunto de métricas diseñadas. La tabla 5.1 presenta las definiciones formales de cada una y las ecuaciones que permitieron cuantificarlas. Se aclara que todas métricas son presentadas como un índice normalizado entre 0 y 1, con 1 siendo el valor ideal.

**Predecibilidad.** Un alto desempeño en las tareas básicas de interacción indica que el usuario es capaz de sobreponerse a la carga cognitiva que el artefacto impone, lo que implicaría que el artefacto es predecible en su uso. Bajo las características de una caminata se diseñaron dos métricas para este indicador, el índice de velocidad relativa ( $RV$ ) y el índice de distancia entre usuarios ( $UD$ ). En un escenario de alta colaboración, se espera que en el equipo de dos usuarios la velocidad relativa del uno al otro se aproxime a cero (0) y la distancia entre ellos sea mínima.

- *Índice de velocidad relativa ( $RV$ ).* Corresponde al cálculo del índice de la velocidad promedio del usuario guiado con respecto al guía, normalizado por la máxima velocidad teórica del avatar.
- *Índice de distancia entre usuarios ( $UD$ ).* Corresponde al cálculo del cociente entre la distancia promedio entre usuarios sobre el radio de influencia del estímulo de proximidad.

**Consciencia periférica** La característica de consciencia periférica hace referencia a la necesidad de que un artefacto permita que el equipo de trabajo se concentre en su actividad principal, que el foco de su atención no se desvíe al uso del artefacto. Por esa razón, medir

el desempeño de alto nivel del equipo de trabajo permite establecer en qué grado el uso del artefacto afectó la consciencia del equipo en la tarea, es decir, no cumplía con la característica de consciencia periférica. Dadas las características de la actividad colaborativa se establecieron dos métricas pertinentes, la calidad con que el equipo realizó una caminata natural y la velocidad promedio de un equipo de trabajo. Es de esperarse que en un desempeño de alto nivel, la velocidad promedio de un equipo de trabajo sea un indicador más confiable que el tiempo de realización de la tarea, ya que indica un proceso constante y de mantenimiento de estrategias de grupo.

- *Índice de velocidad del equipo (TV)*. El índice del promedio de velocidad es calculado de forma tradicional, normalizando su valor al dividir por la velocidad máxima teórica del avatar.
- *Índice de caminata natural (NW)*. La calidad de la caminata está relacionada con la manera como se espera que dos usuarios se comporten al caminar juntos (usualmente lado a lado y caminando en la misma dirección). La figura 5.6 muestra dos ejemplos de posición durante una caminata. En el lado izquierdo ( $t_0$ ) se observa la situación ideal, mientras que a la derecha ( $t_1$ ), los usuarios permanecen lado a lado, pero en una posición inusual y poco natural para dos persona que caminan juntas. Por lo anterior, se hace necesario evaluar dos relaciones espaciales: en primer lugar, la ortogonalidad entre el vector de vista del guía  $O_t^A$  (avatar rojo) y el vector de dirección entre los usuarios  $D_t$ , el cuál corresponde al vector unitario que va desde la posición del usuario guiado  $X_t^B$  (avatar azul) a la posición del guía  $X_t^A$ . La segunda relación espacial es el paralelismo entre los vectores de vista de los dos usuarios ( $O_t^A$  y  $O_t^B$ ). Las dos relaciones pueden ser calculadas usando el producto punto (table 5.1), el índice *NW* es finalmente calculado como el promedio de las dos.

**Comunicación implícita** En un contexto real, la actividad de caminar juntos genera una comunicación implícita que permite que una persona siga a la otra sin que medien palabras. Para la caminata colaborativa en el VE, la comunicación implícita se asocia al mismo proceso y a determinar cómo el artefacto apoya dicha comunicación, para lo cual se propone medir el índice de respuesta del usuario guía (GR) que indica cuál es la reacción del guía cuando percibe un cambio en la distancia del usuario guiado y, el índice de respuesta del usuario guiado (GDR),

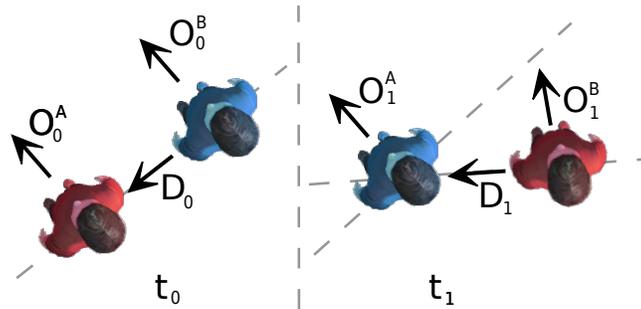


Figura 5.6: Dos posibles posiciones de los usuarios mientras realizan la caminata, en dos instantes de tiempo diferentes. A la izquierda, una configuración ideal, con los dos usuarios caminando lado a lado hacia la misma dirección. A la derecha, una configuración no natural, con los dos usuarios caminando hacia diferentes direcciones.

que indica cuál es la reacción del usuario guiado cuando percibe un movimiento del usuario guía.

- *Índice de respuesta del usuario guía (GR)*. Este índice permite medir la reacción del guía cuando percibe cambios en la distancia al usuario guiado. La reacción esperada es que el guía ajuste la velocidad, es decir disminuir la marcha para esperar al usuario guiado, si la distancia aumenta; o aumentarla, para mejorar el desempeño, si ésta disminuye. La Figura 5.7(a) ilustra una respuesta esperada del guía (avatar rojo). A la izquierda ( $t_0$ ), los dos usuarios van caminando juntos con velocidades  $V_0^A$  y  $V_0^B$ , y con una distancia entre usuarios dada por  $D_0^{A-B}$ . La figura del centro ( $t_1$ ) muestra que cuando la distancia entre los usuarios disminuye, el guía percibe ese cambio. Luego, en la derecha ( $t_2$ ), se ilustra que el guía ajusta su velocidad ( $V_2^A$ ) para esperar que el usuario guiado lo alcance. Para facilitar la lectura de la imágenes, en gris se ilustran posiciones pasadas, donde el gris más oscuro denota una posición anterior al gris más claro.
- *Índice de respuesta del usuario guiado (GDR)*. Este índice permite medir la reacción del usuario guiado cuando percibe que el guía cambia su posición. La respuesta esperada es que el usuario guiado imite todo movimiento del usuario guía. La Figura 5.7(b) ilustra la respuesta esperada del usuario guiado (avatar azul). En la izquierda ( $t_0$ ), los dos usuarios están caminando juntos lado a lado. En el centro ( $t_1$ ), el guía (avatar rojo) realiza un movimiento y cambia su posición. Luego, el usuario guiado percibe el cambio

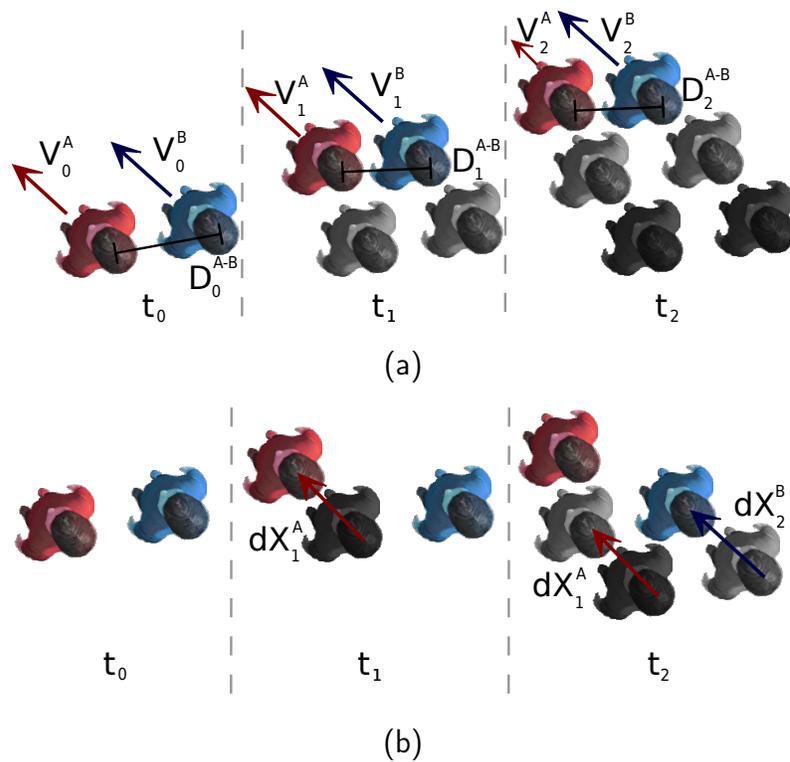


Figura 5.7: Reacción esperada de los usuarios en una caminata colaborativa, donde el avatar rojo ilustra al usuario guía y el azul al usuario guiado. En gris se ilustran posiciones anteriores, donde el color gris más oscuro denota un instante de tiempo previo. En (a) se ilustra la reacción esperada del guía, un ajuste en la velocidad. En (b) se ilustra la reacción esperada del guiado, imitar los movimientos del guía.

en la posición del guía ( $dX_1^A$ ) y, a la derecha ( $t_2$ ), realiza un cambio de posición ( $dX_2^B$ ), intentando seguir los movimientos del guía.

**Negociación** Si bien es claro que el proceso de negociación está presente de manera constante en una actividad colaborativa, para esta prueba específica la negociación se puede observar cuando los usuarios intercambian sus roles, siendo el tiempo empleado una métrica adecuada que indica el impacto del artefacto en este proceso.

- **Índice de tiempo de cambio de roles (TSR).** Este índice se calculó como el porcentaje del tiempo usado por el equipo para cambiar de rol, usando como referencia el tiempo total de navegación ( $T$ ). Para identificar los eventos de cambios de rol se detectaron los cambios en el signo ( $-a+$ ) del ángulo entre el vector de dirección entre los usuarios  $D_t$

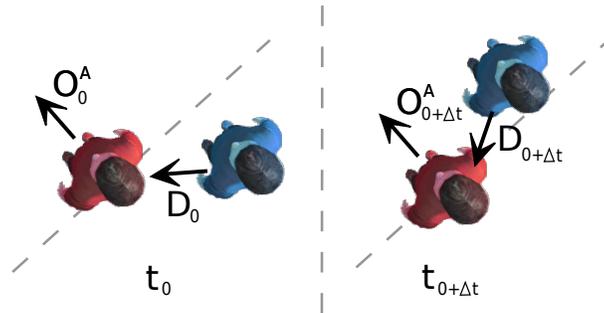


Figura 5.8: Evento de cambio de rol en la caminata colaborativa. A la izquierda el avatar rojo es el guía. A la derecha el avatar azul está preparado para asumir dicho rol

y el vector de vista del usuario guía ( $O_t^A$ ). La Figura 5.8 ilustra el proceso de cambio de roles. A la izquierda ( $t_0$ ) el equipo se acerca a la posición de cambio de rol. El usuario  $A$  (avatar rojo) es el guía y el ángulo entre  $D_0$  y  $O_0^A$  es  $> \frac{\pi}{2}$ . En la derecha, la situación  $\Delta t$  tiempo después, donde el usuario  $B$  está en posición de asumir el rol de guía. Nótese que el ángulo entre  $D_{0+\Delta t}$  y  $O_{0+\Delta t}^A$  es  $< \frac{\pi}{2}$ .

**Vista general** Esta característica está asociada a cómo el artefacto permite a los miembros del equipo tener una vista general de la actividad colaborativa. Para la actividad de caminar juntos, tener una visión general implica mantenerse cerca y agrupados. Si esto no sucede, una reacción natural del guía es detenerse para esperar al usuario guiado. Así, el tiempo en que el guía estuvo detenido permite medir problemas con la visión general de la tarea.

- *Índice del tiempo en que el guía estuvo detenido (TGS)*. Porcentaje del tiempo que el guía se detiene a esperar al usuario guiado, tomando como referencia el tiempo total de navegación ( $T$ ). Se excluye el tiempo tomado por los usuarios para realizar el cambio de rol.

**Cuestionarios y datos subjetivos** Aunque el objetivo principal de la evaluación era establecer cómo la colaboración es afectada por los artefactos de PA, el personal de evaluación definió que era pertinente incluir algunos aspectos de usabilidad, en inglés *usability*, ya que es una característica necesaria en cualquier artefacto de interacción. Por lo tanto, se diseñó un cuestionario que indagaba, para cada artefacto de PA, la percepción de los usuarios acerca de

Predecibilidad	
$RV$	$= 1 - \frac{1}{N} \sum_t \frac{\ \vec{V}_t^A - \vec{V}_t^B\ }{V_{max}}$
$UD$	$= 1 - \frac{1}{N} \sum_t \frac{D_t}{R_{PA}}$
Consciencia periférica	
$TV$	$= \frac{1}{2N} \sum_t \ (\vec{V}_t^A - \vec{V}_t^B)\ /V_{max}$
$NW$	$= \frac{1}{2N} \sum_t (\vec{O}_t^A \cdot \vec{O}_t^B)(1 -  \vec{O}_t^A \cdot \vec{D}_t )$
Comunicación implícita	
$GR$	$= 1 - \frac{1}{2N} \sum_t [f_D(\frac{1}{R_{PA}} d\vec{D}_{t-1}) - \frac{1}{V_{max}} \text{sing}(\vec{V}_t^A \cdot \vec{V}_{t-1}^A)] \ d\vec{V}_t^A\ $
$GDR$	$= 1 - \frac{1}{N} \sum_t f_D(\frac{1}{R_{PA}} \ d\vec{X}_{t-1}^A - d\vec{X}_t^B\ )$
Negociación	
$TSR$	$= 1 - \frac{1}{T} (\text{Tiempo empleado para el cambio de rol})$
Vista general	
$TGS$	$= 1 - \frac{1}{T} (\text{Tiempo en que el guía estuvo detenido})$
<i>donde,</i>	
$\Delta t$	$= t_i - t_{i-1}$ , tiempo de muestra del archivo de registro.
$N$	Número de muestras en el archivo de registro.
$A$	índice de etiqueta del guía.
$B$	índice de etiqueta del guiado.
$V_{max}$	= Velocidad máxima del avatar.
$R_{PA}$	= Radio de la zona de influencia de PA.
$\vec{X}_t^U$	= Posición del usuario $U$ en el tiempo $t$ .
$\vec{V}_t^U$	= Velocidad del usuario $U$ en el tiempo $t$ .
$\vec{O}_t^U$	= Vector de observación del usuario $U$ en el tiempo $t$ .
$D_t$	$= \ \vec{X}_t^A - \vec{X}_t^B\ $
$d\vec{D}_t$	$= D_t - D_{t-1}$
$d\vec{X}_t^U$	$= X_t^U - X_{t-1}^U$
$d\vec{V}_t^U$	$= V_t^U - V_{t-1}^U$
$f_D(X)$	$= \begin{cases} X, & \text{si } X < 1 \\ 1, & \text{en otro caso} \end{cases}$
$\text{sig}(X)$	signo de $X$ ; 1 0 -1.

Tabla 5.1: Conjunto de métricas calculadas en el Caso P. Se presentan las ecuaciones que describen cada métrica diseñada, cada una de ellas es normalizada entre 0 y 1. Para facilitar el proceso de análisis de los datos, el valor de algunas métricas se invierte ( $1 - \dots$ ), para que en todo caso 1 indique el valor deseable.

los aspectos de: utilidad (PU1), coherencia (PU2), facilidad de interpretación (PU3), confort (PU4), diversión (PU5) y desempeño general (PU6). Al final se incluía una pregunta de preferencia de uso (PU7), entre las que se agregó como opción de selección la condición base, con el fin de eliminar sesgos hacia cualquiera de los artefactos propuestos. Todas las respuestas fueron valoradas en una escala del 1 al 7. La Tabla 5.2 muestra las preguntas incluidas en este cuestionario. Es necesario recordar que todo el procedimiento de evaluación se realizó en Brasil, por tal razón se presentan las preguntas originales en portugués. Las preguntas de la PU1 a la PU6 fueron realizadas tres (3) veces, cada una indagando la usabilidad de cada artefacto diseñado.

PU1. Utilidad.	O <u>ARTEFACT</u> * o ajudou a se orientar em relação ao seu companheiro? (1) Atrapalhou demais (7) Extremamente útil
PU2. Coherencia.	O <u>ARTEFACT</u> * foi condizente com a posição real do seu companheiro? (1) Totalmente incoerente (7) Totalmente coerente
PU3. Interpretación.	Independente de ter sido condizente ou não, como julga a facilidade de interpretação do <u>ARTEFACT</u> * na identificação da posição do companheiro? (1) Extremamente difícil (7) Incrivelmente fácil
PU4. Confort.	Como você classificaria o <u>ARTEFACT</u> * em relação ao conforto? (1) Extremamente desconfortável (7) Extremamente confortável
PU5. Diversión.	Como você classificaria o <u>ARTEFACT</u> * em relação a diversão? (1) Extremamente chato (7) Muito muito divertido
PU6. Desempeño general.	Qualifica o desempenho geral do uso do <u>ARTEFACT</u> * (1) Péssima (7) Excelente
PU7. Preferencia.	**Qual das técnicas você achou melhor? Sonoro (vento) Visual (mini mapa) Tátil (vibração) É melhor sem nenhum deles

\* Se remplazó en cada aplicación por: {som do vento , mini mapa , estímulo tátil}  
\*\* Solo se aplicó solo una vez

Tabla 5.2: Preguntas aplicadas en el cuestionario de evaluación de usabilidad

Adicionalmente, se identificó la necesidad de incluir algunos aspectos de inmersión en el proceso de evaluación. Dado que las características de los artefacto de colaboración definidas por Robinson [Rob91] se establecieron como indicadores de interacción colaborativa, era necesario contar con un instrumento adicional dirigido hacia la componente de inmersión. De la revisión del estado del arte se identificó que el cuestionario propuesto por Schroeder y col. [Sch+01a] incluía elementos de inmersión y colaboración, además no era un cuestionario extenso y era

---



---

<i>1) Colaboración</i>	
PP1.	Percebi que o meu companheiro procurou me ajudar para que caminhássemos lado a lado?
	(1) Eu não percebi se ele me ajudou
	(7) Ele me ajudou muito
PP2.	Eu procurei ajudar para que caminhássemos lado a lado todo o tempo?
	(1) Eu acho que não ajudei nada meu companheiro
	(7) Eu acho que ajudei bastante o meu companheiro

---

<i>2) Contribución a la tarea</i>	
PP3.	Meu desempenho geral na tarefa de caminhar juntos foi?
	(1) Ruim
	(7) Muito bom
PP4.	O desempenho geral do meu companheiro na tarefa de caminhar juntos foi?
	(1) Ruim
	(7) Muito bom

---

<i>3) Presencia, en inglés presence</i>	
PP5.	Como você qualificaria a sensação de estar em uma floresta?
	(1) Eu não consegui esquecer que estava em um laboratório
	(7) Eu me senti totalmente presente em uma floresta

---

<i>4) Sensación de Visita Previa</i>	
PP6.	Com que intensidade você se sentiu parte do mundo virtual?
	(1) Eu senti que olhava uma floresta sem estar dentro dela
	(7) Eu senti como se estivesse dentro de uma floresta

---

<i>5) Co-presencia</i>	
PP7.	Como você qualifica sua sensação de estar no mesmo local que seu companheiro?
	(1) Eu nunca senti que eu e meu companheiro estávamos no mesmo local
	(7) Eu senti todo o tempo que eu e meu companheiro estávamos no mesmo local
PP8.	Quando você volta pensar agora na tarefa de caminhar junto a seu companheiro, como você qualifica sua sensação de que ambos estão no mesmo espaço físico?
	(1) Eu sinto como se meu companheiro estivesse num local distante de mim
	(7) Eu sinto que meu companheiro esta no mesmo local que eu

---

<i>6) Pregunta final de control</i>	
PP9.	Como você qualifica o foco dos seus sentidos na experiência?
	(1) Eu sempre percebi estímulos da sala do laboratório onde estava
	(7) Eu percebi apenas estímulos referentes ao ambiente virtual

---



---

Tabla 5.3: Preguntas aplicadas en el cuestionario de percepción de inmersión en el Caso P

un referente importante para evaluar la inmersión en un CVE. La propuesta de Schroeder y col. se compone de seis secciones: desempeño, colaboración, contribución a la tarea, presencia,

sensación de visita previa y co-presencia [Sch+01a]. Sin embargo, sólo se adaptaron las últimas cinco (5) secciones, dado que el cuestionario de usabilidad incluía aspectos de desempeño. Por último se incluyó una pregunta de control, la cual indagaba acerca de la atención sensorial del usuario en la prueba. La tabla 5.3 presenta las preguntas del cuestionario de percepción de inmersión, que eran valoradas en una escala del 1 al 7. De la misma forma que el cuestionario de usabilidad (tabla 5.2), se presentan las preguntas del cuestionario original, aplicado en portugués.

### Ejecución de las pruebas

Para la ejecución de los experimentos, el personal de apoyo recibió una completa capacitación en el uso del sistema desarrollado, equipos de VR y el diseño experimental. Se realizó una sesión de cuatro (4) experimentos no oficiales, con personal voluntario del laboratorio, que tenía la finalidad de observar el desarrollo de las pruebas, encontrar dificultades y hacer ajustes a las tareas de ejecución de los experimentos con los usuarios. Realizados los ajustes necesarios se inició el proceso de aplicación de los experimentos con los sujetos de prueba, el cual tuvo una duración de tres (3) semanas. Durante ese tiempo, se coordinó el proceso manteniendo una comunicación constante con el personal de apoyo, que incluía indagar acerca de la percepción del proceso de evaluación, haciendo énfasis en las dificultades que se identificaban.

**Hardware y equipo de experimentación** Para la aplicación de los experimentos se desarrolló un CVE que implementó toda la lógica de la actividad colaborativa, el cual permitía la inmersión simultánea de dos usuarios. En el entorno virtual cada usuario contaba con seis (6) grados de libertad, en inglés *Degrees of Freedom* (DoF); tres ángulos de visión en la cabeza (*yaw*, *pitch* y *roll*) y tres movimientos del avatar (*turn*, *forward-back* y *strafe*). Adicionalmente el usuario podía ver el movimiento de sus extremidades mapeado sobre su avatar, lo cual permitió incrementar la sensación de propiocepción. El entorno virtual incluyó además algunos sonidos naturales y sonidos de pasos de los dos usuarios.

El sistema fue ejecutado en dos estaciones de trabajo con sistema operativo *Windows 7 de 64 bits*, cada una con procesador Intel *i7 950* de 3,07 MHz, y 6 GB de memoria RAM. Cada estación de trabajo fue equipada con los siguientes dispositivos.

- Dos tarjetas gráficas ATI Radeon HD 5800 con 2 MB de RAM.

- Un casco de realidad virtual, en inglés *Head Mounted Display* (HMD), zSight Sensics, que permite una visualización inmersiva estéreo, con una resolución de  $1280 \times 1024$  píxeles y  $60^\circ$  de campo de visión horizontal. Este dispositivo estaba habilitado con audífonos, micrófono y un giroscopio para realizar el rastreo de los movimientos de la cabeza del usuario que proveen los tres ángulos de visión.
- Un gamepad que permite la navegación del usuario dentro del entorno virtual de acuerdo a los tres movimientos del avatar.
- Un sensor MS Kinect para realizar el seguimiento del movimiento de las extremidades del usuario que definen el movimiento de las extremidades del avatar.

Se adecuaron dos habitaciones separadas, para evitar la comunicación oral entre los usuarios. La figura 5.9 muestra dos usuarios en las habitaciones adecuadas para las pruebas y usando los equipos descritos anteriormente.

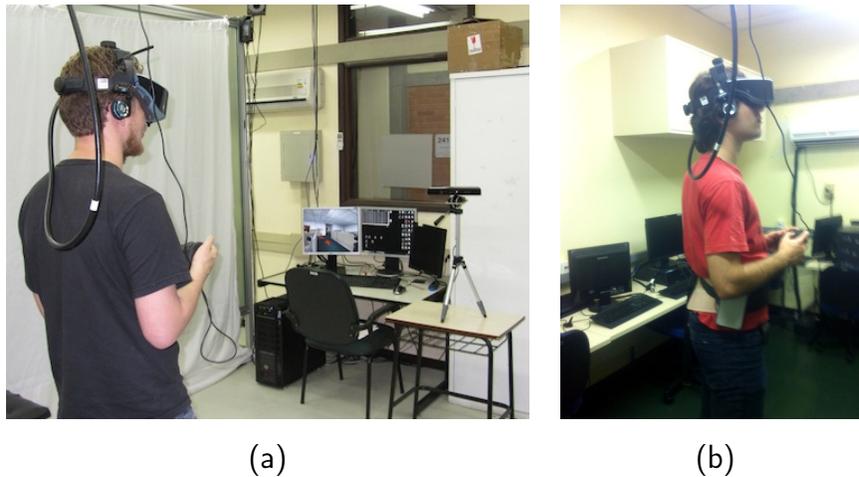


Figura 5.9: Hardware y equipo de experimentación usado. Las fotografías muestran dos personas con el equipo de VR usado durante las pruebas. Se observa la configuración de las dos habitaciones acondicionadas para las pruebas. Tanto en (a), como en (b) se observan el HMD y el gamepad empleados, adicionalmente en (a) es posible ver el dispositivo MS Kinect.

**Sujetos participantes** Se realizó una convocatoria abierta, a través de correo electrónico, a toda la comunidad académica del *Instituto de Informática da UFRGS*<sup>2</sup>. La invitación no incluyó

<sup>2</sup><http://www.inf.ufrgs.br/>

detalles particulares de las pruebas a ser realizadas, solo convocó voluntarios para participar en una prueba de VR.

La convocatoria fue atendida por 43 personas, 8 mujeres y 37 hombres. Como el experimento diseñado requería de equipos de dos personas se descartó el último voluntario registrado (un hombre), permitiendo conformar  $N = 21$  equipos, de acuerdo a la disponibilidad horaria registrada por cada persona. La población elegida contó con una edad promedio de 23,28 años con una desviación estándar de 3,9.

Los sujetos fueron caracterizados de acuerdo a los siguientes aspectos: condiciones físicas y de salud que pudieran afectar el uso de los equipos de VR, formación académica y experiencia en juegos de acción 3D y uso equipos de VR.

El 86 % de los voluntarios declaró ser diestro, y el 14 % restante, zurdo. El 50 % reportó no tener problemas de visión, mientras que el 36 % dijo padecer de miopía, el 27 % de astigmatismo y el 5 % de hipermetropía (tener en cuenta que la respuesta no es excluyente).

En cuanto al último nivel de formación académica aprobado, el 75 % reportó haber finalizado su educación media (bachillerato, secundaria), el 16 % ya contaba con título profesional y el 9 % restante contaban con formación de maestría.

Con relación a la experiencia en juegos de acción 3D, el 18 % declaró jugar todos los días, el 21 % una vez por semana, el 43 % afirmó jugar ocasionalmente, el 11 % haber jugado solo una vez en su vida y el 7 % reportó nunca haber jugado. En cuanto a sus habilidades, el 68 % se reconoció como buen jugador, el 5 % como muy bueno, el 9 % cree que juega razonablemente bien, el 5 % reconoció ser mal jugador y, el 6 % no tener experiencia previa. En cuanto a la experiencia de uso de equipos de VR, tan sólo el 5 % reportó haber tenido alguna experiencia en el uso de esta tecnología.

**Herramientas de apoyo a la evaluación** La ejecución de los cuatro (4) experimentos realizados para afinar los detalles del protocolo experimental evidenció la necesidad de contar con un protocolo que garantizara igualdad de condiciones en la información recibida por los equipos participantes con relación a la actividad que debían realizar y redujera la dependencia del personal ejecutor de las pruebas. En el primer caso, la diferencia de entrenamiento recibida por los sujetos puede generar sesgos importantes en el experimento. Por ejemplo, si a dos sujetos se le fue explicada la actividad de forma diferente, la comprensión de lo que deben realizar puede ser muy discrepante. De forma similar, una instrucción poco detallada del uso

de un dispositivo puede agregar dificultad a un determinado sujeto. En el segundo caso, la dependencia del diseñador del experimento o de la persona capacitada inicialmente para la ejecución de las pruebas, genera un alto riesgo que puede llevar incluso a la imposibilidad de concluir el experimento. En tal sentido se decidió implementar mecanismos que permitieran reducir estos inconvenientes.



Figura 5.10: Cuadros (*frames*) del video de capacitación de usuarios. El primer cuadro ilustra la forma de navegar el VE. El segundo cuadro muestra la forma correcta de calibrar la distancia entre los lentes del HMD, para confort de cada usuario. En el tercer cuadro se observan las indicaciones para realizar la caminata colaborativa.

Con relación a la información suministrada a los sujetos participantes se decidió estandarizar el proceso de instrucción, mediante la realización de un video de capacitación que indicaba cómo usar el equipo de realidad virtual (sección 5.2.3) y las instrucciones para realizar la caminata colaborativa. La figura 5.10 muestra tres (3) cuadros (*frames*) del video, donde se ilustra cómo usar el dispositivo de navegación, cómo usar el casco de realidad virtual, en inglés *Head Mounted Display* (HMD) y cómo realizar la caminata colaborativa.

Por otro lado, para reducir la dependencia del personal de apoyo para la ejecución de las pruebas, se diseñaron dos herramientas. La primera de ellas fue una bitácora o registro experimental (*experimental log*), que básicamente se trata de una tabla donde se encuentran un identificador del experimento (ID) y los parámetros de ejecución de cada uno de los ensayos. La figura 5.11 ilustra la bitácora usada en este caso de estudio. En dicho documento el personal de ejecución puede verificar directamente los parámetros del ensayo y debe consignar la fecha, hora inicial y final del experimento. De esta forma, se permite que cualquier persona, familiarizado con el proceso, pueda reanudar los experimentos luego de una pausa, sin temor a repetir o saltarse un experimento.

Adicionalmente, se definió un protocolo experimental detallado, que fue documentado como un algoritmo (usando pseudocódigo) a fin de facilitar su interpretación y seguimiento. Con esta herramienta se buscó minimizar cualquier error debido a la inadecuada comprensión del

Experiment ID	Date	Start time	End time	Test 1				Test 2				Test 3				Test 4			
				Path	PA Artefact	Initial role of user 1	Initial role of user 2	Path	PA Artefact	Initial role of user 1	Initial role of user 2	Path	PA Artefact	Initial role of user 1	Initial role of user 2	Path	PA Artefact	Initial role of user 1	Initial role of user 2
1	18/02/2013	10:23	11:05	Path2	Baseline	Guided	Guide	Path4	Sight	Guide	Guided	Path3	Touch	Guided	Guide	Path1	Hearing	Guide	Guided
2	18/02/2013	11:15	12:28	Path2	Baseline	Guide	Guided	Path1	Hearing	Guided	Guide	Path3	Sight	Guide	Guided	Path4	Touch	Guided	Guide
3	18/02/2013	13:42	14:13	Path4	Baseline	Guided	Guide	Path3	Touch	Guide	Guided	Path1	Sight	Guided	Guide	Path2	Hearing	Guide	Guided
4	18/02/2013	14:54	15:42	Path1	Baseline	Guide	Guided	Path2	Sight	Guided	Guide	Path3	Hearing	Guide	Guided	Path4	Touch	Guided	Guide
5	19/02/2013	13:46	16:33	Path1	Baseline	Guided	Guide	Path4	Touch	Guide	Guided	Path3	Sight	Guided	Guide	Path2	Hearing	Guide	Guided
6	19/02/2013	16:51	17:40	Path3	Baseline	Guide	Guided	Path2	Hearing	Guided	Guide	Path1	Touch	Guide	Guided	Path4	Sight	Guided	Guide
7	20/02/2013	10:22	11:15	Path2	Baseline	Guided	Guide	Path4	Hearing	Guide	Guided	Path1	Touch	Guided	Guide	Path3	Sight	Guide	Guided
8	20/02/2013	16:35	17:23	Path4	Baseline	Guide	Guided	Path3	Hearing	Guided	Guide	Path1	Sight	Guide	Guided	Path2	Touch	Guided	Guide
9	21/02/2013	10:05	11:02	Path4	Baseline	Guided	Guide	Path3	Hearing	Guide	Guided	Path1	Touch	Guided	Guide	Path2	Sight	Guide	Guided
10	21/02/2013	11:18	12:07	Path2	Baseline	Guide	Guided	Path3	Touch	Guided	Guide	Path1	Sight	Guide	Guided	Path4	Hearing	Guided	Guide
11	21/02/2013	15:17	16:10	Path4	Baseline	Guided	Guide	Path3	Sight	Guide	Guided	Path2	Touch	Guided	Guide	Path1	Hearing	Guide	Guided
12	21/02/2013	16:40	15:37	Path2	Baseline	Guide	Guided	Path4	Touch	Guided	Guide	Path1	Hearing	Guide	Guided	Path3	Sight	Guided	Guide
13				Path3	Baseline	Guided	Guide	Path1	Sight	Guide	Guided	Path2	Touch	Guided	Guide	Path4	Hearing	Guide	Guided
14				Path4	Baseline	Guide	Guided	Path2	Hearing	Guided	Guide	Path1	Sight	Guide	Guided	Path3	Touch	Guided	Guide
15				Path1	Baseline	Guided	Guide	Path2	Touch	Guided	Guide	Path3	Hearing	Guided	Guide	Path4	Sight	Guided	Guide

Figura 5.11: Bitácora experimental usada en este caso de estudio. Las primeras columnas muestran el identificador del experimento (ID), la fecha y horas inicial y final. La últimas columnas incluyen los parámetros para cada ensayo (*Test*). La fila en color azul claro indica el último experimento realizado.

procedimiento experimental o la posibilidad de olvido o cambio de orden de algunos de los pasos del procedimiento. El algoritmo 5.1 muestra el protocolo experimental que documenta el procedimiento descrito a continuación.

Cada experimento iniciaba con la observación del vídeo preparado para presentar a los usuarios en el uso de los equipos de realidad virtual y dar pautas generales de la actividad colaborativa. Posteriormente, a cada miembro del equipo se le dirigió hacia cada una de las salas acondicionadas para las pruebas, para diligenciar el cuestionario de caracterización. Luego, el equipo realizó un entrenamiento práctico (Pre-Test). Para no generar sesgos por recordación del escenario, el Pre-Test se ejecutó sobre un escenario 3D diferente al usado en los experimentos formales. Una vez finalizado el Pre-Test, se iniciaba formalmente el experimento en el que cada equipo realizaba la caminata colaborativa cuatro (4) veces (ensayos). El primer ensayo se efectuaba siempre sobre la condición base, con la finalidad de no agregar posibles sesgos, lo cual podía ocurrir si el equipo realizaba la actividad colaborativa por primera vez usando un artefacto de PA. Los siguientes tres (3) ensayos se realizaron con cada uno de los artefactos de PA. Con el fin de garantizar la independencia de los ensayos con respecto a las condiciones iniciales, el orden de evaluación de cada uno de los tres (3) artefactos, y la ruta sobre la cual se realizaría cada uno de los cuatro (4) ensayos, se precalculó usando permutaciones aleatorias. Con el mismo objetivo, se intercambiaba de un ensayo al otro y dentro de un mismo experimento,

el miembro del equipo que iniciaba como guía. Al finalizar cada uno de los tres (3) últimos ensayos se diligenciaba un cuestionario de percepción, y al final de todo el experimento un cuestionario de usabilidad. En el algoritmo se lista cada una de las entradas al procedimiento y se describe cada uno de los pasos a ser realizados, por ejemplo, en el paso 2 los sujetos deben ver el video capacitación, y en el paso 17 se deben verificar los parámetros del experimento consignados en la bitácora, etc.

Por último, se desarrolló una tercera herramienta para automatizar el proceso de configuración de los parámetros necesarios para la ejecución del CVE en cada uno de los ensayos de cada experimento, como son la ruta diseñada, el artefacto de PA y el rol inicial de los usuarios. Ésto fue necesario dado que se encontró que los errores en esta configuración, eran los más comunes de los observados en los experimentos de prueba. La figura 5.12 muestra la ventana de dialogo que permite ejecutar el CVE de forma automática. Se observa que los parámetros del experimento (cuadro rojo) son fijos, han sido pre-cargados desde un archivo de configuración y son actualizados al cambiar el identificador del experimento (cuadro verde).

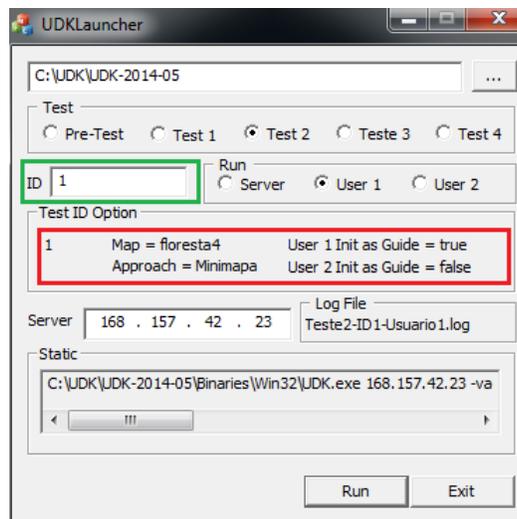


Figura 5.12: Ventana de dialogo de la aplicación desarrollada para ejecutar el CVE bajo los parámetros del experimento. Se resalta en verde el cuadro para ingresar el identificador (ID) del experimento, que permite actualizar los parámetros (cuadro rojo), los cuales no son modificables por el usuario.

**Algoritmo 5.1** Protocolo experimental para la evaluación de los artefactos de PA**Require:** . $Paths = \{path_1, path_2, path_3, path_4\}$  $Artefacts = \{hearing, touch, sight\}$  $team_k = \{m_{k,1}, m_{k,2}\}$ : Work team of experiment  $k$  $paths_{k,i}$ : List where,  $i = \{1, \dots, 4\}$ ,  $paths_{k,\cdot}$  = random permutation of  $Paths$  $artefacts_{k,i}$ : List where,  $i = \{1, 2, 3\}$ ,  $artefacts_{k,\cdot}$  = random permutation of  $Artefacts$  $guideFlag_{k,i}$ : List =  $\{\mathbf{true}, \mathbf{false}, \mathbf{true}, \mathbf{false}, \dots\}$ 

```

1: for  $ID = 1$  to Total-number-of-experiments do
2:    $\forall m \in team_{ID}$ ; Watch( $m_{ID,j}$ , trainingVideo)
3:    $\forall m \in team_{ID}$ ; Lead( $m_{ID,j}$ , roomj)
4:    $\forall m \in team_{ID}$ ; Fill( $m_{ID,j}$ , subjectCharacterizationQuestionnaire)
5:   execute procedure Pre-Test end execute
6:   Check-experimental-log( $ID$ ,  $test_1$ )
7:   execute procedure Collaborative-walking do
8:      $path = paths_{ID,1}$ 
9:      $artefact = baseline$ 
10:    if  $guideFlag_{ID,1} = \mathbf{true}$  then
11:      Start-as( $m_{ID,1}$ , guide) and Start-as( $m_{ID,2}$ , guided)
12:    else
13:      Start-as( $m_{ID,1}$ , guided) and Start-as( $m_{ID,2}$ , guide)
14:    end if
15:  end execute
16:  for  $i = 1$  to 3 do
17:    Check-experimental-log( $ID$ ,  $test_{i+1}$ )
18:    execute procedure Collaborative-walking do
19:       $path = paths_{ID,i+1}$ 
20:       $artefact = artefacts_{ID,i}$ 
21:      if  $guideFlag_{ID,i} = \mathbf{true}$  then
22:        Start-as( $m_{ID,1}$ , guide) and Start-as( $m_{ID,2}$ , guided)
23:      else
24:        Start-as( $m_{ID,1}$ , guided) and Start-as( $m_{ID,2}$ , guide)
25:      end if
26:    end execute
27:     $\forall m_j \in team_{ID}$ ; Fill( $m_{ID,j}$ , immersivePerceptionQuestionnaire)
28:  end for
29:   $\forall m \in team_{ID}$ ; Fill( $m_{ID,j}$ , usabilityQuestionnaire)
30: end for

```

### 5.2.4. Resultados

Todos los datos fueron sometidos a pruebas estadísticas para el contraste de hipótesis. Primero se realizó una prueba de normalidad, para lo cual se aplicó el test *Shapiro-Wilk*. El resultado permitió concluir que la mayoría de los datos recolectados (métricas y respuesta de los cuestionarios) no se ajustaban a una distribución normal, por lo cual se requería usar pruebas no paramétricas.

Para contrastar los resultados obtenidos con el conjunto de métricas, era necesario tener en cuenta que en un diseño intra-sujetos (*within-subjects*) las muestras son pareadas, ya que un mismo sujeto ha sido evaluado en ocasiones diferentes. Por lo tanto se aplicó una prueba de rangos con signo de *Wilcoxon*, para comparar la condición control (condición base) con cada una de las condiciones de prueba (artefactos de PA).

Se definió como hipótesis nula  $H_0^* =$  *La métrica  $IT_i$  calculada cuando un equipo realiza la caminata colaborativa sometido a la condición base tiene un valor igual o similar a la misma métrica  $IT_i$ , calculada cuando un equipo realiza la caminata colaborativa usando un artefacto de PA.* De esa forma, al descartar la hipótesis  $H_0^*$ , se aceptaría la hipótesis alterna  $H_1^* =$  *La métrica  $IT_i$  calculada cuando un equipo realiza la caminata colaborativa sometido a la condición base es diferente al valor de la misma métrica  $IT_i$ , calculada cuando un equipo realiza la caminata colaborativa usando un artefacto de PA.*

La Tabla 5.4 presenta los resultados de la evaluación. Cada columna presenta las cuatro condiciones experimentales, es decir la condición base y cada uno de los artefactos de proximidad. En las filas, para cada métrica se presenta el valor promedio ( $\mu$ ), la desviación estándar  $\sigma$  y, la probabilidad  $p$  de aceptar la hipótesis nula ( $H_0^*$ ) en la prueba de rangos con signo de *Wilcoxon*. Resultados en negrita se presentan los casos en los cuales es posible descartar la hipótesis nula ( $p < 0,1$ ). Entonces, se observa que se encontró una diferencias estadísticamente significativa en las métricas UD, NW y GR, entre la condición base y los artefactos visual y táctil. En la métrica GDR únicamente se encontró diferencia estadística entre la condición base y el artefacto visual, mientras que en la métrica TSR la diferencia estadística se identificó entre la condición base y el artefacto auditivo.

La última fila corresponde al índice de colaboración, en inglés *Collaboration Index* (CI), el cual es calculado como la suma ponderada del valor de cada métrica por un peso  $W_i$ . La columna más a la derecha muestra los pesos asociados a las métricas usados para calcular el índice de colaboración. Se observa que cada peso se obtiene al promediar la probabilidad de aceptar la

Métrica ( $IT_i$ )		Condición base (B)	Táctil (T)	Visual (S)	Auditivo (H)	* $W_i$
<i>Predecibilidad</i>						
RV	$\mu$	0.274	0.316	0.305	0.285	0.550
	$\sigma$	0.096	0.081	0.147	0.153	
	$p$	–	0.100	0.247	1.000	
UD	$\mu$	0.274	<b>0.355</b>	<b>0.401</b>	0.285	0.679
	$\sigma$	0.133	<b>0.148</b>	<b>0.173</b>	0.158	
	$p$	–	<b>0.015</b>	<b>0.004</b>	0.940	
<i>Consciencia periférica</i>						
TV	$\mu$	0.274	0.320	0.272	0.268	0.376
	$\sigma$	0.115	0.07	0.136	0.149	
	$p$	–	0.191	0.970	0.708	
NW	$\mu$	0.539	<b>0.566</b>	<b>0.587</b>	0.546	0.733
	$\sigma$	0.043	<b>0.058</b>	<b>0.083</b>	0.057	
	$p$	–	<b>0.025</b>	<b>0.009</b>	0.765	
<i>Comunicación implícita</i>						
GR	$\mu$	0.835	<b>0.857</b>	<b>0.860</b>	0.840	0.705
	$\sigma$	0.046	<b>0.041</b>	<b>0.060</b>	0.053	
	$p$	–	<b>0.022</b>	<b>0.010</b>	0.851	
GDR	$\mu$	0.973	0.976	<b>0.979</b>	0.975	0.749
	$\sigma$	0.010	0.006	<b>0.008</b>	0.007	
	$p$	–	0.191	<b>0.009</b>	0.550	
<i>Negociación</i>						
TSR	$\mu$	0.921	0.937	0.929	<b>0.940</b>	0.790
	$\sigma$	0.040	0.034	0.02	<b>0.021</b>	
	$p$	–	0.191	0.390	<b>0.047</b>	
<i>Vista general</i>						
TGS	$\mu$	0.707	0.683	0.728	0.708	0.413
	$\sigma$	0.090	0.085	0.136	0.156	
	$p$	–	0.370	0.478	0.910	
$CI = \sum_{i=1}^8 (IT_i W_i)$		0.397	0.414	0.419	0.401	–

$$* W_i = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 (1 - p_k)$$

Tabla 5.4: Resultado del cálculo de las métricas asociadas a las características de Robinson de un artefacto de colaboración [Rob91], y de la aplicación del test de rangos con signo de *Wilcoxon*, para comparar el valor medido al realizar la caminata colaborativa con la condición base y con cada artefacto de PA.

hipótesis alterna ( $H_1^* =$ ) de las pruebas de rangos con signo de *Wilcoxon*, es decir  $1 - p$ . Se observa que el resultado de la ponderación reporta mayor índice de colaboración para todos los artefacto de PA, donde el artefacto visual muestra el índice más alto.

Pregunta		Auditivo (H)	Visual (S)	Táctil (T)
PU1 $p > 0,001$	$\mu$	<b>4.4</b>	<b>6.1</b>	<b>4.5</b>
	$\sigma$	<b>1.86</b>	<b>1.29</b>	<b>1.83</b>
PU2 $p > 0,001$	$\mu$	<b>5.5</b>	<b>6.2</b>	<b>4.7</b>
	$\sigma$	<b>1.10</b>	<b>0.96</b>	<b>1.97</b>
PU3 $p > 0,001$	$\mu$	<b>5.1</b>	<b>6.3</b>	<b>4.7</b>
	$\sigma$	<b>1.14</b>	<b>1.09</b>	<b>1.83</b>
PU4 $p = 0.031$	$\mu$	<b>5.3</b>	<b>5.3</b>	<b>4.5</b>
	$\sigma$	<b>1.51</b>	<b>1.61</b>	<b>1.69</b>
PU5 $p = 0.652$	$\mu$	4.9	4.5	4.8
	$\sigma$	1.56	1.87	1.80
PU6 $p = 0.05$	$\mu$	5.3	5.5	4.7
	$\sigma$	1.18	1.23	1.62
PU7	%	Auditivo: 28,57 Táctil: 16,67	Visual: 47,62 Condición base: 7,14	

Tabla 5.5: Resultados del cuestionario de usabilidad aplicado (tabla 5.2). Se incluyen los resultados de aplicar un análisis de varianza con un test *Kruskal-Wallis* entre las respuestas para cada artefacto de PA.

Para contrastar los datos obtenidos de la aplicación de los cuestionarios se realizó un análisis de varianza, con una prueba *Kruskal-Wallis*, teniendo en cuenta que se desea establecer si existen diferencias significativas entre las respuestas asociadas a cada una de las condiciones de prueba (artefactos de PA). Así, se plantea como hipótesis nula  $H_0^{**} =$  Las respuesta obtenidas para cada artefacto de PA son iguales o similares.

La tabla 5.5 muestra los resultados obtenidos en el cuestionario de usabilidad. En la primera columna se incluye la probabilidad de aceptar la hipótesis nula. Las columnas más a la derecha presenta el resultado de las respuestas para cada artefacto de PA. En cada fila se muestra la media ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) de las respuestas a cada pregunta. Se resalta en negrita los valores en los cuales es posible descartar la hipótesis nula ( $p < 0,1$ ), donde se observa que se encontró una diferencia estadística significativa para las cuatro (4) primeras preguntas, la que corresponden a utilidad, coherencia, interpretación y confort. La última fila presenta en

porcentaje (%) los resultados a la pregunta acerca de la preferencias de las condición bajo las cuales se realizó la caminata colaborativa. Se puede afirmar que los usuarios mostraron mayor preferencia del artefacto visual (47,62%), seguido de los artefactos auditivo (28,57%) y táctil ((16,67%), y una baja preferencia por la condición base (7,14%)

Pregunta		Auditivo (H)	Visual (S)	Táctil (T)
PP1 $p=0.474$	$\mu$	6.3	6.0	5.9
	$\sigma$	0.77	0.73	0.99
PP2 $p=0.552$	$\mu$	6.0	5.8	5.8
	$\sigma$	1.70	1.193	1.20
PP3 $p=0.862$	$\mu$	5.0	4.5	4.5
	$\sigma$	2.00	2.35	2.06
PP4 $p=0.137$	$\mu$	5.3	3.6	4.3
	$\sigma$	1.49	2.14	1.99
PP5 $p=0.198$	$\mu$	4.7	4.8	4.0
	$\sigma$	1.35	1.02	1.65
PP6 $p=0.080$	$\mu$	4.5	5.0	4.8
	$\sigma$	1.38	0.95	1.84
PP7 $p=0.430$	$\mu$	5.0	5.5	4.8
	$\sigma$	1.70	1.24	1.37
PP8 $p=0.469$	$\mu$	4.8	5.3	4.6
	$\sigma$	2.20	0.98	1.60
PP9 $p=0.576$	$\mu$	5.5	5.3	5.0
	$\sigma$	1.37	1.07	1.59

Tabla 5.6: Resultados del cuestionario de percepción de inmersión aplicado (tabla 5.3). Se incluyen los resultados de aplicar un análisis de varianza con un test *Kruskal-Wallis* entre las respuesta para cada artefacto de PA.

La tabla 5.6 muestra los resultados del cuestionario de percepción de inmersión. En la primera columna se incluye la probabilidad de aceptar la hipótesis nula de la prueba *Kruskal-Wallis*. En las siguientes columnas se presenta el resultado de las respuestas para cada artefacto de PA. En cada fila se muestra la media ( $\mu$ ) y desviación estándar ( $\sigma$ ) de las respuesta dadas al cuestionario. Se observa que en ninguna pregunta es posible descartar la hipótesis nula, y por la tanto no se encontró diferencia significativa para ninguna de las preguntas.

### 5.3. Análisis

El objetivo del proceso de experimentación diseñado era aceptar o rechazar la hipótesis  $H_{5,4}$ , para lo cual se calcularon ocho (8) métricas asociadas a cinco (5) indicadores de colaboración, dos (2) de predecibilidad, dos (2) de consciencia periférica, dos (2) de comunicación implícita, uno (1) de negociación y uno (1) de vista general. Como se indicó en la sección 5.2.4, los resultados obtenidos mostraron en cinco (5) métricas diferencias estadística significativas entre la caminata colaborativa realizada usando algún artefacto de PA y aquella realizada sin usar ningún artefacto, es decir con la (condición base). La figura 5.13 muestra gráficamente los resultados obtenidos en las cinco (5) métricas que muestran resultados estadísticamente significativos, las cuales son: distancia entre usuarios (UD), caminata natural (NW), respuesta del guía (GR), respuesta del guiado (GDR) y tiempo de cambio de roles (TRS). La figura 5.13 está dividida por columnas, cada una representa un indicador de colaboración, se aclara que para el indicador de vista general ninguna métrica generó resultados significativos.

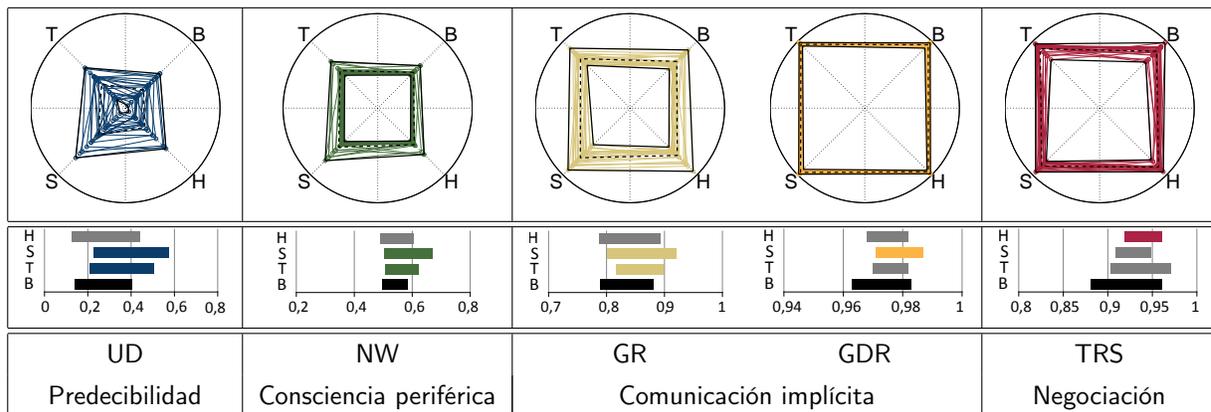


Figura 5.13: Gráfico de las métricas con diferencia estadísticamente significativa. Las gráficas superiores representan en forma radial el resultado de cada equipo. Las líneas negras indican los valores máximos y mínimos, las punteadas el valor promedio. Las gráficas inferiores muestran los valores medios. El ancho de la barra representa la desviación estándar. Las barras negras indican el valor de la condición base, las grises los artefactos sin diferencia significativa.

La fila superior de la figura 5.13 incluye gráficos radiales que representan el comportamiento de todos los equipos, tanto bajo la condición base (B), como con cada artefacto de PA (auditivo, *hearing* (H); táctil, *touch* (T); y visual, *sight* (S)). Sobre cada radio se ubica el vértice de un polígono, en una escala de cero (0 a uno (1)), donde el valor de uno (1) se representaría

como un vértice sobre la circunferencia. Un polígono muestra el valor de una métrica para las cuatro condiciones, es decir los tres artefactos de PA (H,S,T) y la condición base (B). Para cada gráfico, los polígonos de color representan la métrica calculada para los 21 equipos que realizaron la prueba, los polígonos de color negro ilustran los valores máximos y mínimos obtenidos, y el polígono de línea punteada, el valor medio. La fila del centro muestra tendencia central para cada artefacto, donde cada barra se presenta centrada en el valor medio, y su ancho mide dos (2) veces la desviación estándar. La barra negra muestra el comportamiento para la condición base en cada métrica y las barras grises representan el valor medido para los artefactos en los que no se encontró diferencia estadísticamente significativa.

En todos los datos promedio se observa una mejora con respecto a la condición base, siendo más notorio para los casos en que se encontró diferencias significativas. Lo anterior permite afirmar que el uso de los artefactos de PA mostró mejoras significativas en cuatro (4) de los cinco (5) indicadores propuestos, resaltándose el indicador de comunicación implícita, para el cual las dos métricas calculadas entregaron resultados significativos para los artefactos visual y táctil. También se puede observar que el artefacto visual presenta un mejor desempeño que los otros dos, además de presentar resultados significativos en cuatro (4) de las métricas propuestas. Un comportamiento contrario se observa en el artefacto auditivo, que es superado en la mayoría de los casos por los otros dos artefactos y solo presentó resultados significativos para una de las métricas propuestas. Los gráficos radiales muestran que las métricas de UD y NW tienen una clara tendencia en pico hacia el artefacto visual y más plana hacia la condición base, lo cual indica una evidente mejora en los índices de colaboración asociados a dichas métricas. El mismo comportamiento se evidencia de forma más suave para la métrica GR, pero, en las métricas GDR y TSR se observa una forma más simétrica, lo que permite visualizar un comportamiento más homogéneo.

Todo lo anterior permite confirmar que la hipótesis  $H_{5,4}$  es correcta, el uso de artefacto de PA mejora significativamente cuatro (4) de los cinco (5) indicadores de colaboración propuestos, medidos en una caminata colaborativa. Además, los datos no significativos muestran también un mejor comportamiento en la mayoría de los casos.

La figura 5.14, muestra los resultados de las impresiones subjetivas de los usuarios consignadas en las cuatro (4) primeras preguntas del cuestionario de usabilidad (tabla 5.2), las cuales corresponden respectivamente a los criterios de utilidad, coherencia, interpretación y confort. Es necesario recordar que sólo en las respuestas a esas preguntas se encontró diferencias estadísti-

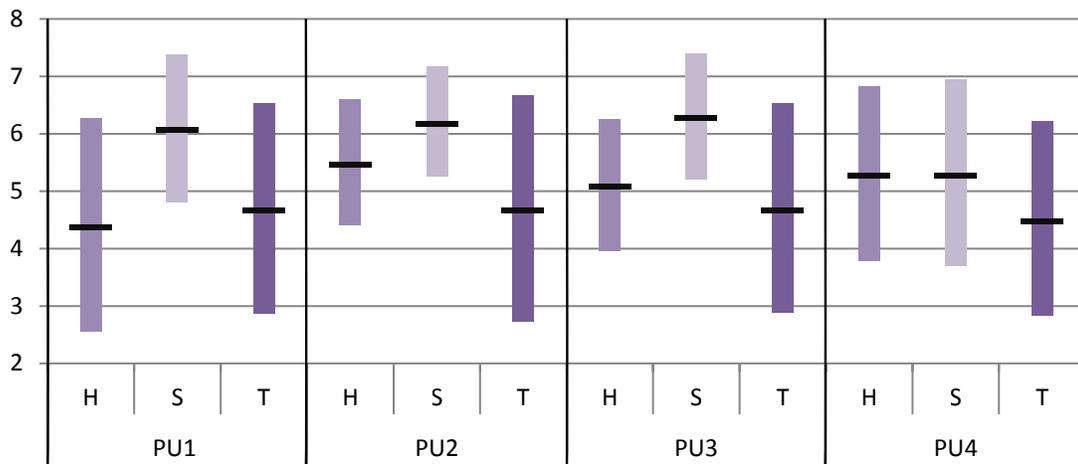


Figura 5.14: Resumen gráfico de los resultados de las cuatro (4) preguntas con significancia estadística del cuestionario de usabilidad. En cada pregunta se muestra la valoración subjetiva de los artefactos de PA. Las líneas horizontal representa el valor medio y el alto de cada barra vertical la desviación estándar.

cas, incluyendo los dos cuestionarios aplicados. La gráfica muestra con una línea negra vertical el valor promedio de cada respuesta, donde el alto de cada barra es dos veces la desviación estándar. Se observa una marcada preferencia por el artefacto visual en todas las respuestas. El artefacto táctil presenta las impresiones más bajas, pero muestra gran variabilidad, incluso para las tres primeras preguntas, los máximos presentan valores más altos a los máximos del artefacto auditivo. Entonces es posible afirmar que se identificó una preferencia significativa por el artefacto visual, frente a las otras dos opciones.

Un análisis global de los datos, sin considerar de forma excluyente las métricas que no presentaron diferencia estadísticamente significativa, se presenta en la figura 5.15.

Las gráficas de la primera columna muestran el índice de colaboración, en inglés *Collaboration Index* (CI), el cual se calculó como una suma ponderada de todas las métricas, usando como peso el resultado  $1 - p$ . La gráfica de barras muestra que el artefacto visual presenta el mayor índice de colaboración, seguido por el táctil. La gráfica radial evidencia ese hallazgo con dos picos más pronunciados hacia los artefactos visual y táctil, que indican los máximos desempeños se presentaron con esos dos artefactos. También se puede observar que el CI más bajo se obtuvo con el artefacto auditivo. La gráfica central muestra el comportamiento de los cinco (5) indicadores de colaboración basados en las características de Robinson para un artefacto de colaboración [Rob91]. Cada indicador fue calculado como una suma ponderada de las métricas

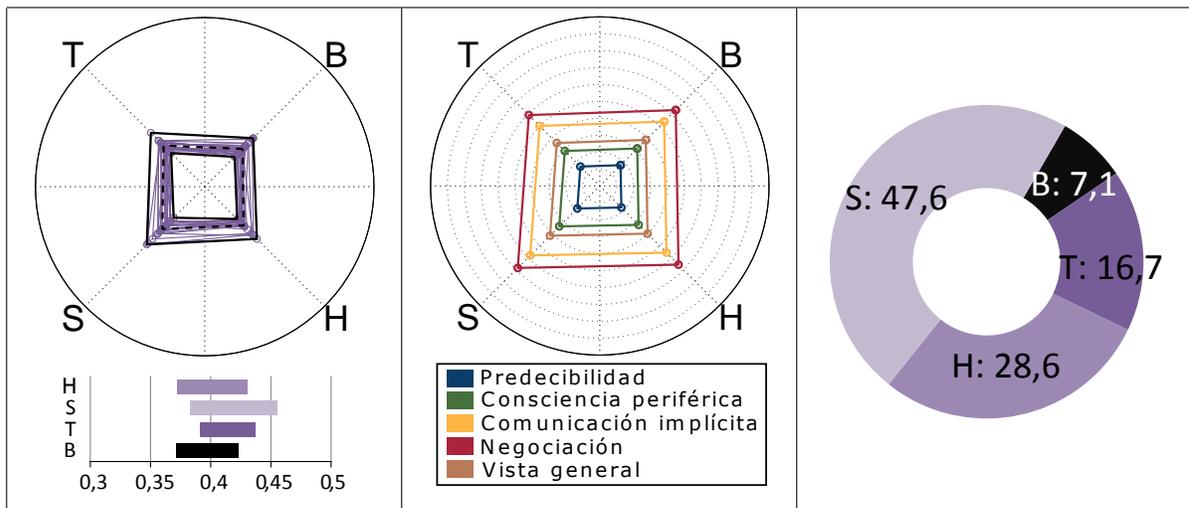


Figura 5.15: Resumen gráfico del comportamiento general observado. La columna de la izquierda muestra tendencia central del conjunto de los cinco indicadores de colaboración. La columna de la mitad ilustra el índice global de colaboración de cada equipo, donde las líneas negras muestran los valores máximos y mínimos, y la línea punteada la tendencia central. La columna a la derecha presenta la preferencia subjetiva de los usuarios.

correspondientes, usando los mismos pesos del CI. Las gráficas muestran las misma tendencia del CI, dos picos mayores en los artefactos visual y auditivo. También se evidencia que los índices más altos son los de negociación y comunicación implícita. Teniendo en cuenta que toda comunicación verbal fue eliminada durante los experimentos, es posible afirmar que los artefacto de PA generaron canales alternos de comunicación que permitieron mejorar la colaboración entre los miembros del equipo, en comparación con la condición base. La última columna presenta el resultado la de preferencia subjetiva de los usuarios, consignada en la última pregunta del cuestionario de usabilidad (tabla 5.2). Se observa una marcada preferencia por el artefacto visual, seguido por el auditivo y el táctil. Por tal razón no posible afirmar contundentemente cuál de los tres artefactos es el mejor, aunque el artefacto visual mostró el mejor comportamiento en todos los resultados.

## 5.4. Conclusiones

El desarrollo de este caso de estudio permitió integrar enfoques, métodos y procedimientos del estado del arte, y la experiencia de los grupos de investigación participantes (IDIS y CG-

INF), en conducir evaluaciones de interacción en 3D y colaboración. De forma coherente a lo reportado en la literatura [RMN15; Jor+13; Reu+13], los expertos en interacción en 3D y VR mostraron preferencia por un enfoque cualitativo de evaluación experimental soportada en un procedimiento basado en banco de pruebas, en inglés *testbed* [BJH99; BJH00]. sin embargo, la experiencia del grupo IDIS, en el desarrollo de modelos de evaluación basado en indagación cualitativa, fue fundamental en el diseño riguroso de la actividad colaborativa y la definición de los métodos de observación. En el caso del diseño de la actividad colaborativa, se tuvo especial cuidado en definir con claridad el objetivo o la tarea que debía realizar el equipo. En este punto era importante lograr un balance entre las ventajas que da la observación del individuo en un contexto similar a las condiciones naturales (actividad libre) y aquellas de contar con un entorno controlado que garantizara las condiciones de evaluación (actividad restringida), con lo cual, se optó por realizar la evaluación bajo una tarea simple desde el punto de vista de interacción en 3D, pero que exigiera una ejecución en la que la colaboración emergiera naturalmente. Así, caminar por un sendero o buscar la salida de un lugar, eran actividades libres, pero bajo ciertas características como la responsabilidad individual, el trabajo igualitario y la interdependencia positiva en una actividad [Col03; Col+12], garantizaba la colaboración.

El proceso de evaluación incluyó la ejecución de 20 ensayos con equipos diferentes, en el que intervinieron también diferentes ejecutores. Un aspecto crucial para la culminación exitosa de estos experimentos fue el riguroso control que se realizó sobre los diferentes aspectos que, por la subjetividad del ejecutor, podrían intervenir en el desarrollo de cada uno de ellos. Así, fue posible estandarizar la información e instrucciones que cada sujeto participante recibía, y el orden en el que se realizaba cada uno de los pasos del procedimiento. Lo anterior, permitió minimizar la intervención del personal ejecutor y garantizar que todos los experimentos se realizarán en igualdad de condiciones.

Por otro lado, el diseño comparativo intra-sujetos (*within-subject*) fue adecuado, dado el número de sujetos que atendieron a la convocatoria. Como es sabido, una comparación entre-sujetos (*between-subject*) requiere de tantos grupos de voluntarios como condiciones de prueba, 4 para este caso, y además, en caso de trabajo en grupo, el número de voluntarios se multiplica por el tamaño de equipo. Es decir, para tener una comparación entre 20 ensayos se requería  $4 * 2 * 20 = 160$  voluntarios, mientras que una comparación intra-sujetos del mismo tamaño comparativo de ensayos, solo requería  $2 * 20 = 40$  voluntarios. Este tipo de evaluación, presenta ventajas adicionales, ya que cuando un mismo grupo de usuarios es sometido a las mismas condiciones de un experimento, se puede afirmar que las observaciones no dependen de

las diferencias muestrales entre el grupo control y los de prueba. Para ello, se requirió realizar un diseño experimental que permitiera eliminar sesgos del orden de aplicación de las pruebas, recordación de ambientes, memoria y experiencia del sujeto, entre otros.

por último, y con relación a los indicadores que permiten determinar el impacto de un artefacto de  $I + I$  en la colaboración, se identificó en la literatura un conjunto de métricas e indicadores de colaboración aplicados a diferentes contextos, pero que presentaba dificultades para su aplicación a interacción en ambientes 3D como que: eran diseñados específicamente para una actividad colaborativa en particular o que sólo eran resultado de una observación cualitativa [NCR04; BB14; WW08]; algunas de las métricas e indicadores se orientaba a medir la colaboración como un proceso de mediano y largo plazo [Her+07; Mat11], y no eran aplicables a tareas de interacción de corto plazo, como mover un objeto o dar algunos pasos; por último, los indicadores más flexibles se orientaban a medir procesos colaborativos de alto nivel, pero no permitían establecer una relación entre los elementos de interacción y la colaboración [HKM12; Kar+13; CCC08; Col+12]. Lo anterior motivó la búsqueda de indicadores que permitieran evidenciar una relación directa entre las tareas de interacción que ejecuta el usuario y los procesos que se desarrollan en una actividad colaborativa en instantes de corto plazo. De esta forma se propuso usar como indicadores de colaboración, las cinco (5) características de Robinson de un artefacto de colaboración, las cuales definen de forma teórica y general la manera como un artefacto con el cual un usuario interactúa debe contribuir en los procesos de colaboración. A partir de estos indicadores se definió un conjunto de ocho (8) métricas específicas de la actividad colaborativa diseñada: dos (2) de predecibilidad, dos (2) conciencia periférica, dos (2) de comunicación implícita, una (1) de negociación y una (1) de vista general, las cuales podían ser calculadas sobre instantes cortos de tiempo o ponderadas para tiempo de duración de toda la actividad.

De acuerdo a los resultados experimentales, las métricas diseñadas fueron útiles para determinar el efecto del uso de estrategias de PA para promover la colaboración en el desarrollo de una tarea en un CVE. De esta manera se evidencia de los indicadores propuestos son adecuados para medir la colaboración en este tipo de entornos. Más aun, la evaluación por indicadores específicos provee mayor información sobre las características de la colaboración que no puede ser extraída de un indicador global. Así, este caso mostró cómo, por ejemplo, el indicador de vista general no aportó de manera significativa a la evaluación de la colaboración, dado que la tarea por sí misma no se enfocaba en esta característica, mientras que los indicadores de predecibilidad,

consciencia periférica, comunicación implícita y la negociación sí fueron significativos en la evaluación, por ser implícitamente requeridas en el mismo diseño de la tarea.

## Capítulo 6

# Caso de estudio: Composición colaborativa en pantallas de gran formato

*“When designing systems to support collaborative work we can learn a great deal from observations of people working and collaborating together in conventional settings.”*

[CS98]

Este caso de estudio, se desarrolló al interior del *Grupo de Investigación en Computación Visual Imagine*<sup>1</sup>, asociado al *Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación* de la *Universidad de los Andes* (UANDES) en Colombia, y fue el segundo caso que se ejecutó con fines de exploración y proposición investigativa. Desde el interior del grupo de investigación Imagine se participó en un proyecto en ejecución (una tesis de maestría), que pretendía formular y diseñar un nuevo artefacto para interactuar con una pantalla de gran formato, en inglés *big screen* o *large screen*. Así éste se constituye en un caso de desarrollo y evaluación en un contexto real, no acotado, ni restringido.

El personal de investigación estuvo conformado por un experto en colaboración (Universidad del Cauca), un experto en interacción tridimensional (3D) y realidad virtual, en inglés *Virtual Reality* (VR) (UANDES), un estudiante de maestría y un estudiante de doctorado. Los dos últimos, responsables de todo el proceso de desarrollo de los artefactos de interacción y del diseño, ejecución y análisis de la evaluación; bajo la constante asesoría de los dos primeros.

---

<sup>1</sup><https://imagine.uniandes.edu.co>

La participación en el grupo Imagine incluyó además asesorar, como co-director, la tesis de maestría “*Igrafi - Sistema multi-usuario para interacción colaborativa sobre una imagen proyectada*” [Ram13]. Asesoría que se centró en el diseño y desarrollo de los elementos de consciencia, en inglés *awareness* y, en el planeamiento, diseño y ejecución de la validación experimental. Dicho trabajo aportó las herramientas para realizar la evaluación y análisis de datos que se se presenta al final de este capítulo, los cuales contribuyeron a la construcción de la metodología diagnóstica de la conformidad de los artefactos de consciencia compartida, en inglés *Conformity Diagnosis of Common Awareness Artefacts* (CD-CAA).

A continuación se describen cada una de las tres (3) etapas de este caso de estudio, aclarando que la sección de análisis (sección 6.3), presenta un análisis conjunto que incluyó hallazgos tanto de este caso de estudio como del Caso **P**, lo cual permitió que, como se mencionó en el capítulo 4, se generara una versión completa del enfoque de evaluación CD-CAA.

## 6.1. Especificación

Con el desarrollo de este caso de estudio se buscó establecer los elementos definitivos para evaluar cómo un artefacto de interacción e inmersión (I+I) afecta el proceso de colaboración de un equipo de trabajo, y con ellos desarrollar la primera aproximación completa del enfoque metodológico que se buscaba proponer, tomando como punto de partida la aproximación metodológica y los hallazgos reportados en el Caso **P**. De esta manera, se buscaba dar respuesta a las siguientes preguntas 1) ¿qué elementos de la aproximación metodológica definida en el Caso **P** se aplican directamente a este nuevo caso de estudio, cuáles requería ser ajustadas y cómo debía realizarse tal ajuste?, 2) ¿son los indicadores, definidos en el caso **P**, aplicables para medir la colaboración en otras tareas básicas de interacción, como la selección y la manipulación?, 3) ¿existen elementos que afectan la colaboración en un ambiente virtual colaborativo, que no hayan sido considerados por los indicadores de colaboración diseñados en el caso **P**, cuáles?, y 4) ¿cómo se relacionan los indicadores de colaboración propuestos con los procesos cognitivo de inmersión e interacción?.

Al igual que en el Caso **P**, se estableció como premisa el realizar la evaluación sobre un caso real, sin ninguna restricción o acotamiento que posibilitara sesgar los resultados obtenidos. Entre los diferentes proyectos de interacción con elementos de colaboración que desarrollaba el grupo Imagine, se seleccionó uno que buscaba desarrollar un artefacto de interacción que permitiera

la composición creativa en una pantalla de gran formato, con dimensiones similares a las de un muro. Como parte de los objetivos de este proyecto se buscaba proveer una interacción casual, colaborativa y simultánea de un grupo de usuarios, emulando el arte callejero del graffiti. Un aspecto que requirió especial consideración fue que este caso solo incluía tareas de interacción sobre un plano bidimensional. Sin embargo, teniendo en cuenta que este tipo de interacción puede tomarse como un caso particular de interacción en 3D, implementada incluso por algunos sistemas de visualización 3D colaborativa, en inglés *Collaborative 3D Visualization (C3V)*, se optó por aceptar éste como el segundo caso de estudio de esta investigación.

A través del método de observación participante, en inglés *participant observation* [Kaw05], el autor de esta tesis pudo analizar cómo el personal de investigación ejecutaba el proceso de evaluación propuesto, el cual se ejecutó con una metodología similar a la usada en el primer caso de estudio; mesas de trabajo periódicas para verificar el estado del desarrollo del proyecto, en la etapa inicial, y el proceso de evaluación, en la etapa final; además de hacer uso de un diario de campo, en inglés *field diaries*, como herramienta de registro de la metodología de observación participante [Kaw05]. A continuación se describe la etapa de aplicación del caso de estudio, que describe los detalles de los elementos de evaluación aplicados.

## 6.2. Aplicación

### 6.2.1. Problema de I+I

El problema de interacción e inmersión (I+I), abordado en este caso de estudio, estuvo definido por los objetivos planteados en el proyecto seleccionado al interior del Grupo Imagine. El cual correspondía a desarrollar un artefacto de I+I, inspirado en el arte callejero del graffiti, que permitiera una interacción multiusuario simultánea, casual y colaborativa. En este caso, la interacción colaborativa era un aspecto fundamental que incluía además elementos de inmersión cognitiva (interacción con un muro virtual), que implementaban tareas que no habían sido consideradas en el caso anterior, como lo son la selección y la manipulación.

La necesidad de interactuar con una pantalla de gran formato, para emular el arte del graffiti callejero, define por sí misma algunos problemas de I+I que debían ser considerados. En tal caso, era importante tener en cuenta que la interacción en este tipo de dispositivos está generalmente restringida y acotada a espacios altamente controlados, como salas de juntas

pre-acondionadas o laboratorios diseñados para la visualización de datos. En estos espacios la interacción se logra con dispositivos equipados con sensores inerciales y ópticos que permiten identificar la posición ( $x, y, z$ ) en la sala y la inclinación ( $yaw, roll$  y  $pitch$ ) del dispositivo apuntador. A manera de ejemplo, la figura 6.1 muestra una sala de visualización acondicionada por Petrobras para la visualización de datos, se resaltan el sistema de seguimiento óptico, además a la derecha se muestran algunos dispositivos apuntadores usados para interactuar con las pantallas de gran formato. Estas restricciones representaron un reto importante para el diseño del artefacto de I+D, pues dificultan la deseada interacción casual, es decir aquella realizada de forma espontánea y con la mínima preparación previa del usuario. Sin embargo, el principal problema que debía ser abordado, era proveer una interacción colaborativa, y en general multi-usuario, sobre un artefacto que en el uso común, está diseñado para la visualización o para interacciones de corta duración y con un único usuario a través de sistemas táctiles, como es el caso de las pantallas públicas, en inglés *public displays*, localizadas en los centros comerciales para ubicar un local.

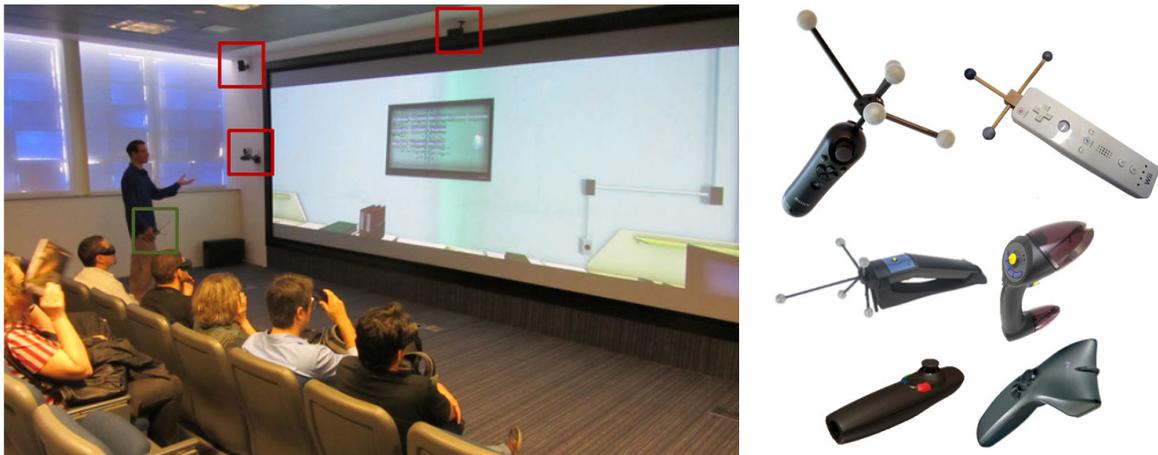


Figura 6.1: Ejemplo de un entorno acotado y restringido para la interacción con una pantalla de gran formato. En la foto se resaltan los dispositivos apuntadores (cuadro verde) y las cámaras usadas para identificar su posición exacta en la sala (cuadros rojo). La fotografía corresponde a una sala de visualización de Petrobras en Río de Janeiro, visitada durante el evento SRV 2012. Las imágenes a la derecha muestran diferentes dispositivos apuntadores usados para interactuar, tanto con una pantalla de gran formato, como con una caverna de inmersión, en inglés *Cave Automatic Virtual Environment (CAVE)*. Los dos de arriba corresponden a dispositivos de bajo costo contruidos con controles de videojuegos, los demás son dispositivos comerciales.

### 6.2.2. Artefacto de I+I

Dados los objetivos del proyecto tomado como caso de estudio, que requería la interacción con una pantalla con dimensiones similares a un muro callejero, razón por la cual el principal artefacto de I+I debía ser una pantalla de gran formato, que permitiera desplegar imágenes con una resolución superior a  $1920 \times 1080$  píxeles, en un área no inferior a  $2 m$  de ancho.

Las pantallas de gran formato han sido usadas como artefacto de visualización e inmersión en diferentes aplicaciones de interacción en 3D y VR, incluso es posible considerar una CAVE, como una pantalla de gran formato configurada en forma de caverna. Su uso más extendido es la visualización de datos, por lo cual es común en sistemas de C3V, y pueden estar dotadas de diferentes características adicionales, entre las que se destacan la visualización estéreo y la interacción táctil. Debido a las restricciones económicas y técnicas que dificultan construir un pantalla con las características mencionadas, generalmente se usa un mosaico de pantallas, en inglés *tiled display*, para alcanzar la resolución y tamaño necesarios. Por lo cual se emplean los dos términos (pantalla de gran formato y mosaico de pantallas) como sinónimos, aunque es posible tener un mosaicos de pantallas de menos de  $2 m$  de ancho.

En relación a la interacción con la pantallas de gran formato, emulando el arte del graffiti, trabajos previos imitan de forma directa la aplicación de aerosol sobre la pantalla, sin embargo dada la necesidad de generar un artefacto de I+I que facilitara una interacción casual, se pensó en los teléfonos inteligentes (*smartphones*) como dispositivo apuntador para el desarrollo del nuevo artefacto, por ser éstos ampliamente usados en entornos cotidianos. Éstos dispositivos están dotados de sensores inerciales, cámaras de alta resolución y una pantalla táctil, que permiten pensar en él como un dispositivo completo y complejo, que provee la posibilidad de capturar imágenes, señales y y audio, para ser compartidos por los usuarios en diferentes contextos. Así, surgió la idea de usar la imagen digital como vocablo de expresión básico, con el cual un usuario se puede expresar e interactuar sobre el muro virtual (pantalla publica de gran formato), para generar una obra de arte digital. Esta decisión facilitó además la configuración del experimento, dado que los parámetros de calibración se pueden alojar directamente en la aplicación móvil, y de ser necesario, se pueden actualizar de forma transparente al usuario.

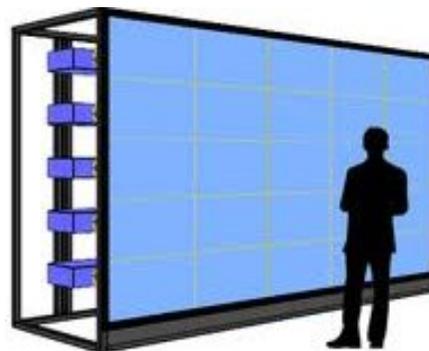
A partir de las consideraciones mencionadas, se desarrolló un artefacto de I+I con una pantalla de gran formato, basado en el reconocimiento de marcadores visuales proyectados en forma de matriz sobre la misma pantalla, los cuales eran sensados por la cámara principal (posterior)

del dispositivo móvil. Adicionalmente, la pantalla táctil del dispositivo móvil fue usada como herramienta de edición.

La figura 6.2 permite observar el funcionamiento del artefacto diseñado. En (a) se muestra un usuario interactuando con él. Sobre la pantalla de gran formato se proyecta una imagen que ha sido dividida en forma de matriz, en la que cada elemento (marcador) es procesado previamente, y sus puntos característicos son almacenados en una base de datos textual en la aplicación móvil. En (b) se ilustra la distribución de los marcadores con cada uno de los cuadros que dividen la pantalla, los cuales se unen para generar la imagen de fondo que representa el muro virtual. El dispositivo móvil captura continuamente la imagen observada a través de la cámara, y la procesa para obtener los puntos característicos, los cuales son usados para buscar ocurrencias en la base de datos. Una ocurrencia indica que un marcador es identificado, y se procede a encontrar las diferencias geométricas entre los puntos característicos reconocidos y los almacenados. Lo anterior permite identificar tanto la escala como la orientación del marcador, visto desde la cámara del teléfono inteligente. Es decir la transformación geométrica de los puntos reconocidos y los almacenados. Este procedimiento es el mismo usado en realidad aumentada, en inglés *Augmented Reality* (AR), para reconocer la posición y orientación de un marcador, por lo cual se usó un librería de AR<sup>2</sup> para implementar este proceso en el entorno virtual, en inglés *Virtual Environment* (VE).



(a)



(b)

Figura 6.2: Sistema de composición digital desarrollado. En (a) se observa un usuario interactuando en (b) se ilustran los mecanismos de consciencia implementados para permitir el trabajo en equipo.

<sup>2</sup><https://developer.vuforia.com>

Una vez calculada la transformación geométrica es posible estimar el sector de la pantalla de gran formato que se está visualizando. En este punto, el teléfono inteligente queda habilitado para realizar cualquiera de las dos interacciones primarias, agregar una imagen o seleccionarla para manipularla. Para eso el usuario requiere tocar la pantalla táctil, lo que permite que el punto de contacto pueda ser mapeado en la pantalla de gran formato usando la transformación geométrica inversa. Así, es posible agregar una nueva imagen en la posición correcta, o verificar si sobre dicho punto ya se ha insertado una imagen para poder seleccionarla. La selección de una imagen ya insertada habilita las interacciones secundarias, rotar, escalar, mover y eliminar, que son realizadas mediante interacción gestual con la pantalla táctil.

Este método de interacción tiene como principal ventaja que el único conocimiento a priori requerido para el cálculo del ángulo y la posición del marcador observado por el teléfono inteligente, es el procesamiento previo de los puntos característicos de los marcadores, y el tamaño real de los marcadores proyectados. Esta información es almacenada como parte de la aplicación, por lo cual se permite una interacción casual que solo requiere la instalación de la aplicación en el dispositivo. Sin embargo, una desventaja, es que el proceso de interacción depende de tener línea directa de visión con al menos un marcador. Inicialmente parece un requisito fácil de cumplir, sin embargo, a medida que se agregan imágenes a la pantalla, se van cubriendo parcialmente los marcadores; lo que implica que, eventualmente, no se podrá visualizar ninguno de ellos. Aún así, en las pruebas internas realizadas por el personal de investigación se logró una interacción con el 95 % de la pantalla cubierta por imágenes incrustadas.

Para habilitar una correcta interacción colaborativa, fue necesario diseñar elementos visuales de consciencia, que brindaran información de quién está realizando una interacción y cómo la está realizando. El diseño de dichos elementos hizo parte de los aportes realizados por el autor de esta tesis al desarrollo de este caso de estudio. Se diseñó un artefacto de tele-cursor gráfico, similar al usado en herramientas de edición colaborativa de texto. De esta forma, a cada usuario se le asigna un color, que no cambia durante toda la actividad colaborativa. Gráficamente se resalta la imagen sobre la cual se está trabajando, y la tarea que se está realizando. Lo anterior permite ejecutar tareas simultáneas sin obstaculizar el trabajo de un compañero y tener retroalimentación visual del propio trabajo. La figura 6.3 muestra los elementos visuales de consciencia, a la izquierda se ilustran cuatro tele-cursores gráficos. El rojo muestra que un usuario ha seleccionado una imagen, el verde indica que un segundo usuario está moviendo una imagen, mientras que el amarillo muestra un cambio de escala realizado por un tercer usuario y el azul, indica que un cuarto usuario está efectuando una rotación. En el cuadro derecho de



Figura 6.3: Elementos visuales de consciencia, tele-cursor gráfico. A la izquierda se representan cuatro tele-cursores gráficos, cada uno ilustra una tarea de interacción. El rojo muestra la selección, el verde el desplazamiento, el amarillo el escalamiento y el azul la rotación. A la derecha se observan cuatro instantes distintos de interacción de un grupo de usuarios, que muestra cómo los mecanismos de consciencia apoyan el trabajo en equipo. Cada color del tele-cursor representa la actividad de un usuario.

la figura 6.3 se observa un grupo de usuarios en cuatro instantes de tiempo diferentes, y cómo ellos realizan diferentes tareas simultáneas, apoyados en la información de los tele-cursores gráficos.

### 6.2.3. Diseño experimental

Idealmente la evaluación de este caso de estudio permitiría determinar en qué grado el artefacto de I+D diseñado, se asemejaba a un proceso de creación de un grafitii. Sin embargo, era claro que el artefacto diseñado se alejaba en cierto modo del elemento de inspiración, pues a diferencia de la pintura callejera la composición debía realizarse con imágenes preseleccionadas. Aún así, la idea de interacción libre y creativa, era un requerimiento estructural a tener en cuenta. De esa forma, se plantearon los siguientes requerimientos para el diseño experimental de este caso de estudio.

- La actividad a ser realizada debía ser de composición creativa.
- Una evaluación cualitativa no era de interés de grupo Imagine.
- Se deseaba comparar el modelo de interacción contra un referente.

Entonces surgió la idea de hacer un modelo de evaluación por etapas, que permitiera transferir los resultados de una etapa a la otra. Una primera etapa estaría encaminada a realizar una composición rígida, ubicar las imágenes sobre un modelo. En una segunda etapa se realizaría una composición creativa, más libre, pero orientada por un concepto. Se planteó entonces la siguiente actividad. Un equipo formado por cuatro (4) usuarios, debía realizar una tarea de composición digital a partir de una galería de imágenes, usando como tema central una imagen de muestra que representaba un concepto general. Antes de iniciar la composición libre se realizaría una etapa de interacción dirigida, que consistía en ubicar imágenes exactamente sobre un modelo desplegado sobre la pantalla de gran formato. Era importante que los usuarios sintieran que la etapa de interacción exactamente era de entrenamiento, que no hacía parte de la prueba, esto con el fin de no sesgar su espíritu creativo. Sin embargo, sobre esta etapa se debía realizar un registro de todos los procesos de interacción, de igual forma que en la etapa de composición creativa.

Otro aspecto importante del diseño experimental era la necesidad de realizar una comparación contra un modelo de interacción de referencia. El principal problema era encontrar un referente de comparación para una composición con imágenes sobre una pantalla de gran formato. Nuevamente un esquema de evaluación por etapas se generó como solución. En una primera etapa se compararía la interacción con un referente análogo, una interacción a mano libre, en el cual los usuarios hicieran la misma actividad, pero con láminas sobre un tablero físico. Para poder realizar la comparación se necesitaba que esta actividad presentara las mismas condiciones que las definidas para la composición con el artefacto diseñado. Así, se construyó una pantalla-tablero de un tamaño menor, que permitiera hacer la comparación entre el modelo ideal y la interacción digital. Posteriormente, se realizaba la misma actividad sobre la pantalla de gran formato, comparándola con el modelo digital de tamaño pequeño. De esa forma era posible transferir los resultados en la pantalla de gran formato hacia el modelo análogo.

De acuerdo a lo anterior, se planteó hipótesis de evaluación de la siguiente forma.

*H<sub>6.5</sub> : El proceso de composición con una pantalla digital mediante el artefacto de I+I diseñado, es similar a una composición creativa libre, realizada a mano alzada sobre un tablero del mismo tamaño.*

*H<sub>6.6</sub> : El proceso de composición con una pantalla de gran formato mediante el artefacto de I+I diseñado, es similar al proceso de composición realizado sobre una digital de menor tamaño.*

*H<sub>6,7</sub> : Si es posible establecer que H<sub>6,5</sub> y H<sub>6,6</sub> son verdaderas, podemos afirmar por transitividad que el proceso de composición con una pantalla de gran formato mediante el artefacto de I+I es similar al una composición creativa libre a mano alzada.*

Así, para probar nuestra hipótesis  $H_{6,7}$  se definió una evaluación sobre tres escenarios.  $E1$ : Composición sobre un tablero físico (esta condición es usada como referencia).  $E2$ : Composición sobre una pantalla digital del mismo tamaño del tablero físico, y  $E3$ : Composición sobre una pantalla digital de gran formato. La figura 6.4 muestra los tres escenarios de evaluación descritos con anterioridad.

En el primer escenario, el equipo de trabajo debía realizar la composición sobre un tablero físico de  $150 \times 100$  cm. Sobre el tablero se ubicaba como fondo de trabajo la misma imagen usada como matriz de marcadores para las condiciones E2 y E3. Se dispuso de la galería impresa de imágenes, en láminas de tamaño promedio de  $10 \times 10$  cm. y se entregaba a cada usuario una carpeta con ocho (8) láminas, correspondiente al concepto a ser desarrollado. Cada lámina tenía al respaldo cinta adhesiva que permitía la composición sobre el tablero físico. Para la operación de eliminación se disponía de un bote de basura, del cual no se podían tomar las láminas ya eliminadas.

En el segundo escenario, el equipo de trabajo debía realizar la composición sobre un tablero proyectado, previamente calibrado para generar una imagen del mismo tamaño del tablero físico ( $150 \times 100$  cm), con una resolución de  $1350 \times 900$  pixeles. Como no es posible realizar un escalamiento de una lámina física, se impidió la operación de escalamiento en este escenario. La imagen de fondo usada en la condición  $E1$  era dividida en una matriz de  $6 \times 8$  elementos y proyectada en el tablero. Cada uno de los elementos de esta división era usado como marcador para el proceso de localización del dispositivo móvil.

En cada dispositivo móvil se precargaba el subconjunto de imágenes la galería correspondiente a cada usuario. También se garantizaba para todas la imágenes, que una vez agregadas sobre la pantalla, éstas tenían las mismas dimensiones que la lámina usada en la condición E1.

El último escenario fue similar al de la condición E2, con dos (2) diferencias. La primera, el área de interacción se extendía a una dimensión de  $600 \times 300$  cm, para lo cual se utilizaba un sistema de mosaico de pantallas de cuatro (4) pantallas con una resolución de  $3200 \times 1600$  pixeles. La segunda, se permitió la operación de escalamiento (cambio de tamaño) de las imágenes.

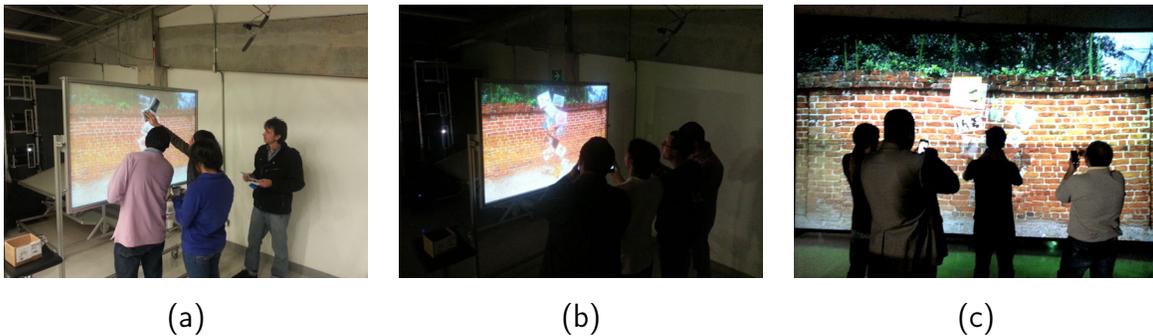


Figura 6.4: Escenarios de evaluación. (a) *E1* Tablero físico, la interacción se realiza a mano alzada con láminas reales. (b) *E2* Pantalla digital del mismo tamaño del tablero físico y (c) *E3* pantalla de gran formato. En los escenarios *E2* y *E3* la interacción se realiza mediante el dispositivo móvil.

Para toda la composición libre se emplearon tres conceptos, C1: Diseño, C2: Investigación y C3: Arte. La idea de la composición era utilizar un conjunto de imágenes, tomadas de una galería, para realizar una representación gráfica del concepto de la imagen de muestra. La galería de imágenes fue generada previamente por el personal de evaluación, siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

1. Se buscó cada uno de los conceptos en inglés (Design, Research y Art) en un tesoro<sup>3</sup> y se tomaron los cuatro (4) primeros sinónimos de cada resultado. Los sinónimos elegidos fueron:
  - Design: architecture, arrangement, blueprint y char.
  - Research: analysis, delving, experimentation, y exploration.
  - Art: adroitness, aptitude, craft y craftsmanship.
2. Cada uno de los sinónimos fue buscado en *google images* (versión en inglés) tomando las ocho (8) primeras imágenes de cada sinónimo.

De esta manera, la galería asociada a cada concepto estaba formada por 32 imágenes, ocho (8) de cada sinónimo. Se descartaron imágenes repetidas y aquellas que representaban logos de empresas u organizaciones. La galería asociada a cada concepto fue dividida en cuatro (4)

<sup>3</sup><http://thesaurus.com>

subconjuntos de ocho (8) imágenes cada uno, de forma tal que cada paquete contenía dos (2) imágenes por sinónimo. Cada subconjunto era asignado a un usuario para la composición.

Durante la composición, cada usuario podía agregar imágenes sobre la pantalla. Una vez una imagen se agregaba, cualquier usuario podía manipularla, ya fuera para eliminarla, trasladarla o rotarla. Con el fin de incrementar los requerimientos de colaboración, la tarea de realizar la composición tuvo tres restricciones:

1. Cada usuario solo podía agregar una vez cada imagen de su subconjunto. En otras palabras, cada usuario solo podía crear/usar una instancia de cada imagen.
2. Una vez eliminada una instancia de la composición, ésta no podía volverse a usar.
3. Para realizar una composición, el equipo contaba con un tiempo limitado.

### Datos y Métricas

Usando como referente el modelo de evaluación del caso de estudio anterior, se estableció un conjunto de métricas a partir de los indicadores definidos (las cinco (5) características de Robinson [Rob91]). Todas las métricas fueron calculadas como índices con valores entre cero (0) y uno (1), con uno (1) correspondiendo al valor ideal esperado. Para los escenarios E2 y E3, el cálculo de las métricas se realizó con el análisis de los archivos de registro (archivos de log) generados por el del sistema. Para el escenario E1 se realizó un proceso de triangulación de información. Las dos primeras fuentes de datos fueron las notas sobre diarios de observación realizados por dos investigadores. La tercera fuente fue el análisis de la filmación de los experimentos, usando dos cámaras, una que observa directamente el tablero y otra que tenía una vista superior del área de trabajo. Usando un software de código abierto<sup>4</sup> dotado con opciones de etiquetado manual de video, se marcaron las posiciones e instantes de tiempo donde sucedían las interacción, realizando el equivalente a un archivo de registro.

**Predecibilidad** Se puede considerar que una artefacto es predecible en su uso, si el usuario logra sobreponerse a la carga cognitiva para conseguir una alto desempeño en las tareas básicas de interacción. Para esta actividad es posible establecer la predecibilidad de la interacción midiendo el tiempo entre dos (2) interacciones consecutivas del mismo usuario (*CIT*), si es alto,

---

<sup>4</sup><http://imagej.nih.gov/ij/>

el usuario tiene problemas de interacción, si es bajo, el usuario está realizando una interacción fluida sin contratiempos.

**Consciencia periférica** La interacción de un artefacto con su consciencia periférica implica que debe permitir que el equipo de trabajo se concentre en la actividad principal, que el foco de su atención no se desvíe al uso del artefacto. Por esta razón, cuantificar el desempeño de la tarea, permite establecer una adecuada interacción con la consciencia periférica. En esta actividad, es posible medir la precisión del ensamble con respecto al modelo (*AP*), para la composición guiada, y el tiempo de interacción sobre la pantalla/tablero, para la composición libre (*BIT*).

**Comunicación implícita** Este indicador está asociado al uso de canales alternos para la comunicación, como gestos, toques, frases inconclusas, palabras claves, etc. Para esta actividad es posible establecer una comunicación implícita así, si dos (2) interacciones consecutivas de dos (2) usuarios diferentes, se realizan en el mismo sector de la pantalla/tablero, ya sea sobre la misma imagen, o sobre diferentes imágenes, se puede entender como procesos de comunicación no tácita que se originan en el contexto de la tarea. Este evento es llamado interacción simultánea en el mismo lugar (*SISP*).

**Negociación** La negociación es un proceso integral de la colaboración, en esta actividad se puede evaluar midiendo el tiempo de interacciones entre usuarios (*BUIT*). Si un solo usuario interactúa con la pantalla/tablero, es una medida de una incorrecta negociación; si al contrario, la interacción se alterna entre los miembros del equipo, se está realizando una negociación adecuada.

**Vista general** Este indicador está asociado a vista general de la actividad colaborativa, a al foco que deben tener los miembros del equipo en la actividad grupal. Por eso, la distancia de una nueva imagen/lámina al grupo ya formado de imágenes/láminas sobre la pantalla/tablero (*DIC*) permite medir qué tan enfocado estuvo el equipo en la tarea global, más que en las metas individuales. Otra métrica asociada es el porcentaje de ocupación de la pantalla (*DO*), que mide la dispersión del grupo en la tarea de composición.

Con respecto a la actividad realizada usando ={Las láminas físicas, La aplicación móvil}	
PC1.	¿Mi comprensión del proceso de interacción fue? (1) No entendí fácilmente como ubicar la imágenes donde quería (5) Entendí fácilmente como ubicar la imágenes donde quería
PC2.	¿El proceso de ubicación de las imágenes fue? (1) Difícil, la mayor parte del tiempo no pude ubicar la imagen como quería (5) Fácil, la mayor parte del tiempo pude ubicar la imagen como quería
PC3.	¿Mi desplazamiento en área de trabajo fue? (1) Casi no me moví, la mayoría del tiempo permanecí en el mismo sitio (5) Me moví mucho, la mayoría del tiempo cambiaba mi ubicación con respecto al tablero
PC4.	¿Mi interacción con las imanes del tablero fue? (1) Baja, solo interactué con las imágenes que yo agregué (5) Alta, interactué con las que yo agregué y con las que agregaron mis compañeros
PC5.	¿Cómo percibí la interacción con respecto al cansancio físico? (1) Sentí que la mayor parte del tiempo no colaboraron conmigo en la composición (5) Sentí que la mayor parte del tiempo colaboraron conmigo en la composición
PC6.	¿Cómo percibí la colaboración de mis compañeros? (1) Sentí que la mayor parte del tiempo no colaboraron conmigo en la composición (5) Sentí que la mayor parte del tiempo colaboraron conmigo en la composición
PC7.	¿Cómo percibí mi colaboración con mis compañeros? (1) Sentí que la mayor parte del tiempo no me integré para colaborar en la composición (5) Sentí que la mayor parte del tiempo me integré para colaborar en la composición
PC8.	¿Mi participación con respecto al trabajo de mis compañeros fue (1) La mayoría del tiempo no observé el trabajo de mis compañeros para realizar aportes (5) La mayoría del tiempo observé el trabajo de mis compañeros para realizar aportes
PC9.	¿Mis aportes en la generación de ideas en la composición libre fue? (1) No generé ideas para realizar la composición libre (5) Participo y generé ideas para realizar la composición libre
PC10.	¿Mi relación con mis compañeros con respecto a su trabajo fue? (1) No les sugería a mis compañeros donde y como ubicar las imágenes (5) Realice muchas sugerencias a mis compañeros de donde y como ubicar las imágenes

Tabla 6.1: Preguntas aplicadas en el cuestionario de comparación subjetiva entre la interacción a mano libre y la interacción el artefacto de I+I desarrollado (interacción con el teléfono inteligente)

**Cuestionarios y datos subjetivos** Con la finalidad de indagar la percepción subjetiva de los usuarios al comparar la interacción mano libre con la realizada mediante el artefacto de I+I

desarrollado sobre el teléfono inteligente, se diseñó un cuestionario de 10 preguntas aplicadas a cada modelo de interacción. Las 20 preguntas fueron realizadas al concluir los dos primeros escenarios de prueba. La tabla 6.1 presenta las preguntas aplicadas a cada modelo, cuyas respuestas fueron calificadas en una escala de 1 a 5.

Adicionalmente, también era pertinente aplicar un cuestionario para tener una evaluación de usabilidad, basada en la percepción subjetiva de los usuarios. La tabla 6.2 muestra las preguntas realizadas, que incluyeron los siguientes aspectos, efectividad (PU1), facilidad de aprendizaje (PU2), satisfacción (PU3), cansancio físico (PU4), diversión (PU5) y una pregunta de apreciación general (PU6).

PU1. ¿Cómo le pareció la precisión de la interacción con el celular en la pantalla de gran formato?	(1) Impreciso, fue difícil acomodar una imagen en la ubicación deseada (5) Preciso, fue fácil acomodar una imagen en la ubicación deseada
PU2. ¿Cómo calificaría usted la facilidad de aprendizaje de la interacción con el celular en la pantalla de gran formato?	(1) Me demoré mucho en aprender a interactuar en la pantalla (5) Aprendí rápidamente a interactuar en la pantalla
PU3. ¿Con respecto a la sensación general del uso del celular como método de interacción en la pantalla de gran formato, usted se sintió?	(1) Me sentí frustrado, casi nunca lograba realizar lo que quería (5) Me sentí satisfecho, casi siempre lograba realizar lo que quería
PU4. ¿Cómo usted calificaría el cansancio físico (mano, brazo, espalda, etc.) de la interacción con el celular en la pantalla de gran formato ?	(1) Fue muy agotador, terminé muy cansado (5) No fue muy agotador, no sentí cansancio físico
PU5. ¿Qué tan entretenido (divertido) fue para usted el método de interacción con el celular en la pantalla de gran formato?	(1) Fue muy aburrida (5) Fue muy divertida
PU6. ¿Cómo usted calificaría en forma general el método de interacción con el celular en la pantalla de gran formato?	(1) Muy malo, no me gusto como método de interacción (5) Muy bueno, me pareció un excelente método de interacción

Tabla 6.2: Preguntas aplicadas en el cuestionario para evaluar la usabilidad en la interacción con la pantalla de gran formato

## Ejecución de las pruebas

**Hardware y equipo de experimentación.** Para la realización de los experimentos se contó con 4 teléfonos inteligentes (*smartphone*) de similares características, con pantalla táctil multipunto, cuya batería era cargada al 100% antes de realizar cada experimento. Para los escenarios E1 y E2 se empleó un proyector Full HD conectado a una estación de trabajo con sistema operativo *Windows 7 de 64 bits*, con un procesador Intel *i7* y 4 GB de memoria RAM, el cual proyectaba una imagen de  $1350 \times 900$  píxeles a una dimensión de  $150 \times 100$  cm. Para el escenario E3 se usaron 4 proyectores Full HD, conectados por parejas a dos estaciones de trabajo iguales a la empleada en el escenario E2. De esa forma se lograba proyectar una imagen con una resolución de  $3200 \times 1600$  píxeles en una área de interacción de  $600 \times 300$  cm.

**Sujetos participantes** Se realizó una convocatoria dirigida a los estudiantes de los cursos impartidos por los profesores del grupo Imagine, a través de correo electrónico. La invitación sólo indicaba la búsqueda de voluntarios para participar en una evaluación de nuevas técnicas de interacción. Un total de 46 personas atendieron el llamado, 36 hombres y 8 mujeres, con un rango de edad entre los 19 y los 35 años. Dos (2) de ellos fueron descartados para formar equipos de cuatro (4) personas, la exclusión fue además motivada por disponibilidad horaria. De esa forma se conformaron 11 equipos, cada uno de 4 personas.

Se indagó en aspectos generales de la condición física y salud relacionadas con el carácter de las pruebas, formación académica, y experiencia en el uso de las tecnologías empleadas en las pruebas. El 82% de los voluntarios declaró ser diestro, el 12% zurdo y el restante, 6% ambidiestro. El 36% reportó no tener problemas de visión, mientras que el 48% dijo padecer de miopía, el 30% de astigmatismo y el 6% de hipermetropía (tener en cuenta que la respuesta no es excluyente). En cuanto al último nivel de formación académica aprobado, el 48% reportó haber finalizado su educación media (bachillerato, secundaria), el 6% tener formación técnica profesional, el 32% ya contaba con título profesional y el 7% restante contaban con formación de maestría.

Adicionalmente, Se preguntó sobre el elemento tecnológico que usaba más de una vez a la semana. El 98% reportó usar más de una vez a la semana un computador, el 74% un *smartphone*, el 28% una tableta, el 40% una consola de videojuegos y 3% otro tipo de dispositivos. Finalmente, con relación al tiempo de experiencia en el uso de *smartphone*. El 48% había usado uno por más de dos años, el 42% entre dos años y un mes, el 3% menos de un mes y el 7% nunca había usado uno.

**Herramientas de apoyo a la evaluación** Por la experiencia en el caso anterior se decidió aplicar algunas de las herramientas de apoyo diseñadas. La primera fue la de especificar el proceso de experimentación mediante un algoritmo que se pueda seguir paso a paso, que se denominó protocolo experimental. El algoritmo 6.1 presenta el protocolo experimental usado en este caso de estudio. Además se realizó un registro completo en una bitácora de evaluación (*experimental log*), que permitió llevar un control de los experimentos realizados y de los experimentos planeados, con todos sus parámetros.

También se estandarizó el proceso de capacitación de los usuarios en las actividades a ser realizadas. Para lo cual, se escribió un guión (*screenplay*) que era leído a todos los usuarios de igual forma, para evitar sesgos al dar mayor/menor información o explicación a un usuario o grupo de usuarios. La tabla 6.3 presenta el guión escrito, para los tres (3) escenarios de prueba.

#### 6.2.4. Resultados

Para afirmar o desestimar la hipótesis  $H_{6,7}$ , cada una de las métricas calculadas fue sometida a una prueba de bondad de ajuste Kolmogórov-Smirnov (K-S), recordado que se desea verificar la similitud en la interacción entre E1 y E2, y entre E2 y E3. Dado que la prueba K-S es de carácter no paramétrico, no es necesario realizar una prueba de normalidad. En una prueba K-S se establece como hipótesis nula que las dos muestras a ser ajustadas son similares.

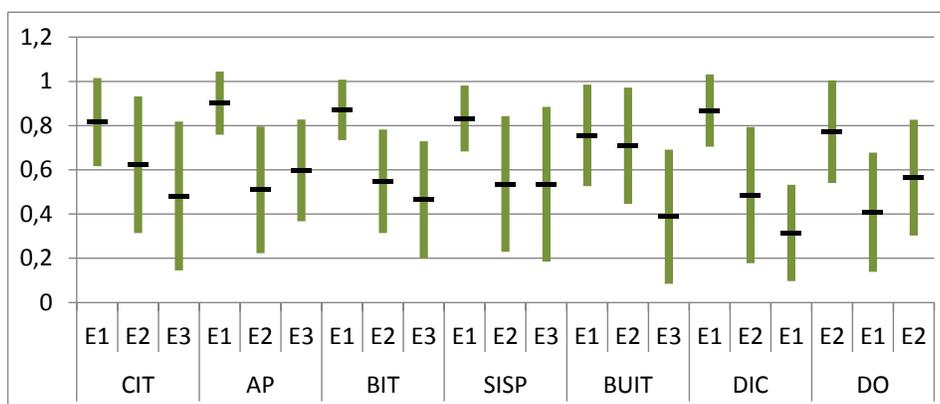


Figura 6.5: Gráfico de las métricas calculadas en los tres escenarios.

---

**Algoritmo 6.1** Protocolo experimental del experimento para evaluación del modelo de interacción propuesto.

---

**Require:** .

$Scenario = \{E_1, E_2, E_3\}$

$team_k = \{m_{k,1}, m_{k,2}\}$ : Work team of experiment  $k$

$scenarioOrderFlag_i$ : List = {**true, true, false, false, ...**}

```

1: for  $ID = 1$  to Total-number-of-experiments do
2:    $\forall m \in team_{ID}$ ; Fill( $m_{ID,j}$ , subjectCharacterizationQuestionnaire)
3:   Read( $m_{ID,j}$ , Screenplay: Greet)
4:   Check-experimental-log( $ID$ ,  $test_1$ )
5:   Start-Video-Record Board-Place
6:   for  $s = 1$  to 2 do
7:     if  $scenarioOrderFlag_{ID} = \mathbf{true}$  then
8:       Read( $m_{ID,j}$ , Screenplay:  $E_1$ )
9:       execute procedure Test  $E_1$  do
10:        Guide-Composition
11:        Free-Composition
12:       end execute
13:       Read( $m_{ID,j}$ , Screenplay:  $E_2$ )
14:       Training-Mobile-Interaction
15:       execute procedure Test  $E_2$  do
16:        Guide-Composition
17:        Free-Composition
18:       end execute
19:     end if
20:   end for
21:   End – Video – Record Board – Place
22:    $\forall m_j \in team_{ID}$ ; Fill( $m_{ID,j}$ , Comparison – Questionnaire)
23:   Read( $m_{ID,j}$ , Screenplay:  $E_3$ )
24:   Training-Mobile-Interaction
25:   Start-Video-Record BigScreen-Place
26:   execute procedure Test  $E_3$  do
27:    Guide-Composition
28:    Free-Composition
29:   end execute
30:   End-Video-Record BigScreen-Place
31:    $\forall m_j \in team_{ID}$ ; Fill( $m_{ID,j}$ , Usability – Questionnaire)
32: end for

```

---

## SALUDO

*Muy buenos días (o tardes). Queremos agradecer su colaboración y resaltar que las pruebas que vamos a realizar tienen únicamente objetivos académicos y de investigación, por tal razón toda la información personal suministrada por ustedes será mantenida en total reserva. Es necesario aclarar que para nosotros es importante y fundamental la total sinceridad en las respuestas que ustedes nos den.*

## ESCENARIO 1: TABLERO ANÁLOGO

*En este escenario ustedes usarán láminas adhesivas que pegaran a este tablero. Se les entregará un conjunto de láminas en un sobre cerrado. No pueden pasarse las láminas entre ustedes, pero una vez colocadas sobre el tablero cualquiera puede tomarla, moverla o rotarla. Es posible retirar definitivamente una lámina del tablero, pero una vez retirada no puede ser colocada nuevamente. Para eso, cuando retiren una lámina, la van a colocar dentro de esta caneca, y no pueden volverla a tomar. En la prueba inicial, ustedes realizarán una composición dirigida, donde el objetivo es ubicar las láminas lo más exacto posible al modelo de muestra. Para esta prueba ustedes tendrán un tiempo de 1 minuto. En la segunda prueba ustedes realizarán una composición libre, donde el objetivo es utilizar el conjunto de láminas para realizar una representación de la imagen de referencia, donde deben seleccionar y organizar las láminas de la forma que consideren conveniente. Para esta prueba tendrán un tiempo de 3 minutos.*

## ESCENARIO 2: TABLERO DIGITAL

*En este escenario ustedes usaran estos celulares como dispositivo de interacción, usando esta aplicación, la cual funciona de la siguiente manera: deben orientar la cámara del celular hacia el tablero, y luego tocar con un dedo la pantalla del celular. Manteniendo presión se tiene dos posibles opciones. En la primera, si no se toca una imagen del tablero, o el tablero esta vacío, aparecerá un menú que les permite agregar una imagen al tablero. Podrán seleccionarla de la galería del celular. En la segunda opción, si tocan una imagen agregada previamente en el tablero, ésta sera seleccionada. Cuando eso sucede, la imagen es marcada con un cuadro de color. Ese color los representará en el tablero, toda acción que hagan siempre sera mostrada con ese color, sus compañeros tendrán un color diferente. Una vez seleccionada la imagen, aparecerá un menú que les permite mover, rotar o eliminar la imagen seleccionada. Para escoger cualquier opción solo deben arrastrar el dedo sobre el menú hasta la opción deseada y levantarlo. Para mover la imagen, deslicen el dedo sobre la pantalla. Para rotar la imagen, giren dos dedos al mismo tiempo sobre la pantalla. Tengan en cuenta las siguientes restricciones: una vez hayan insertado una imagen, no se podrá volver a insertar, por lo tanto, antes de eliminar una imagen del tablero, asegurense de no querer utilizarla nunca más. Es este momento ustedes pueden realizar una corta prueba de manejo de la aplicación.*

## TIEMPO LIBRE PARA PRUEBA DE INTERACCIÓN CON EL DISPOSITIVO MÓVIL

*En la prueba inicial ustedes realizarán una composición dirigida, donde el objetivo es ubicar las imágenes lo más exacto posible al modelo de muestra. Para esta prueba ustedes tendrán un tiempo de 1 minuto. En la segunda prueba ustedes realizarán una composición libre, donde el objetivo es utilizar un conjunto de imágenes de la galería del celular para realizar una representación de una imagen de referencia, en este caso pueden insertar y organizar las imágenes de la forma que consideren conveniente. Para esta prueba tendrán un tiempo de 3 minutos.*

## ESCENARIO 3: PANTALLA DE GRAN FORMATO

*En este escenario usarán los celulares nuevamente como medio de interacción, con la aplicación que usaron anteriormente. Es necesario aclarar que con respecto a la prueba anterior existen dos diferencias importantes. La primera, como ustedes observan, el tamaño del tablero. Y la segunda, que ustedes podrán realizar operaciones de escalamiento, es decir, cambiar el tamaño de la imagen. Esta opción está disponible en el menú que aparece cuando una imagen es seleccionada. Para escalar la imagen, acerquen o alejen dos dedos sobre la pantalla. En la prueba inicial ustedes realizarán una composición dirigida, donde el objetivo es ubicar las imágenes lo más exacto posible al modelo de muestra. Para esta prueba ustedes tendrán un tiempo de 1 minuto. En la segunda prueba ustedes realizarán una composición libre, donde el objetivo es utilizar un conjunto de imágenes de la galería del celular para realizar una representación de una imagen de referencia, en este caso pueden insertar y organizar las imágenes de la forma que consideren conveniente. Para esta prueba tendrán un tiempo de 3 minutos.*

Tabla 6.3: Guión diseñado para realizar la instrucción de los usuarios en la actividad experimental.

### 6.3. Análisis

La gráfica 6.5 muestra los valores medios de cada métrica y su desviación estándar. De la lectura conjunta de la gráfica podemos determinar que para algunas métricas calculadas, *CIT*, *AP* y *DCI*, se puede afirmar con seguridad que muestran diferencias entre los escenarios  $E_1$  y  $E_2$ . Lo anterior era esperado, dado que la interacción a mano alzada es un reto actual del interacción humano-computador, en inglés *Human Computer Interaction* (HCI), para algunos contextos. Pero, para un grupo de métricas, *SISP*, *BUIT* y *DO*, es posible afirmar que hallaron similitudes importantes en los procesos de interacciones entre los escenarios  $E1$  y  $E2$  y entre los escenarios  $E2$  y  $E3$ . Por lo tanto, podemos afirmar se halló evidencia que respalda parcialmente la hipótesis  $H_{6,7}$ , asociada a los indicadores de comunicación implícita, negociación y vista general, del componente de colaboración. En otras palabras, se evidenció que existe un comportamiento similar entre la interacción propuesta con la pantalla de gran formato y el modelo de interacción a mano alzada. Por esta razón se considera que el artefacto de I+I diseñado es una alternativa válida de interacción, la cual soporta procesos colaborativos y permite el desarrollo de actividades grupales.

### 6.4. Conclusiones

El desarrollo de este caso de estudio permitió seguir y aplicar el esbozo metodológico diseñado en el caso de estudio anterior, que se resume en: una experimentación basada en banco de pruebas, en inglés *testbed* [BJH99; BJH00], un conjunto de cinco (5) indicadores de colaboración, soportados en las características de un artefacto de colaboración [Rob91] y un listado de herramientas de apoyo para la ejecución de la evaluación (protocolo experimental, bitácora de evaluación, estandarización de la capacitación de los usuarios).

Uno de los hallazgos relevantes del caso anterior (caso **P**), fue la necesidad de diseñar una actividad que garantizara la colaboración, exigiendo características como responsabilidad individual, participación igualitaria e interdependencia positiva. Sin embargo, la actividad de composición diseñada para este caso no siguió dicha indicación, debido a que el grupo de investigación Imagine deseaba un proceso de composición libre, con la menor cantidad de restricciones posibles. A pesar de no exigir las características mencionadas, la actividad diseñada introdujo elementos que permitieron asegurar una composición colaborativa, como lo fueron que: 1) la

galería de imágenes estaba dividida entre todos los miembros del equipo, y no existían imágenes repetidas, 2) los modelos a ser ensamblados en las composiciones guiadas estaban formadas por un subconjunto de 12 imágenes de la galería, de las cuales, cada usuario tenía tres (3), 3) las imágenes asignadas a cada usuario correspondían a una división equitativa de los resultados de la búsqueda de los términos en el tesoro. De esa forma, las composiciones, tanto libre como guiada, tenían elementos que garantizaban la colaboración. Por lo tanto, es importante decir, que lo relevante en el diseño de la actividad de evaluación es garantizar la colaboración. En este punto, exigir características como responsabilidad individual, participación igualitaria e interdependencia positiva, es una ayuda de diseño, pero no es la única alternativa existente.

En cuanto al proceso de evaluación, el seguimiento del procedimiento empleado en el caso anterior, fue también adecuado a este caso de estudio, y no requirió ajustes considerables. Solo fue necesario tener en cuenta los cambios debido a las particularidades del banco de pruebas a ser ejecutado, el número de personas en el equipo y procedimientos propios del caso como la filmación de las pruebas. Además, el uso de las herramientas de apoyo, permitió una ejecución tranquila y organizada de los experimentos, la cual fue observada y elogiada por otros miembros del grupo Imagine, quienes resaltaron la forma rigurosa en que se conducían los experimentos, al usar la bitácora, el protocolo y la lectura del guión.

Otro hallazgo importante, fue que el hecho de contar con un conjunto de indicadores claramente definido facilitó el diseño de las métricas de evaluación. En este punto se observó que los indicadores elegidos definen elementos conceptuales de la colaboración, que se aplican a cualquier tarea de interacción (selección, manipulación, navegación), e incluso a actividades complejas, como fue el caso de seguir un camino preestablecido (caso **P**), o realizar un proceso de composición con imágenes (caso **D**).

Del proceso de observación cualitativa de los experimentos, se identificaron algunos comportamientos en los usuarios que se resaltan a continuación. La actividad de composición análoga, usando el tablero físico y las láminas adhesivas, era, lógicamente, muy natural. En cierto modo, el equipo olvidado que estaba realizando una prueba, no interactuaba con el personal de investigación. Se proponían y discutían ideas de composición al interior del equipo, era evidente que se estaba observando un trabajo colaborativo. Lo que más llamó la atención, fue la desconexión observada con el ambiente experimental, el equipo realmente olvidó la presencia de las cámaras y de los investigadores con cuadernos de apuntes, en otras palabras, están completamente inmersos en la actividad colaborativa.

Un proceso completamente contrario se observó con algunos equipos cuando realizaban el proceso de interacción con el dispositivo móvil. Un primer grupo de usuarios estaba muy enfocado en las tareas de selección y manipulación de las imágenes, se les observaba que lograban el proceso de interacción, y lo hacían relativamente bien, sin embargo, estos usuarios repetían una y otra vez una rotación, un movimiento, como si el resultado no les gustara. Estos usuarios lucían concentrados en lo que hacían, pero lo hacían de forma aislada, estaban inmersos en su que hacer individual, pero el trabajo en grupo no surgía. Un segundo grupo de usuarios, realmente tuvo problemas de interacción, no lograban hacer lo que querían. Lo intentaban, tomaban el teléfono inteligente, lo apuntaban a la pantalla y hacían click en ella, una y otra vez. Observaban a sus compañeros sin saber que hacían, miraban la pantalla y el teléfono inteligente de sus compañeros, para entender cómo lo hacían. Miraban hacia atrás, hacia el lado, le hacían gestos a los investigadores indicando que no sabían que hacer. Algunas veces un usuario lograba familiarizarse con el proceso de interacción, y se convertía en un usuario del primer grupo. Un tercer grupo de usuarios, realizó procesos de interacción muy similares a la interacción de mano alzada. Se integró a su equipo de trabajo, preguntaba dónde podía ir una imagen, o lo sugería, ayudaba a un compañero con un movimiento difícil, o solicitaba ayuda. Algunas veces el equipo completo lo lograba, otras veces solo una pareja se conectaba, en otros casos un solo individuo se aislaba y se generaba un equipo de tres personas.

Esas observaciones generaron evidenciaron de algunos hechos del proceso de evaluación. Ninguno de los indicadores permitía evaluar ese comportamiento, o esos comportamientos. Procesos de compenetración con el grupo o de ayuda al compañero. Era evidente que los indicadores ya diseñados eran adecuados, pero se empezó a ver, que no eran suficientes.

Adicionalmente, un proceso de reflexión llevó a identificar comportamientos similares en el caso anterior, que se habían anotado como casos aislados. Fueron parejas que presentaron dificultad en iniciar la caminata colaborativa. No lograban moverse de forma adecuado en el espacio 3D, o estaban incomodos con el casco de realidad virtual, en inglés *Head Mounted Display* (HMD), se lo tocaban todo el tiempo. Sin embargo, pasados algunos minutos, lograban iniciar la actividad y ésta era desarrollada con éxito. También hubo un caso en que un usuario movió fuerte la cabeza y se le desajustó un poco el HMD, caso en el que se observó que se rompió la fluidez de la tarea, mientras el usuario corregía y acomodaba el HMD.

Esta reflexión llevó a definir elementos comunes en el patrón de conducta de los dos casos de estudio. En particular se concluyó que el proceso de inmersión, desde los primero pasos de

la interacción; de aprenderla, de entenderla; hasta la inmersión del trabajo en equipo, era un proceso cognitivo que los usuarios debían hacer, y el cual podía ser interrumpido en cualquier momento.

Se reflexionó en la importancia del espacio común de trabajo, sobre como en él suceden los procesos cognitivos de inmersión que se habían identificado. Entonces, si los indicadores basados en las características de Robinson permitían medir elementos importantes de la interacción, era necesario buscar indicadores que se orientaran a medir elementos de inmersión. Además, se requería unificar en un único modelo todo el proceso de interacción+ inmersión. Al regresar a la sección 6.1 de este capítulo, las preguntas 3 y 4 no habían sido contestadas del todo, eran interrogantes abiertos que requerían una solución.

Es posible afirmar que la aplicación de los casos **P** y **D**, entregó una esbozó metodológico adecuado, pero evidenció que faltaban elementos a ser definidos. En ese punto, la inducción, la reflexión, el análisis, la observación, la deducción, todos los procesos resultado de la aplicación práctica, llevaron hacia una reformulación teórica, a la búsqueda de referentes, al diseño de modelos. De esa manera, del contraste científico, de la revisión del estado del arte, de la propuesta de elementos teóricos, surgió el enfoque CD-CAA, el cual fue descrito en detalle en el capítulo 3.



# Capítulo 7

## Caso de estudio: Validación experimental de indicadores

*"Metrics should provide valid data that supports the conclusions drawn in a written report or presentation, and be sufficiently reliable for the data to be recreated in future evaluations."*

[RL06]

Este caso de estudio tuvo como finalidad la validación de los elementos metodológicos propuestos por el enfoque diagnóstico de la conformidad de los artefactos de consciencia compartida, en inglés *Conformity Diagnosis of Common Awareness Artefacts* (CD-CAA), para evaluar la colaboración en una actividad realizada con un artefacto de interacción e inmersión (I+I). En tal sentido, fue completamente desarrollado al interior del Grupo de Investigación IDIS, el cuál es también el promotor de esta tesis doctoral. Para ello se consolidó un equipo de trabajo conformado por un experto en colaboración, el director de esta tesis; el autor de este documento, quien fue el responsable del diseño y análisis de las pruebas, y 4 estudiantes de pregrado, quienes apoyaron la ejecución de los experimentos.

Adicionalmente, en el marco de este caso de estudio se desarrollaron dos proyectos de fin de carrera para el programa de Ingeniería de Sistemas de la Universidad del Cauca: '*Métricas para evaluar el grado de colaboración en una tarea de navegación en un entorno virtual 3C*' [PR14] y "*Métricas de colaboración en una tarea de selección y manipulación en un entorno virtual 3D*" [OR14]; los cuales estuvieron orientados a la adaptación de métricas propuestas en el estado del arte para tales fines y no involucraron la proposición y evaluación de nuevas métricas.

A continuación, se presentan las tres (3) etapas del caso de estudio: especificación, aplicación y análisis; se describen los procedimientos, métodos, datos y conclusiones generadas a partir de su ejecución.

## 7.1. Especificación

El principal objetivo de este caso de estudio fue validar de forma experimental el conjunto de indicadores propuesto en el enfoque de evaluación CD-CAA. Por esta razón, la validación debía incluir actividades colaborativas que implicaran la ejecución de tareas básicas de interacción en tridimensional (3D). De las cuatro tareas reconocidas por Bowman y col. [Bow+01], se seleccionaron las de navegación, selección y manipulación. No se consideró la tarea de control, dado que no es posible ejecutarla de forma colaborativa.

Para cumplir con el objetivo planteado, se propuso diseñar un caso estudio que garantizara las características de colaboración a ser evaluadas. Así, se decidió que éste debería incluir tres (3) actividades colaborativas, cada una orientada a una tarea de interacción en 3D, que fueran desarrolladas con artefactos de I+I conocidos, pero bajo dos condiciones distintas de colaboración. Se esperaba entonces que los indicadores definidos en la metodología, permitieran caracterizar de forma distintiva las dos condiciones de colaboración, cuando la actividad es realizada con el mismo artefacto de I+I.

Un segundo objetivo fue evaluar de forma integral todos los elementos metodológicos del enfoque CD-CAA, lo cual implicó seguir de forma rigurosa el procedimiento establecido y cumplir con lineamientos definidos en la propuesta. Para este último objetivo se usó una metodología de observación participante, en inglés *participant observation* [Kaw05], similar a la empleada en los dos casos de proposición (CasoP y CasoD), registrando todos los hallazgos evidenciados durante el proceso de evaluación en un diario de campo, en inglés *field diaries*.

## 7.2. Aplicación

### 7.2.1. Problema de I+I

De acuerdo a los objetivos planteados, el principal requerimiento de este caso de estudio era el diseñar tres (3) actividades colaborativas, cada una centrada en una tarea de interacción

en 3D (navegación, selección y manipulación), sujeto a la restricción de solo contar con una pareja de dispositivos tanto de visualización inmersiva como de interacción 3D. Esto implicaba que la actividad debía ser realizada por equipos conformados por dos personas. Bajo dicha restricción se diseñaron las siguientes actividades colaborativas, teniendo en cuenta el lineamiento del enfoque CD-CAA, en el cual la actividad debe garantizar la colaboración, exigiendo características como responsabilidad individual, igual participación e interdependencia positiva. Así, las tres actividades se diseñaron bajo dicho esquema, definiendo la condición experimental de colaboración libre. Posteriormente, a cada actividad se le agregaron restricciones adicionales para general la segunda condición experimental, colaboración restringida.

**Actividad de navegación** Para el caso de la navegación se diseñó un juego de búsqueda y captura de ocho (8) banderas dentro de un laberinto, el cual estaba formado por ocho habitaciones conectadas por pasillos. La figura 7.1(b) muestra una vista superior del laberinto. Se observa que cada habitación posee una estructura de pasadizos no regular, brindando así dos niveles cognitivos para la subtarea de planeamiento de rutas, el primero, la navegación externa por el laberinto, y el segundo, la navegación por cada habitación.

Para soportar el proceso de planeamiento de rutas se dotó a los usuarios de dos ayudas de navegación, un radar que ubicaba la siguiente bandera a ser capturada y un mapa que ubicaba a los dos usuarios en el laberinto, la 7.1 muestra las dos ayudas en los cuadros (b) y (c). Se definió como primera condición de colaboración (libre), una locomoción libre y la vista simultánea de las ayudas de navegación. Esta condición se mantuvo en la captura de las ocho (8) banderas. En la segunda condición de colaboración (restringida) se incluyó una restricción en la locomoción, una distancia máxima de separación entre los usuarios. Si uno de los usuarios se alejaba del otro, rompiendo dicha condición, el sistema impedía su movilidad. También se introdujo una vista separada de las ayudas para el planeamiento de rutas. Así, un usuario podía ver el radar y el otro el mapa. Esta vista se alternaba en cada captura de bandera. Se diseñaron dos mapas diferentes para que cada pareja realizará la actividad bajo las dos condiciones, eliminando así los sesgos por recordación de la ubicación de las banderas.

**Actividad de selección** Como actividad de selección se diseñó un proceso de selección-confirmación de objetos ubicados sobre una mesa, en la cual se disponía un total de 15 objetos, para una selección de 10 en la tarea asignada. El sistema mostraba dos pistas que ayudaban al equipo a identificar el objeto que debían seleccionar. Estas pistas correspondían a imágenes

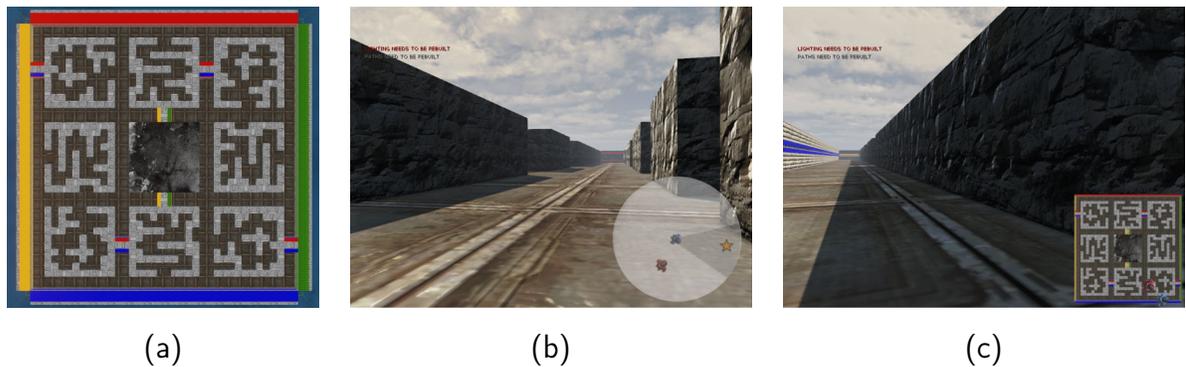


Figura 7.1: Escenario de evaluación para la actividad de navegación. En (a) se presenta el laberinto donde se realizó la captura de las banderas. En (b) y (c) se observan las ayudas visuales para apoyar la tarea de planeamiento de rutas.

de dos vistas de la silueta del objeto, una ficha del tradicional juego de tetris. En una primera fase del experimento un usuario debía seleccionar un objeto y el otro confirmar la selección. Esta actividad se realizaba apuntando directamente con la mano y no existía restricción sobre cuál usuario debía realizar la selección y cuál la confirmación, dejando esta decisión a los miembros del equipo. En la primera condición de colaboración (libre), los dos usuarios podían ver dos vistas ortogonales distintas del objeto, que siendo fichas de tetris, pueden ser fácilmente confundibles en algunas de estas vistas. Para la segunda condición (restringida), cada usuario podía ver solo una de las vistas ortogonales. La figura 7.2 muestra la mesa usada para realizar la actividad. La imagen a la izquierda ilustra la vista que tienen los usuarios al realizar la actividad bajo condición libre, en la cual se pueden observar las dos vistas del objeto, una de ellas posee además información del color de la pieza. En las dos imágenes de la derecha se observa la vista que tiene cada uno de los dos usuarios cuando realizan la actividad bajo la condición restringida.



Figura 7.2: Escenario de evaluación para la actividad de selección.

**Actividad de manipulación** Como actividad de manipulación los usuarios debían ubicar una pieza, que flotaba en frente de ellos, en una posición y con una orientación específica, solicitada por el sistema. Los movimientos de la pieza coincidían con los movimientos realizados naturalmente con las dos manos del usuario. Así, si el usuario movía las manos hacia adelante, el objeto imitaba este movimiento. El movimiento total del objeto correspondía al promedio del movimiento de los dos usuarios y solo se incluyó la posibilidad de realizar traslaciones y rotaciones, excluyendo la opción de realizar escalamiento de las piezas. Cada objeto a ser manipulado coincidía con el objeto seleccionado en la actividad de selección, por esta razón cada equipo realizaba 10 tareas de manipulación por cada condición de colaboración. En la primera condición (libre), cada usuario podía elegir libremente si rotaba o trasladaba el objeto. En la segunda condición (restringida), un usuario solo podía hacer traslaciones y el otro, solo rotaciones, alternando las responsabilidades cuando un nuevo objeto era presentado. La figura 7.3 ilustra este hecho. A la izquierda pueden verse dos iconos que representan las tareas de rotación y desplazamiento, que pueden ser elegidas por el usuario. A la derecha, en cada imagen se observa que solo se presenta un icono, lo cual indica que el usuario no puede elegir que tarea realizar.

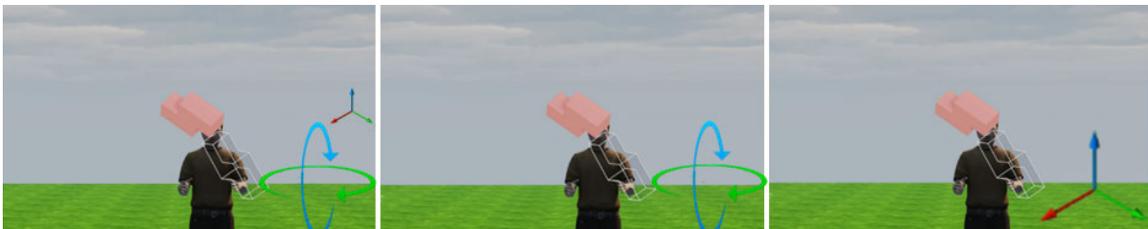


Figura 7.3: Escenario de evaluación para la actividad de manipulación.

### 7.2.2. Artefactos de I+I

Dados los objetivos de este caso de estudio se plantearon algunas condiciones para el diseño de los artefactos de I+I que soportarían la ejecución de las tareas. En primer lugar, éstos no deberían involucrar una nueva propuesta de interacción e inmersión (I+I), por lo cual debían ser artefactos de I+I en 3D conocidos. También se deseaba introducir elementos de interacción natural descritos en el estado del arte, de forma tal que consolidara la vigencia de los resultados de la evaluación en el contexto actual de interacción en 3D. Por esta razón se implementaron

artefactos de I+I usando patrones conocidos de interacción, aunque se contextualizaron a las necesidades de las actividades diseñadas. Para generar un efecto de inmersión se usaron dos artefactos de I+I. El primero un televisor con capacidad de visualización estéreo mediante gafas polarizadas pasivas, las cuales generaban el efecto de visualización en profundidad. El segundo artefacto usaba el sensor MS-Kinect para seguir el movimiento de las articulaciones del usuario, las cuales eran mapeadas al avatar para mejorar la sensación de propiocepción.

**Artefactos de navegación** Para la tarea de navegación se implementó un patrón ampliamente aceptado en el desarrollo de video juegos, el cual utiliza un *gamepad* con dos controles analógicos, el de la izquierda permite que el avatar se desplace hacia adelante-atrás y derecha-izquierda, mientras que el de la derecha permite que éste gire sobre su propio eje.

**Artefactos de selección** En este caso, se implementó uno de los patrones más simples y de uso extendido en la selección de objetos en ambientes 3D, el trazado de rayos (*ray casting*). Este patrón consiste en trazar un rayo virtual desde la mano del avatar, y seleccionar el primer objeto interceptado por este rayo en el mundo virtual. La implementación se hizo mediante el sensor MS-Kinect y los controles *wiimote* y *nunchuk*. Como ya se había mencionado, el MS-Kinect permitía controlar las articulaciones del avatar con los movimientos del usuario. Entonces, usando una línea entre el hombro del avatar y el extremo de la mano dominante, el rayo virtual era trazado. Para generar una retroalimentación física, el usuario debía tomar en sus manos los controles *wiimote* y *nunchuk*. De esta manera, los controles tenían tres funciones en la I+I. La primera era generar en el usuario la sensación de tomar con la mano dominante un apuntador de señalamiento. La segunda permitir el movimiento controlado del cursor para el señalamiento. Cuando el botón Z se dejaba oprimido, el usuario controlaba el cursor de señalamiento con el movimiento de la mano. Si el botón Z estaba suelto, el usuario podía mover su mano dominante sin afectar el cursor de señalamiento. La tercera función era procesar la orden de selección. Con el botón Z oprimido el usuario apuntaba a la pieza, al oprimir el botón C se ejecutaba la orden de selección.

**Artefactos de manipulación** Uno de los patrones más extendidos para la manipulación de objetos en entorno virtual, en inglés *Virtual Environment* (VE), es la metáfora de mano virtual, que consiste en usar una representación de la mano en el VE, la cual puede tomar y mover objetos del ambiente. Siguiendo esa metáfora, y contando con el artefacto de propiocepción a

través del sensor MS-Kinect, se generó un metáfora de manipulación de dos manos. La idea era generar en el usuario la sensación de estar tomando y moviendo un objeto con sus dos manos, el cual podía desplazar y rotar con el movimiento natural de éstas. La sensación de tomar el objeto se generaba cuando oprimía en forma simultánea los botones B y Z con las dos manos. Una vez tomado el objeto virtual, éste se movía siguiendo el desplazamiento y la rotación de las manos. Para soltar el objeto el usuario liberaba cualquiera de los dos botones.

### 7.2.3. Diseño experimental

El proceso de evaluación se orientó a validar experimentalmente los indicadores propuestos por en el enfoque CD-CAA. Por esa razón, desde la especificación del caso de estudio, se propuso diseñar (3) actividades colaborativas, cada una orientada a una tarea de interacción en 3D (navegación, selección y manipulación). Estas tareas debían ser realizadas con artefactos de I+I conocidos, pero bajo dos condiciones distintas de colaboración, libre y restringida, las cuales fueron explicadas en la sección 7.2.1. Así, se planteó la siguiente hipótesis.

*H<sub>7,8</sub> : Un conjunto de métricas asociadas a los indicadores propuestos por el enfoque CD-CAA pueden distinguir una misma actividad colaborativa, realizada bajo dos condiciones de colaboración diferentes, incluso si se emplean los mismos artefacto de I+I.*

Para probar la hipótesis  $H_{7,8}$ , se siguió el proceso metodológico definido por el enfoque CD-CAA. En consecuencia, se realizó una prueba experimental mediante banco de pruebas [BJH99; BJH00], en el que cada condición de evaluación (libre y restringida) correspondía a un ensayo del experimento y los ensayos eran realizados por todos los sujetos participantes. La comparación experimental se realizó bajo un esquema intra-sujetos (*within-subjects*), en el cual un sujeto es sometido a las dos condiciones experimentales.

Para evitar sesgos debido a la memorización de lo escenarios por parte de los usuarios, se diseñaron dos escenas de prueba para cada una de las tres (3) actividades. Adicionalmente, se generaron escenarios de entrenamiento con bajo grado de dificultad, que permitieran a los usuarios realizar pruebas de entrenamiento en el uso de los artefacto de I+I. El protocolo experimental diseñado se presenta en el algoritmo 7.1

Siguiendo los lineamientos definidos por el enfoque CD-CAA se estandarizó la instrucción de los usuarios, mediante un video de capacitación que indicaba cómo usar los equipos de

---

**Algoritmo 7.1** Protocolo experimental para la validación del conjunto de métricas e indicadores
 

---

**Require:** .

$Conditions = \{Free, Constraint\}$

$Activities = \{Navigation, Selection, Manipulation\}$

$NavigationScene = \{Maze_1, Maze_2\}$

$TableScene = \{Table_1, Table_2\}$

$Activities = \{Navigation, Selection, Manipulation\}$

$team_k = \{m_{k,1}, m_{k,2}\}$ : Work team of experiment  $k$

$startFreeConditionFlag_k$ : List =  $\{true, false, true, false, \dots\}$

$startSceneFlag_k$ : List =  $\{true, true, false, false, \dots\}$

```

1: for  $ID = 1$  to Total-number-of-experiments do
2:    $\forall m \in team_{ID}$ ; Watch( $m_{ID,j}$ , trainingVideo)
3:    $\forall m \in team_{ID}$ ; Lead( $m_{ID,j}$ , room $_j$ )
4:    $\forall m \in team_{ID}$ ; Fill( $m_{ID,j}$ , subjectCharacterizationQuestionnaire)
5:   for  $AC = 1$  to 3 do
6:     execute procedure Pre-Test end execute
7:     Check-experimental-log( $ID$ , test $_1$ )
8:     Start – Sound – Record
9:     execute procedure Activities $_{AC}$  do
10:      if startFreeConditionFlag $_{ID} = true$  then
11:        condition = Free
12:      else
13:        condition = Constraint
14:      end if
15:      if startSceneFlag $_{ID} = true$  then
16:        scene = sceneByActivity( $AC$ ) $_1$ 
17:      else
18:        scene = sceneByActivity( $AC$ ) $_2$ 
19:      end if
20:    end execute
21:     $\forall m \in team_{ID}$ ; Fill( $m_{ID,j}$ , subjectiveQuestionnaire)
22:  end for
23: end for

```

---

interacción y las instrucciones para realizar las actividades colaborativas. También se usó una bitácora o registro experimental (*experimental log*), para llevar control del avance diario de los experimentos y verificar los parámetros de cada ensayo, lo cual se hacía de la mano del protocolo experimental. Por último, se desarrolló una herramienta que permitía automatizar el proceso de

ejecución del ambiente virtual colaborativo, en inglés *Collaborative Virtual Environment* (CVE), bajo los parámetros de cada ensayo, minimizando los errores humanos que pudieran suceder por la ejecución manual del entorno.

### Datos y Métricas

Dado que el principal objetivo del caso de estudio era la validación experimental de los indicadores propuestos en la metodología CD-CAA, el proceso de recolección de datos se centró en el registro detallado de todos los procesos de interacción de los usuarios con el CVE, el cual se realizó con una frecuencia de  $250\text{ ms}$ . Los archivos de registro (*log files*) eran actualizados simultáneamente en los dos (2) computadores, lo que permitió realizar pruebas de verificación y control.

los indicadores propuestos en el enfoque CD-CAA se dividen en dos subconjuntos. El primer subconjunto, los indicadores de interacción colaborativa, definidos a partir de las características de un artefacto de consciencia común o artefacto de consciencia compartida, en inglés *shared-awareness artefacts* (SAA) o *common-awareness artefacts* (CAA). El segundo subconjunto, los indicadores de inmersión colaborativa, se dirigen al monitoreo de las actividades que al ser realizadas mediante un CAA soportan el ascenso por la pirámide de consciencia del espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness Pyramid* (WAP), hasta alcanzar el nivel de inmersión colaborativa. Todas métricas presentadas son calculadas como un índice normalizado, con valores entre 0 y 1, donde 1 es el valor deseado para la métrica.

**Indicadores de interacción colaborativa** Los cinco indicadores de interacción colaborativa se orientan a diagnosticar cómo la interacción del usuario, realizada mediante un artefacto de I+I, favorece la colaboración, es decir, a medir en qué grado el artefacto de I+I se comporta como un CAA ideal.

El indicador de **predecibilidad** ( $IT_1^C$ ) debe medir si el uso del artefacto de I+I es predecible por el usuario, que tan fácil es de superar la sobrecarga cognitiva, en inglés *cognitive overload*, que impone el artefacto.

- **Navegación.** Se definieron como métricas asociadas a este indicador el índice de velocidad relativa ( $RV$ ) y el índice de distancia entre usuarios ( $UD$ ). El ( $RV$ ) corresponde al cálculo de la velocidad promedio relativa entre los usuarios, normalizada por la máxima velocidad

teórica del avatar. El ( $UD$ ) se calcula como el cociente entre la distancia promedio entre usuarios sobre una distancia de normalización.

- Selección. En la tarea de selección la predecibilidad de uso del artefacto puede observarse en la razón del número de clicks realizados, sobre el número de objetos marcados, lo que se denomina el índice de selección efectiva ( $EF$ ).
- Manipulación. Para la tarea de navegación, un índice del tiempo de interacción ( $IT$ ) alto indica que el usuario se familiarizó con la interacción, que logró superar la sobrecarga cognitiva y predecir su uso.

El indicador de **consciencia**, en inglés *awareness periférica* ( $IT_2^C$ ) se orienta a determinar si la interacción con el artefacto de I+I disminuye el grado de atención del usuario hacia la tarea principal. Una forma de medir este indicador es a través de métricas de desempeño de ejecución de la tarea. El índice del tiempo empleado ( $TT$ ), hace referencia al porcentaje del tiempo empleado para realizar la actividad, con respecto al tiempo máximo permitido para su realización. Esta es una métrica común a las tres actividades. Adicionalmente se definieron las siguientes métricas para cada una de las tareas:

- Navegación. El índice de banderas capturadas ( $FC$ ), que corresponde al porcentaje de banderas capturas sobre el total de banderas a capturar.
- Selección. El índice de piezas seleccionadas ( $PS$ ), teniendo en cuenta que si la selección no se hace en el tiempo adecuado, la prueba continua con la siguiente.
- Manipulación. Dado que en este actividad no existe la posibilidad de no manipular con el objetivo de la tarea, el índice de precisión de ajuste ( $AP$ ), mide la calidad de manipulación con respecto al modelo.

El indicador de **comunicación implícita** ( $IT_3^C$ ) debe medir los canales no convencionales de comunicación entre los miembros del equipo, la comunicación no evidente.

- Navegación. Este tipo de comunicación se observa cuando un usuario sigue o imita los movimientos de su compañero. Se calcula como la diferencia entre los vectores de desplazamiento de los usuarios entre dos instantes de tiempo consecutivos, el cual se denomina índice de respuesta del usuario guiado ( $GRD$ ). Se aclara que aunque en esta actividad no

se diseñó de forma explícita el rol de guía y de guiado en la tarea, estos emergen de forma natural. Es posible detectar el usuario guía desde los datos registrados, identificando el usuario más adelantado con respecto a la dirección del vector de movimiento del equipo. Otra métrica de **comunicación implícita** es el índice de respuesta del usuario guía ( $GD$ ), el cual permite medir la reacción del guía cuando percibe cambios en la distancia al usuario guiado. La reacción que se espera observar es que el guía ajuste su velocidad. Así, debe reducir su velocidad para esperar al usuario guiado, si la distancia aumenta; o aumentar su velocidad, si ésta distancia disminuye.

- Selección. En la tarea de selección el índice del tiempo de confirmación ( $SCT$ ), entendido como tiempo ocurrido desde que un primer usuario hace la selección, hasta que el segundo lo confirma.
- Manipulación. En el caso de la manipulación, el índice de ajuste en una interacción alternada ( $ASI$ ), permite medir que entre la pareja existe una comunicación tacita, donde los movimientos de un usuario a la pieza no contradicen lo movimientos hechos por el otro usuario, mas aun, los confirma rápidamente.

El indicador de **negociación** ( $IT_4^C$ ) busca diagnosticar la comunicación de doble vía, que permite resolver los conflictos que se presentan entre los miembros del equipo al realizar la actividad.

- Navegación. El cambio natural de roles que emerge del equipo de trabajo es un indicador de negociación, se propone entonces el índice de cambio de roles ( $SR$ ), para medir el tiempo empleado por el equipo para adaptarse al nuevo líder. Otro evento importante de medir, como elemento de la negociación, es la rapidez con que el equipo asume la captura de la bandera e inicia de nuevo la actividad, para los cual se diseñó el índice del tiempo de salida de la zona de conflicto ( $TOCZ$ ), el cual mide el porcentaje de tiempo empleado para alejarse de la posición de la bandera capturada (zona de conflicto).
- Selección. En la actividad de selección se puede observar la negociación cuando se culmina una selección colaborativa (el segundo usuario hace la confirmación) con un error, de forma que el índice del tiempo de la nueva selección después de ocurrir un error ( $STAW$ ), indica que tan rápido negoció el equipo y llegó a un consenso del paso a seguir.

- **Manipulación.** La actividad de manipulación conjunta requiere una continua negociación, por eso, la mejor manera de evidenciarla es midiendo la evolución del ajuste ( $AE$ ), si el objeto paso a paso se acercaba a su ajuste ideal, hubo una adecuada negociación.

Por último el indicador de **vista general** ( $IT_5^C$ ) debe medir el aporte que la interacción hace a la tarea global, a la meta final, a la visión general de la actividad. Dentro de este indicador se definieron las siguientes métricas:

- **Navegación.** El índice de la distancia a la ruta ideal ( $IP$ ), como una medida de qué tanto se desvió o se acercó el equipo a la ruta más corta posible; el índice de proximidad al objetivo ( $TD$ ) promedia la distancia de cada miembro del equipo a la bandera buscada. Estas métricas permiten evaluar que tan adecuada fue la vista general de la tarea.
- **Selección.** Dadas las características de las actividad, no es posible definir una métrica asociada a este indicador.
- **Manipulación.** Si el objeto se movió mucho en el espacio antes de llegar a su posición de ajuste (índice de movimiento del objeto ( $MT$ )), indica que el equipo no tenía una visión completa de la actividad, si el movimiento fue más preciso, la visión general de la actividad del equipo fue mejor.

**Indicadores de inmersión colaborativa** Los indicadores de inmersión colaborativa se dirigen a monitorear cómo las actividades soportan y facilitan el ascenso por los niveles de inmersión de la WAP. Así, se diseñaron las siguientes métricas para los indicadores propuestos.

El indicador **acoplamiento del equipo** ( $IM_1^C$ ) debe permitir evaluar cómo se realiza la transición entre las actividades individuales y las tareas grupales, es decir, determinar si el equipo se comporta como un todo, y no como un grupo de individuos independientes.

- **Navegación.** Para este indicador se diseñaron dos métricas: el índice de la velocidad del equipo ( $TV$ ), que permite medir el comportamiento del equipo como si fuera un solo individuo realizando la actividad; y el índice de similitud de los recorridos ( $PS$ ), el cual mide qué tan diferentes fueron los recorridos individuales entre los miembros del equipo.
- **Selección.** El índice de interacción simultánea ( $SI$ ) permite medir si la pareja actuó de forma mancomunado o individual.

- Manipulación. El índice de interacción simultánea ( $SI$ ) también es una métrica adecuada.

El indicador de **simplificación de la comunicación** ( $IM_2^C$ ) se orienta a determinar cómo en un equipo de trabajo emergen elementos que disminuyen la necesidad de la comunicación explícita. Por lo tanto el índice de evolución del tiempo de comunicación ( $CE$ ) mide cómo aumenta o disminuye la comunicación a medida que se cumplen metas parciales. Este métrica se calcula para las tres actividades, tomando como metas parciales la captura de una bandera, la confirmación de un objeto y una sesión de interacción conjunta.

El indicador de **coordinación** ( $IM_3^C$ ) está dado por los mensajes y mecanismos que surgen del equipo para facilitar la realización de la actividad. El índice del tiempo de comunicación ( $CT$ ), es una métrica común en las actividades, entendido como el porcentaje del tiempo que el equipo se comunicó, con respecto al tiempo total de la tarea, éste permite evaluar si se presentaron acciones que facilitan la coordinación.

- Navegación. El índice de orientación ( $OT$ ) permite medir qué tanto giraron los usuarios con respecto a sí mismos, entendiendo que dicho comportamiento es una evidencia de desorientación en el entorno virtual, y por lo tanto, de baja coordinación en la actividad.
- Selección. El índice de interacción alternada en la selección ( $IIS$ ), indica la presencia de elementos de colaboración al realizar la actividad.
- Manipulación. El índice de interacción alternada en la manipulación ( $IIM$ ), también es una métrica adecuada para la actividad de manipulación.

El indicador de anticipación ( $IM_4^C$ ) busca medir el nivel de entendimiento del equipo, cuando es posible anticiparse a un movimiento del compañero.

- Navegación. La métrica de índice de movimiento anticipado ( $MA$ ), se calcula como la diferencia entre el movimiento anticipado de un usuario y el movimiento real realizado por su compañero.
- Selección. Dadas las características de las actividad, no es posible definir una métrica asociada.
- Manipulación. Si el objeto se movió mucho en el espacio antes de llegar a su posición de ajuste (índice de movimiento del objeto ( $MV$ )), indica que el equipo no tenía un

visión completa de la actividad, si el movimiento fue más preciso, la visión general de la actividad en el equipo fue mejor.

El indicador de asistencia **asistencia**( $IM_5^C$ ) busca medir el apoyo que se prestan los miembros del equipo.

- **Navegación.** La métrica de índice de paradas para realizar una asistencia ( $SA$ ), precisamente calcula el porcentaje de tiempo empleado por un usuario para esperar a su compañero.
- **Selección.** Dadas las características de las actividad, no es posible definir una métrica asociada.
- **Manipulación.** La métrica de índice de paradas para realizar una asistencia ( $SA$ ), también puede ser calculada en esta actividad, donde se espera que un usuario cese sus movimientos para permitir que el compañero realice su parte de la actividad .

**Cuestionarios y datos subjetivos** Aunque el objetivo principal de la evaluación era identificar diferencias significativa entre las métricas calculadas bajo las dos condiciones de colaboración, se definió que era pertinente incluir algunos aspectos de percepción subjetiva de los usuarios. De la experiencia de la aplicación del Caso **P** se adaptó el cuestionario propuesto por Schroeder y col. [Sch+01a], el cual incluía elementos de inmersión y colaboración, tomando cinco (5) de las secciones propuestas: colaboración, contribución a la tarea, presencia, en inglés *presence*, sensación de visita previa y co-presencia, en inglés *co-presence* [Sch+01a]. Además se incluyeron preguntas de usabilidad, en inglés *usability* para indagar aspectos de: precisión, eficiencia, confort, facilidad de aprendizaje y desempeño general. Todas las respuestas fueron valoradas en una escala del 1 al 5, la Tabla 7.1 muestra las preguntas incluidas en este cuestionario.

### Ejecución de las pruebas

**Hardware y equipo de experimentación** Para el desarrollo de esta caso de estudio se usaron como equipos de visualización inmersiva dos Televisores Smart TV 3D LG de 42 pulgadas, con gafas pasivas que permiten una visualización estereoscópica.

<i>1) Colaboración</i>			
P1. ¿Cómo percibió la ayuda que prestó a su compañero en la TAREA?			
(1) Percibí que nunca le ayudé		(5) Percibí que todo el tiempo le ayudé	
P2. ¿Cómo percibió la ayuda que recibió de su compañero en la TAREA?			
(1) Percibí que nunca me ayudó		(5) Percibí que todo el tiempo me ayudó	
<i>2) Contribución a la tarea</i>			
P3. Cuando tuvo la oportunidad, ¿cómo percibió que apoyó a su compañero en la TAREA?			
(1) Percibí que nunca lo apoyé		(5) Percibí que todo el tiempo lo apoyé	
P4. Cuando tuvo la oportunidad, ¿cómo percibió que su compañero lo apoyó en la TAREA?			
(1) Percibí que nunca me guió		(5) Percibí que todo el tiempo me guió	
<i>3) Presencia</i>			
P5. Califique la sensación percibida de estar LUGAR			
(1) Muy baja, nunca me sentí LUGAR		(5) Muy alta, todo el tiempo me sentí LUGAR	
P6. Cuando recuerda la tarea, califique la sensación de estar haciendo una TAREA			
(1) Muy baja, no me siento haciendo una TAREA		(5) Muy alta, me siento haciendo una TAREA	
<i>4) Sensación de Visita Previa</i>			
P7. Califique la sensación de haber estado LUGAR ó de haber estado mirando LUGAR-V			
(1) Sentí que estaba mirando LUGAR-V		(5) Sentí que me encontraba LUGAR	
<i>5) Co-presencia</i>			
P8. Califique la sensación percibida de estar en la mismo lugar con su compañero			
(1) Muy baja, no me sentí en el mismo lugar con el		(5) Muy alta, me sentí en el mismo lugar con el	
P9. Cuando recuerda la tarea, califique la sensación de estar TAREA-R			
(1) Muy baja, no siento que estoy TAREA-R		(5) Muy alta, si siento que estoy TAREA-R	
<i>6) Usabilidad</i>			
P10. Califique la precisión de la interacción en el entorno virtual			
(1) Muy impreciso, nunca lograba el movimiento		(5) Muy preciso, siempre lograba el movimiento	
P11. Califique la eficiencia de la interacción en el entorno virtual			
(1) Muy ineficiente, el retraso era muy alto		(5) Muy eficiente, el retraso casi no se percibía	
P12. Califique la comodidad de la interacción			
(1) Muy incómoda, me cansé rápidamente		(5) Muy cómoda, casi no me cansé	
P13. Califique la facilidad con que aprendió a interactuar en el entorno virtual			
(1) Difícil, el entrenamiento no fue suficiente		(5) Fácil, casi no requerí entrenamiento	
P14. De manera general, califique la tarea de encontrar las banderas en el entorno virtual			
(1) Muy difícil, no era posible encontrarlas		(5) Muy fácil, era muy sencillo encontrarlas	
FRASES COMODÍN POR TAREA DE INTERACCIÓN EN 3D			
	Navegación	Selección	Manipulación
TAREA	búsqueda de banderas	selección de objetos	ubicación del objeto
LUGAR	dentro de un laberinto	al frente de la mesa	en un espacio abierto
LUGAR-V	un laberinto	una mesa	un espacio abierto
TAREA-R	caminando con mi compañero	frente a una mesa con mi compañero	moviendo un objeto con mi compañero

Tabla 7.1: Preguntas aplicadas en el cuestionario de percepción subjetiva.

Un sensor MS Kinect permite rastrear la posición de las extremidades de los usuarios y brinda sensación de propiocepción. Para la actividad de navegación se usó un control o gamepad de Xbox 360. Para las actividades de selección y manipulación se empleó un control Nintedo Wii con MotionPlus y Nunchuk. La comunicación verbal entre los usuarios fue realizada usando una diadema estándar con micrófono. El CVE fue ejecutado en estaciones de trabajo con sistema operativo Windows 7, Procesador Intel i7 y tarjeta NVIDIA GeForce 720. Se usaron dos salas con la misma configuración de equipos, impidiendo cualquier otro tipo de comunicación entre los usuarios.

**Sujetos participantes** Se realizó una convocatoria abierta, a través de comunicación voz a vos, a toda la comunidad académica de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca. La invitación no incluyó detalles particulares de las pruebas a ser realizadas, solo convocó voluntarios para participar en una prueba de realidad virtual, en inglés *Virtual Reality* (VR).

La convocatoria fue atendida por 32 personas, 9 mujeres y 23 hombres, que fueron distribuidos al azar para conformar 16 equipos. La población elegida contó con una edad promedio 25 años, distribuida entre 20 y 32 años de edad. Los participantes reportaron que un 14 % tenía un nivel de escolaridad máxima de secundaria, un 13 % técnico y un 73 % profesional.

Con respecto a las habilidades y experiencia en video juegos, el 44 % reportó que no habían jugado nunca juegos de acción en 3D, un 12 % manifestó que no tenían coordinación motora para este tipo de juegos, un 15 % reportó tener pocas dificultades motoras al jugar, un 24 % se declaró ser buenos jugadores y un 5 % manifestó ser muy buen jugador.

#### 7.2.4. Resultados

Los datos fueron sometidos a pruebas estadísticas para realizar contraste de hipótesis. Se realizó una prueba de normalidad, aplicando un test *Shapiro-Wilk*. Para contrastar los resultados obtenidos se tuvo en cuenta que se trataba de un diseño intra-sujetos (*within-subjects*) con muestras pareadas. De esa forma se aplicó una prueba de rangos con signo de *Wilcoxon* en los datos que no superan la prueba de normalidad, y una prueba *t-student* para muestra pareadas, en los otros casos. Se definió como hipótesis nula  $H_0^* = \text{Las métrica } IT_i \text{ e } IM_i \text{ calculadas en las dos condiciones de colaboración presentan un valor igual o similar}$ . Así, al descartar la

hipótesis  $H_0^*$ , se aceptaría la hipótesis alterna  $H_1^* =$  Las métricas  $IT_i$  y  $IM_i$ , calculadas en las dos condiciones de colaboración, presentan valores significativamente diferentes

Interacción				Inmersión			
	Libre		Restringida		Libre		Restringida
$IT^i$	$\mu \pm \sigma$	$p$	$\mu \pm \sigma$	$IM^i$	$\mu \pm \sigma$	$p$	$\mu \pm \sigma$
$IT^1$	0,395 ± 0,083	< <b>0.000</b>	0,6345 ± 0,082	$IM^1$	0,540 ± 0,136	< <b>0.000</b>	0,381 ± 0,150
$IT^2$	0,258 ± 0,023	< <b>0.000</b>	0,131 ± 0,113	$IM^2$	0,123 ± 0,167	<b>0.041</b>	0,275 ± 0,092
$IT^3$	0,793 ± 0,143	0.795	0,731 ± 0,235	$IM^3$	0,881 ± 0,934	<b>0.003</b>	0,895 ± 0,028
$IT^4$	0,928 ± 0,071	0.437	0,909 ± 0,059	$IM^4$	0,154 ± 0,783	< <b>0.000</b>	0,084 ± 0,063
$IT^5$	0,878 ± 0,113	0.234	0,802 ± 0,197	$IM^5$	0,223 ± 0,101	< <b>0.000</b>	0,328 ± 0,105

Tabla 7.2: Resultado del contraste de hipótesis para la comparación del cálculo de métricas asociadas a los índices de interacción e inmersión colaborativa propuestos en el enfoque CD-CAA, en la actividad de navegación, bajo las dos condiciones de colaboración.

La Tabla 7.2 presenta los resultados de la evaluación aplicada en a la actividad de navegación. Las columnas presentan los valores de las dos condiciones experimentales para los dos conjuntos de métricas. En las filas, para cada métrica, se presenta el valor promedio ( $\mu$ ), la desviación estándar  $\sigma$  y, la probabilidad  $p$  de aceptar la hipótesis nula ( $H_0^*$ ). Se resaltan en negrita los casos en los cuales es posible descartar la hipótesis nula ( $p < 0,05$ ).

Para contrastar los datos obtenidos de la aplicación de los cuestionarios se realizó un esquema similar al usado en la métricas cuantitativas. Los respuestas fueron sometidas a una prueba de normalidad, aplicando un test *Shapiro-Wilk*. Así, se plantea como hipótesis nula  $H_0^{**} =$  Las respuesta obtenidas para cada condición de colaboración son iguales o similares. La tabla 7.3 muestra los resultados obtenidos al aplicar el cuestionario en las tres actividades, bajo las dos condiciones de colaboración. De los resultados resalta el hecho de que la valoración subjetiva de los usuarios no presentó diferencias entre las dos condiciones de colaboración. En solo tres casos se obtuvo diferencias estadísticamente significativas, pregunta P1 en la actividad de navegación y la pregunta P14 para las actividades de manipulación y selección. Lo anterior permite concluir, que los usuarios no percibieron diferencias al realizar la actividad bajo las dos condiciones, lo cual contrasta con los resultados cuantitativos, que mostraron diferencias significativas importantes.

Pregunta		Navegación		Selección		Manipulación	
		Libre	Restringida	Libre	Restringida	Libre	Restringida
P1	$\mu$	3.562	4.000	4.406	4.125	4.406	4.125
	$\sigma$	0.873	0.836	0.523	0.741	0.523	0.7416
	$p$	0.025		0.120		0.864	
P2	$\mu$	3.812	3.718	4.406	4.312	4.406	4.312
	$\sigma$	0.834	0.912	0.611	0.680	0.611	0.680
	$p$	0.6174		0.548		0.548	
P3	$\mu$	3.906	3.968	4.500	4.343	4.500	4.348
	$\sigma$	0.583	0.784	0.483	0.569	0.483	0.569
	$p$	0.735		0.289		1.000	
P4	$\mu$	3.812	3.750	4.500	4.406	4.500	4.406
	$\sigma$	0.793	0.795	0.577	0.583	0.577	0.583
	$p$	0.718		0.509		1.000	
P5	$\mu$	3.906	3.937	3.718	3.687	3.718	3.687
	$\sigma$	0.523	0.680	0.546	0.727	0.546	0.727
	$p$	0.826		0.859		1.000	
P6	$\mu$	4.000	3.968	3.906	3.656	3.906	3.656
	$\sigma$	0.577	0.531	0.554	0.625	0.554	0.625
	$p$	0.773		0.134		0.055	
P7	$\mu$	4.062	4.062	3.593	3.656	3.593	3.656
	$\sigma$	0.680	0.602	0.490	0.651	0.490	0.651
	$p$	1.000		0.652		0.848	
P8	$\mu$	3.875	3.875	3.937	3.906	3.937	3.906
	$\sigma$	0.741	0.591	0.602	0.638	0.602	0.638
	$p$	1.000		0.826		0.456	
P9	$\mu$	3.968	4.031	4.000	3.937	4.000	3.937
	$\sigma$	0.590	0.670	0.547	0.602	0.547	0.602
	$p$	0.652		0.652		0.206	
P10	$\mu$	4.093	3.875	3.812	3.687	3.812	3.687
	$\sigma$	0.583	0.763	0.309	0.602	0.309	0.602
	$p$	0.234		0.299		0.352	
P11	$\mu$	4.125	3.843	3.750	3.625	3.750	3.625
	$\sigma$	0.591	0.768	0.516	0.806	0.516	0.806
	$p$	0.155		0.588		0.093	
P12	$\mu$	3.968	3.812	2.687	2.593	2.687	2.593
	$\sigma$	0.590	0.543	0.750	0.879	0.750	0.879
	$p$	0.401		0.627		0.134	
P13	$\mu$	4.093	4.156	4.468	4.343	4.468	4.343
	$\sigma$	0.735	0.700	0.531	0.676	0.531	0.676
	$p$	0.580		0.431		0.915	
P14	$\mu$	3.812	3.281	4.031	3.656	4.031	3.656
	$\sigma$	0.813	0.773	0.426	0.625	0.426	0.625
	$p$	0.013		0.022		0.082	

Tabla 7.3: Resultados del cuestionario de percepción subjetiva aplicado (tabla 7.1). Se relatan las preguntas que presentaron diferencia significativa entre las dos (2) condiciones.

### 7.3. Análisis

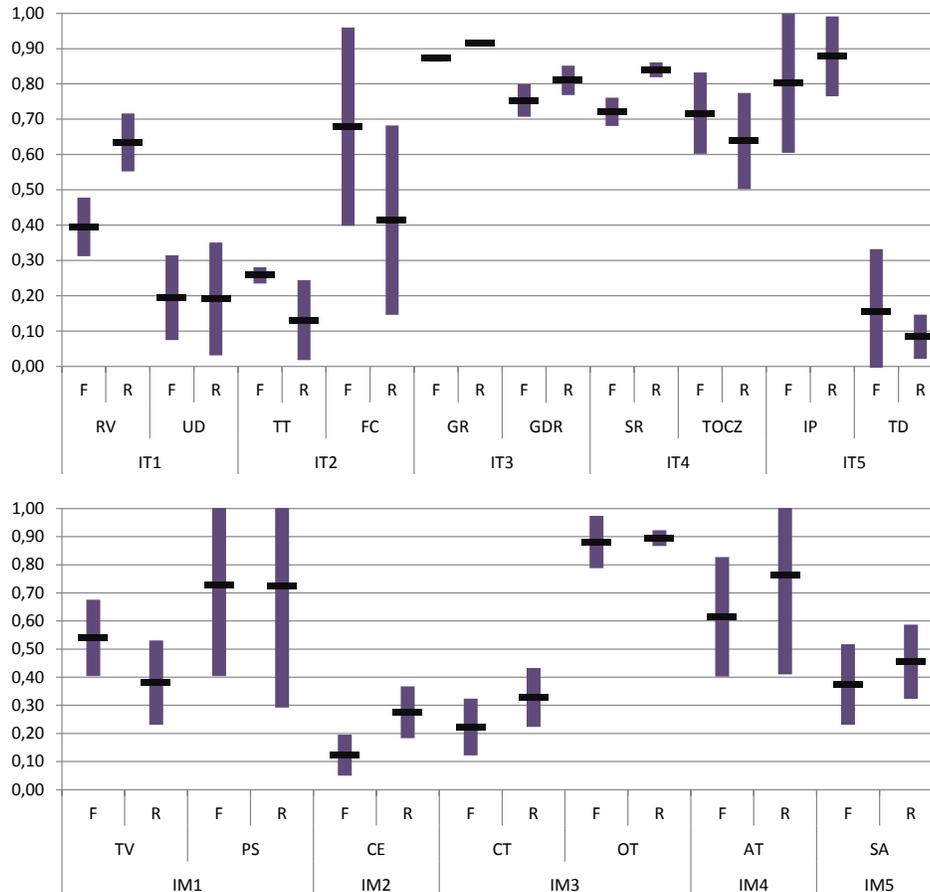


Figura 7.4: Gráfico de las métricas para los indicadores propuestos.

El proceso de experimentación propuesto fue diseñado de forma tal que permitiera aceptar o rechazar la hipótesis  $H_{7,8}$ . Para ello, se calcularon diez (10) métricas asociadas a los cinco (5) indicadores de interacción colaborativa y (7) métricas asociadas a los cinco (5) indicadores de inmersión colaborativa definidos en la propuesta CD-CAA. Las métricas calculadas correspondieron a (2) de predecibilidad ( $IT_1$ ), dos (2) de conciencia periférica ( $IT_2$ ), dos (2) de comunicación implícita ( $IT_3$ ), dos (2) de negociación ( $IT_4$ ), dos (2) de negociación de vista general ( $IT_5$ ), dos (2) de acoplamiento del equipo ( $IM_1$ ), una (1) de simplificación de comunicación ( $IM_2$ ), dos (2) de coordinación ( $IM_3$ ), una (1) de anticipación ( $IM_4$ ) y una (1) de asistencia ( $IM_5$ ).

La figura 7.4 muestra gráficamente los resultados obtenidos para los 10 indicadores. En la parte superior se presentan los resultados de los cinco (5) indicadores de interacción colaborativa, y en la parte inferior los que corresponden a los cinco (5) indicadores de inmersión colaborativa. Se observa claramente las métricas que no presentaron diferencia significativa para las dos condiciones de colaboración, es decir las que muestran alta variabilidad, las cuales son: el índice de distancia entre usuarios (*UD*), el índice del tiempo de salida de zona de conflicto (*TOCZ*), el índice de distancia a la ruta ideal (*IP*) y el índice de similitud de los recorridos (*PS*).

Al hacer una lectura conjunta de las gráficas y de los resultados numéricos presentados en la tabla 7.2, se observa que para la mayoría de las métricas calculadas se encontró diferencias estadísticas entre las dos condiciones de colaboración. Se observa que para los casos en los que la probabilidad de aceptación de hipótesis nula es muy baja, las diferencias son evidentes gráficamente, y presentan baja variabilidad. Es interesante resaltar, que las métricas que presentaron menor variabilidad y valores más altos, corresponden a indicadores relacionados con los niveles más bajos de la WAP, es decir, predecibilidad, simplificación de la comunicación, y comunicación implícita, lo que evidencia la dificultad natural de los usuario para ascender a los niveles más altos de interacción e inmersión colaborativa.

Lo anterior permite afirmar de forma categórica que la hipótesis  $H_{7,8}$  es cierta, ya que para todos los indicadores de colaboración, se encontró al menos una métrica que presentó diferencias estadísticas entre las dos condiciones de colaboración.

Es importante resaltar que estos resultados contrastan con los obtenidos con la aplicación del cuestionario de percepción subjetivo. Es necesario considerar que la actividad colaborativa realizada bajo la condición restringida, solo variaba de la condición libre, por la inclusión de algunas restricción adicionales, sin embargo, la actividad era la misma en términos generales. Por lo tanto, no es una sorpresa, que los usuarios no hallan percibido diferencias importantes cuando realizaron la actividad bajo las dos condiciones. Pero se resalta que las métricas cuantitativas sí permitieron identificar un desempeño en la colaboración diferente para las dos condiciones.

En este punto es adecuado recordar el principal objetivo de este caso de estudio, validar experimentalmente el conjunto de indicadores propuesto en el enfoque de evaluación CD-CAA. Entonces teniendo en cuenta, que 1) se diseñaron actividades colaborativas asociadas a las tres principales tareas de interacción en 3D (navegación, selección y manipulación), 2) las activida-

des diseñadas fueron desarrolladas bajo dos condiciones de colaboración diferentes, 3) que las diferencias entre las dos condiciones de colaboración solo implicaron agregar algunas restricciones, por lo tanto las dos condiciones no presentaban grandes diferencias, 4) que las actividades se desarrollaron bajo las dos condiciones usando los mismos artefacto de I+I, 5) que el diseño experimental garantiza que los resultados obtenidos no dependen del orden en que fue evaluada la condición de colaboración, ni del escenario de evaluación, y 6) que los resultados del contraste estadístico de los datos permite afirmar que al hipótesis  $H_{7,8}$  es cierta, podemos concluir que el conjunto de indicadores propuesto en el enfoque de evaluación CD-CAA permiten diferenciar en una actividad colaborativa características de colaboración similares, por lo tanto, son una herramienta adecuada para diagnósticas características de colaboración en una actividad de I+I, y pueden ser usados para evaluar la colaboración en distintas condiciones, incluyendo el uso de diferentes artefacto de I+I, diferentes condiciones experimentales, diferentes entornos virtuales, entre otros.

## 7.4. Conclusiones

El desarrollo de este caso de estudio permitió la validación experimental del conjunto de indicadores propuesto por el enfoque CD-CAA con resultados concluyentes. Los cuales permiten afirmar que un conjunto de métricas diseñadas para evaluar las características de colaboración definidas por los indicadores propuestos, es adecuado como instrumento de medición y comparación de la colaboración en un entorno de I+I en 3D. Aún cuando algunas de ellas no presentaron diferencias estadística significativa.

Un resultado importante, es que las métricas cuantitativas permitieron identificar diferencias en las actividades desarrolladas bajo dos condiciones de colaboración, aún cuando la indagación subjetiva, realizada a los usuarios mediante la aplicación de un cuestionario, no permitió identificar diferencias significativas entre dichas condiciones. Lo anterior permite afirmar que las métricas cuantitativas son más sensibles a los cambios en las condiciones de colaboración, que los cuestionarios subjetivos.

Adicionalmente, como parte del proceso de validación, se aplicó el enfoque CD-CAA, siguiendo los pasos, métodos y lineamientos propuestos por dicha propuesta metodológica. Durante el proceso de evaluación se observó que el seguimiento de los lineamientos establecidos en el enfoque CD-CAA facilita la ejecución de la pruebas y minimiza los posibles errores humanos

en el momento de configurar y ejecutar el entorno virtual bajo los parámetros experimentales adecuados. Entonces, este caso de estudio se consolidó como el primero con fines de evaluación, que permitió evidenciar las ventajas del enfoque CD-CAA para evaluar la colaboración sobre una ambiente 3D inmersivo.

## Capítulo 8

# Caso de estudio: Lenguaje táctil para soportar actividades colaborativas

*“Nonverbal communication is an important aspect of real-life face-to-face interaction and one of the most efficient ways to convey emotions, therefore users should be provided the means to replicate it in the virtual world.”*

[GV+99]

Este último caso de estudio estaba dirigido a validar en forma integral el enfoque metodológico diagnóstico de la conformidad de los artefactos de consciencia compartida, en inglés *Conformity Diagnosis of Common Awareness Artefacts* (CD-CAA), sus procedimientos, sus lineamientos, los indicadores y el modelo conceptual que lo soporta. Por esa razón se planteó abordar un caso de estudio real, no acotado, en el que se participara en la formulación, diseño, desarrollo y evaluación del nuevo artefacto de interacción e inmersión (I+I). Para ello, se realizó una nueva integración al equipo de investigación del *Grupo de Pesquisa em Computação Gráfica, Processamento de Imagens e Interação*(CG-INF)<sup>1</sup>, del *Instituto de Informática* de la *Universidade Federal do Rio Grande do Sul* (UFRGS), en Brasil. De forma similar al primer caso de estudio, el equipo de evaluación estuvo conformado por tres expertos que dirigieron el proceso, un experto en trabajo colaborativo, y otros dos, expertos en interacción en tridimensional (3D) y entorno virtual, en inglés *Virtual Environment* (VE). El proceso de diseño, ejecución y análisis estuvo a cargo de dos estudiantes de doctorado, incluyendo el autor de este documento. Para la

---

<sup>1</sup>[http://inf.ufrgs.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=55](http://inf.ufrgs.br/index.php?option=com_content&view=article&id=55)

ejecución de las pruebas con usuarios, se contó con el apoyo de dos (2) estudiantes de maestría, con experiencia en la ejecución de pruebas similares.

A continuación, se describen las tres (3) etapas de desarrollo del caso de estudio: especificación, aplicación y análisis. En las que se evidencia la aplicación de cada uno de los elementos del enfoque CD-CAA.

## 8.1. Especificación

Como ya se mencionó, el objetivo de éste caso de estudio era aplicar y validar cada uno de los elementos del enfoque CD-CAA. Por esta razón se plantearon las siguientes preguntas a ser abordadas, ¿Cuáles son las ventajas y las falencias del enfoque CD-CAA como método para la evaluación de nuevos artefactos de I+I?, ¿Son los lineamientos propuestos por el enfoque CD-CAA suficientes para garantizar la correcta ejecución de la evaluación?, ¿Permiten el conjunto de indicadores definir métricas adecuadas para entender y analizar como el nuevo artefacto de I+I afecta la colaboración?. Para poder responder los anteriores interrogantes se recurrió nuevamente a una metodología de observación participante, en inglés *participant observation* [Kaw05], usando como principal herramienta de registro un diario de campo, en inglés *field diaries*, donde se consignaron todas las actividades desarrolladas.

## 8.2. Aplicación

### 8.2.1. Problema de I+I

El interés del personal de investigación era encontrar cómo usar elementos hápticos (táctiles) como parte de un artefacto relevante para la realización de actividades colaborativas en VE. Se partió de experiencias previas en trabajos que empleaban interfaces hápticas como elemento de apoyo a la navegación en un VE, como el trabajo desarrollado en el Caso P expuesto en el capítulo 5.

Se partió del hecho, de que la comunicación es un proceso natural presente en muchos contextos, particularmente en el caso del trabajo en grupo, la comunicación ocurre sobre diferentes canales, modos y medios de transmisión. Por ejemplo, de acuerdo a la postura corporal es posible evidenciar que un miembro del equipo no está entendiendo una explicación, o no le

interesa. De forma similar, los gestos de las manos y del rostro permiten expresar mensajes de aprobación o rechazo de una propuesta o una actividad. Incluso, el tocar a un compañero puede transmitir una retroalimentación positiva o negativa con respecto a la tarea que se está realizando. Así, uno de los principales retos en el desarrollo de sistemas colaborativos es diseñar mecanismos que permitan introducir algunos elementos que se dan en los procesos de colaboración humana [RB06; Pen+07], incluidos aquellos relativos a la comunicación natural. Trabajos previos muestran el potencial de la comunicación gestual en un ambiente virtual colaborativo, en inglés *Collaborative Virtual Environment* (CVE), aunque éstos señalan que este canal de comunicaciones presenta una alta dependencia de la apariencia del avatar [Bai+06; SE00; FMH99]. Además, en contraste con la comunicación verbal, los gestos requieren una línea directa de visión entre el emisor y el destinatario, lo que dificulta su implementación. Otro inconveniente, señalado en la literatura, es la necesidad de un disparador de interacción que ejecute el gesto, conocido también como vocablo gestual de comunicación [Bai+06; SE00; FMH99]. Aunque idealmente, un sistema de seguimiento (corporal, facial o manual) podría, en tiempo real, realizar un reconocimiento de los gestos del usuario, y usarlos como como disparador para activar la animación gestual del avatar; en realidad, los sistemas de reconocimiento aún no presentan la eficiencia necesaria para dicha interacción, razón por la cual algunos trabajos reportan el uso de disparadores no naturales, como botones, interruptores u otros dispositivos de activación manual [Bai+06; SE00; FMH99].

La comunicación táctil es otra alternativa, que no ha sido estudiada tan profundamente. Como es conocido, el sentido del tacto usa la piel como órgano de recepción, el cual posee numerosas terminaciones nerviosas que permiten la adquisición de una gran cantidad de información acerca del ambiente que nos rodea. Teniendo en cuenta que estudios previos han demostrado que el ser humano es capaz de distinguir e identificar patrones de presión en regiones tales como las manos, la espalda, la cintura o el pecho; en este caso de estudio se propuso diseñar y hacer uso de un lenguaje vibro-táctil para la intercomunicación entre miembros de un equipo de trabajo colaborativo. en consecuencia el objetivo en este caso era analizar si los usuarios prefieren usar el tacto para comunicarse en un ambiente colaborativo, o bajo qué circunstancias lo prefieren usar y cómo éste artefacto afecta la realización de la tarea colaborativa.

## 8.2.2. Artefactos de I+I

El artefacto de I+I que se quería desarrollar, debía estar formado por tres componentes: un lenguaje, un dispositivo habilitado que permitiera sentir (recibir) los mensajes y un dispositivo que permitiera enviar los mensajes. En otras palabras, era necesario proponer el canal, el medio y el mensaje de comunicación.

La idea general era definir un lenguaje que apoyara una tarea de ubicación de objetos, los cuales se encontraban dispuestos de forma lineal, al frente del usuario. Luego de un proceso de diseño y depuración, el lenguaje fue refinado hasta obtener uno que permitía expresar cuatro tipos de mensajes. El primero, la *posición* del objeto dada una perspectiva egocéntrica, que buscaba que el mensaje permitiera informar si el objeto deseado se encontraba, en frente, a la derecha o a la izquierda. El segundo, el *error*, era un mensaje que indica que se estaba cometiendo o se iba a cometer una acción incorrecta. El tercero, *cuidado*, tenía un significado que dependía del contexto; en general, el objetivo era proveer una alerta, por lo tanto, el usuario podría expresar que algo estaba mal o que debía darse prisa. El cuarto, *muy bien*, era un mensaje de retroalimentación positiva, con el cual era posible informar que se estaba de acuerdo con la interacción, o que el trabajo ya estaba realizado. De esta forma, el lenguaje ofrecía expresividad, dado que un significante podía expresar diferentes cosas, dicha *polysemia* fue adicionada intencionalmente, por ser una característica fundamental de los lenguajes de comunicación humana, que dan mayor libertad de pensamiento y expresión [Car+06]. De esta manera, el vocabulario táctil podía ser más dinámico y adaptable a las necesidades del usuario.

El diseño del dispositivo de percepción vibro-táctil fue realizado bajo experiencias previas. Así, se extendió el concepto de cinturón de vibración usado en el Caso P, en un chaleco vibro-táctil, ubicando motores en otros puntos del cuerpo. De esa forma, tres motores ubicados en la cintura del usuario, permitían sentir mensaje de *posición* del objeto (izquierda-frente-derecha). Una vibración sobre la mano es adecuada para el mensaje de *error*, lo cual agrega un factor icónico al lenguaje, dada la sensación que evoca directamente a un golpe sobre la mano. El mensaje de *muy bien*, se representó con una vibración sobre el hombro, que representaba un toque de respaldo y aprobación. El mensaje de alerta se ubicó en la parte posterior baja de la espalda, y representaba un toque de aleta detrás de la persona. La figura 8.1 ilustra cada uno de los mensajes del lenguaje, indicando la posición de los motores para cada caso.

Con respecto a la activación de las señales, se contemplaron diferentes metáforas, tales como: presionar botones, dibujar en una pantalla o tocar en un modelo simulado de la persona. Ini-

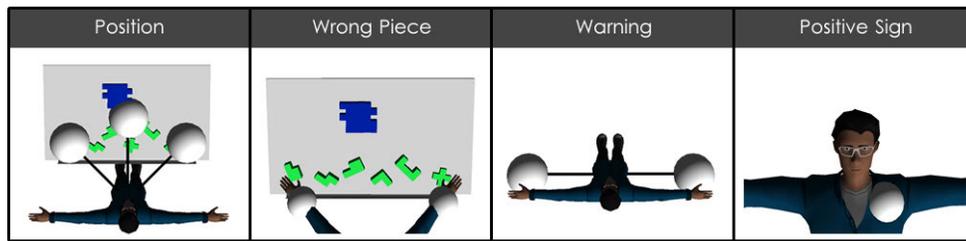


Figura 8.1: Esquema del vocabulario vibro-táctil, cada cuadro representa un mensaje del vocabulario diseñado. Las esferas muestran la posición de los motores para cada mensaje.

cialmente se exploró un vocabulario con signos que debían ser activados con gestos, tales como señalar o agarrar objetos. Sin embargo, los usuarios debían no sólo aprender el significado de cada señal, sino el gesto que activaba cada uno de ellos. Por lo anterior, se decidió implementar un mecanismo táctil interactivo, donde la señal de activación era bidireccional y el mismo punto en el que se sentía la señal se usaba como punto de activación, para generar la misma sensación en el compañero de equipo. Así, la posibilidad de generar la señal tocando la misma área del cuerpo que se quería estimular en el compañero, proveía una forma intuitiva de comunicarse: "lo que usted siente es lo que usted toca" (*What you feel is what you touch*, WYFIWYT). Así, *señales simples*, un simple toque es una señal más apropiada que complejos gestos, y de esa forma, el dispositivo usado para sentir los mensajes táctiles, era el mismo empleado para enviar mensajes táctiles.

El chaleco vibro-táctil fue construido con ocho (8) motores electromecánicos (*ROB – 08449*) de  $3,4mm$  de radio, con una frecuencia de vibración de  $0,8\text{ GHz}$  y un rango de voltaje de  $2,5V \sim 3,8V$ . La figura 8.2 muestra un persona usando el dispositivo diseñado, y un esquema que indica la posición de los motores en el cuerpo del usuario. Para la activación de los toques se empleó tela conductiva, de forma tal que al poner en contacto dos fragmentos de la tela (mano, punto de activación) equivalía a oprimir un botón electrónicamente.

### 8.2.3. Diseño experimental

El proceso de evaluación se orientó a evaluar si una comunicación vibro-táctil era viable como un canal de comunicación, para dar soporte a actividades colaborativas, lo cual se formalizó en la siguiente hipótesis.



Figura 8.2: Dispositivo de comunicación vibro-táctil diseñado, se observa la fotografía de una persona usando el chaleco táctil, y un esquema que indica la posición de cada motor en el cuerpo del usuario. Observe los puntos esquematizados, resaltados como círculos azules en la fotografía. Se resalta que los puntos donde están ubicados los motores son los mismos puntos de activación usados para enviar a la señal táctil.

*H<sub>8,9</sub> : El canal de comunicación, habilitado por un lenguaje vibro-táctil, ofrece una alternativa a los canales tradicionales como el lenguaje hablado, que soporta el desarrollo de tareas colaborativas.*

Para probar la hipótesis  $H_{8,9}$ , se diseñó un experimento que permitía analizar si en condiciones desfavorables para la comunicación oral, los usuarios elegían las señales vibro-táctiles para comunicarse, y cómo este nuevo canal soportaba la realización de una actividad colaborativa. Como es un hecho que la comunicación verbal prevalece sobre otros canales posibles, se decidió someter a evaluación a los usuarios bajo dos condiciones de ruido auditivo ambiental, esperando que en el caso de ruido alto los usuarios optaran por la comunicación táctil. De esta forma se diseñó una actividad que cumpliera con las tres características de igual participación, responsabilidad individual e interdependencia positiva.

A un equipo de dos usuarios,  $A$  y  $B$ , se les solicitaba ensamblar un rompecabezas de 12 piezas en un VE. El rompecabezas estaba dividido en dos partes, de forma tal que cada usuario debía armar la mitad del rompecabezas, en una configuración de 6 piezas. A cada usuario se le entregaban 12 piezas, haciendo que todas las piezas que requería el usuario  $A$  quedaban en poder del usuario  $B$  y viceversa. Cada uno se quedaba además con 6 piezas que no eran

requeridas por ninguno de los dos miembros del equipo, ésto con el fin de incrementar la carga cognitiva de la tarea. De esta manera, la tarea sólo podía ser realizada si se solicitaban las piezas al compañero. Cada usuario debía ensamblar su parte del rompecabezas sobre una mesa virtual ubicada en frente de él, con una plantilla de ensamble, en la cual iba apareciendo de forma sombreada e intermitente la siguiente pieza requerida. Además, cada usuario podía observar la mesa de su compañero, donde estaban ubicadas las piezas requeridas, con lo cual sólo tenía que indicarle a su compañero la pieza que requería, para que éste se la pasara y poder ensamblarla en la plantilla. La tarea terminaba cuando los dos usuarios armaban su parte del rompecabezas. De esta manera, cada usuario debía estar pendiente de atender las solicitudes de su compañero. La Figura 8.3 ilustra una vista conceptual de la tarea, donde se observan ejemplos de las posiciones de cada avatar, las plantillas de los rompecabezas y parte de las piezas de cada usuario. Los usuarios están de pie y se les impide caminar o desplazarse hacia su compañero, sus brazos y cabeza pueden moverse de forma natural, agarrar y pasar objetos y, observar alrededor.

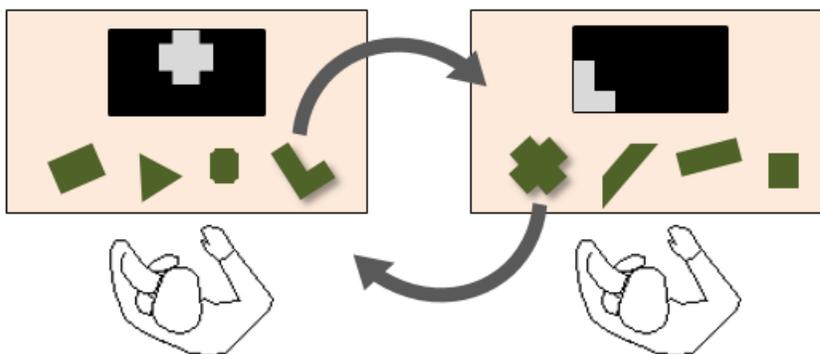


Figura 8.3: Concepto de ensamblaje colaborativo de rompecabezas. Los usuarios requieren comunicarse e intercambiar piezas para completar la tarea.

Los dos ambientes de ruido auditivo se generaron de forma automática, a medida que se desarrollaba la actividad, de forma tal que cuando se completaba un 50% de la tarea, el ruido ambiental cambiaba. Cada equipo debía realizar la actividad dos veces, en una, el ruido ambiental se incrementaba al completar el 50% de la tarea; en la otra, el ruido ambiental disminuía en el mismo nivel de avance. Para los dos casos, los niveles de ruido ambiental (alto y bajo) eran iguales, solo se diferenciaban la dirección del cambio, es decir, si aumentaba (cambio de bajo a alto), o disminuía (cambio de alto a bajo). Para eliminar sesgos por recordación del ambiente, se usaron dos rompecabezas diferentes en cada prueba. Es necesario aclarar que

desde el punto de vista del experimento, por cada prueba se realizaban dos ensayos distintos, ya que los usuarios desarrollaban la actividad en dos condiciones diferentes, ruido ambiental bajo y ruido ambiental alto; condición que era cambiada automáticamente por el sistema. En otras palabras, cada equipo realizaba cuatro ensayos, dos (2) con ruido ambiental bajo y dos con (2) ruido ambiental alto, mediante la ejecución de dos (2) actividades de ensamble colaborativo, una en la que el ruido ambiental aumentaba, y en la otra en la que éste disminuía. Para la selección y manipulación de las piezas en el VE se diseñó un modelo de interacción natural. Para agarrar una pieza, el usuario requería acercar su mano virtual hasta colisionar con ella, momento en el cual debía cerrar el puño de la mano; y para soltar la pieza, el usuario solo necesitaba abrir el puño de la mano. La interacción para el ensamble del rompecabezas se diseñó bajo un esquema semi-asistido. El usuario podía elegir y tomar las piezas desde su mesa usando el modelo descrito anteriormente. Cuando la pieza era soltada podían ocurrir tres (3) eventos distintos. 1) Si la mano del avatar estaba cerca de su mesa y la pieza había sido tomada de su propia mesa, la pieza regresaba a su posición inicial. 2) Si la mano del avatar estaba cerca a la mano del avatar de su compañero, un método avaro permitía que el compañero tomara la pieza al cerrar su mano. Si el sincronismo entre los usuarios no había sido adecuado, la pieza regresaba a su posición inicial. 3) Si la mano del avatar estaba cerca de su mesa, y la pieza había sido tomada de la mesa del compañero, la pieza era ubicada en el lugar correspondiente en la plantilla del rompecabezas. Si la pieza no era correcta, el sistema permitía que el usuario observara el error por tres (3) *segundos*, luego la pieza regresaba a su posición inicial. Cuando la pieza era la correcta, la pieza quedaba ensamblada, el sistema solicitaba la pieza siguiente, sombreándola y mostrándola de forma intermitente. Todo el proceso de interacción podía ser realizado con cualquiera de las manos, incluso era posible pasar la pieza de una mano a la otra. Siguiendo los lineamientos definidos por el enfoque CD-CAA se estandarizó la instrucción dada a los usuarios. En la primera etapa los usuarios eran sometidos a pruebas de *interpretación* de los mensajes recibidos por el sistema táctil. Posteriormente, fueron entrenados en cómo *expresar* los mensajes activando los motores. También recibieron capacitación en el uso adecuado del equipo de realidad virtual, en inglés *Virtual Reality* (VR). Todo lo anterior fue soportado por un sistema multimedia de capacitación, que permitía que el usuario superara cada etapa de entrenamiento a su ritmo y sin necesidad de una intervención del evaluador; avanzando, retrocediendo y repitiendo las actividades a voluntad.

De forma general, el procedimiento de ejecución de los experimentos se realizó como se describe a continuación. Después de llenar un cuestionario de caracterización, se le pidió a cada participante que vistiera el chaleco vibro-táctil y realizará con atención las actividades indicadas en el sistema de entrenamiento multimedia. Posteriormente, las parejas realizaron la tarea de ensamble, en el CVE usando el chaleco vibro-táctil con una versión de rompecabezas más simple. Luego, las parejas realizaron dos veces la actividad de ensamble, siempre usando el chaleco vibro-táctil. Como se mencionó anteriormente, en uno de los ensayos el ruido ambiental se incrementaba, mientras que en el otro se decreta. Al final cada voluntario llenó un cuestionario de evaluación para dar sus opiniones sobre la tarea colaborativa. El diseño completo del protocolo experimental es presentado en el algoritmo 8.1. Durante todo el procedimiento se llevó de forma estricta la bitácora (*experimental log*), realizando un control del avance diario de los experimentos y verificando los parámetros de cada ensayo, lo cual se hizo con el acompañamiento del protocolo experimental. Es necesario mencionar que para facilitar la ejecución del CVE, bajo los parámetros de cada ensayo, se desarrolló una herramienta que automatizaba ese proceso.

### Datos y Métricas

En este caso de estudio se efectuó una recolección de datos y cálculo de métricas, resultado del proceso de interacción de los usuarios con el CVE. Lo anterior fue posible porque el sistema desarrollado realizaba un registro de todas las variables del estado de cada avatar, con una frecuencia de  $250\text{ ms}$ . Los archivos de registro (*log files*) se generaban en cada una de las estaciones de trabajo, lo que permitió realizar una verificación y control de los datos. Es necesario recordar que en cada prueba de ensamble se desarrollaron dos ensayos experimentales, dado que los usuarios realizaron la actividad colaborativa bajo condiciones diferentes de ruido ambiental. Por lo tanto, el tiempo de duración de un ensayo (*TestTime*) corresponde al tiempo en el cual el equipo logró el 50% del ensamble, momento donde la condición de ruido ambiental cambiaba, y el tiempo de la actividad (*ActivityTime*) es el tiempo empleado por el equipo para finalizar el ensamble total del rompecabezas.

A continuación se describe cada una de las métrica calculadas, las cuales fueron diseñadas de acuerdo a los indicadores propuestos en el enfoque CD-CAA. Como en todos los casos anteriores, todas las métricas se presentan en forma de índice normalizado, con valor entre cero (0) y uno (1), siendo uno (1) el valor ideal de la métrica.

**Algoritmo 8.1** Protocolo experimental para la evaluación del lenguaje táctil**Require:** . $Puzzles = \{Puzzle_1, Puzzle_2\}$  $Noise - Conditions = \{increase, decrease\}$  $team_k = \{m_{k,1}, m_{k,2}\}$ : Work team of experiment  $k$  $increaseNoiseFlag_k$ : List =  $\{\mathbf{true}, \mathbf{false}, \mathbf{true}, \mathbf{false}, \dots\}$  $startSceneFlag_k$ : List =  $\{\mathbf{true}, \mathbf{true}, \mathbf{false}, \mathbf{false}, \dots\}$  $wearable - Devices$ : HMD, datagloves and vibration vest

```

1: for  $ID = 1$  to Total-number-of-experiments do
2:    $\forall m \in team_{ID}$ ; Use( $m_{ID,j}$ , training – Multimedia)
3:    $\forall m \in team_{ID}$ ; Fill( $m_{ID,j}$ , subjectCharacterizationQuestionnaire)
4:    $\forall m \in team_{ID}$ ; Wear( $m_{ID,j}$ , wearable – Devices)
5:   execute procedure Pre-Test end execute
6:   Check-experimental-log( $ID$ ,  $test_1$ )
7:   for  $Test = 1$  to 2 do
8:     Start – Sound – Record
9:     execute procedure PuzzleAssemble do
10:      if  $increaseNoiseFlag_{ID} = \mathbf{true}$  then
11:         $condition = increase$ 
12:      else
13:         $condition = decrease$ 
14:      end if
15:      if  $startSceneFlag_{ID} = \mathbf{true}$  then
16:         $scene = Puzzle_1$ 
17:      else
18:         $scene = Puzzle_2$ 
19:      end if
20:    end execute
21:  end for
22:  End – Sound – Record
23:   $\forall m \in team_{ID}$ ; Fill( $m_{ID,j}$ , subjectiveQuestionnaire)
24: end for

```

**Indicadores de interacción colaborativa** Los cinco indicadores de interacción colaborativa tienen como fin establecer cómo la interacción del usuario un artefacto de I+I se aproxima a un artefactos de consciencia común o artefactos de consciencia compartida, en inglés *shared-awareness artefacts*(SAA) o *common-awareness artefacts* (CAA) ideal, teniendo en cuenta que en un CAA ideal todo proceso interactivo favorece la colaboración. Para este caso de

estudio, todas las métricas de interacción colaborativa se centraron en medir en qué grado la comunicación con el lenguaje vibro-táctil, como proceso interactivo, afectó la colaboración.

El indicador de **predecibilidad** ( $IT_1^C$ ) se relaciona en la facilidad de interacción, y como ésta debe ser transparente y predecible por el usuario. Por esa razón, métricas de este indicador deben permitir establecer en qué medida fue natural y predecible el uso del lenguaje vibro-táctil para los usuarios. Así, se proponen dos métricas para este indicador: el índice del tiempo de comunicación vibro-táctil ( $VTCT$ ), calculado como el porcentaje de uso de comunicación vibro-táctil con respecto al tiempo de duración del ensayo y el índice de diversidad del vocabulario usado ( $VDU$ ), el cual pondera el total de mensajes vibro-táctiles enviados, por el número de mensajes diferentes enviados.

El indicador de *consciencia, en inglés awareness periférica* ( $IT_2^C$ ) se orienta a determinar si los usuarios pudieron usar el lenguaje vibro-táctil mediante procesos de atención periférica, es decir, si el usar el lenguaje vibro-táctil no distrajo la atención del usuario en la tarea principal. Por esta razón, las métricas de este indicador están asociadas a medir el desempeño general en la ejecución de la tarea. Así, se calcularon dos métricas de rendimiento; la primera, el índice de errores en el ensamble ( $AE$ ), que se calcula como la razón entre el número de piezas a ser ensambladas durante un ensayo ( $\delta$ ), sobre el total de intentos de ensamble realizados; y la segunda, el índice del tiempo empleado en ensayo ( $TT$ ), que corresponde al porcentaje del tiempo de duración de un ensayo sobre el tiempo de la actividad.

Las métricas asociadas al indicador de **comunicación implícita** ( $IT_3^C$ ) deben medir mensajes o uso de canales no convencionales de comunicación entre los miembros del equipo, es decir la comunicación no evidente. Se debe tener en cuenta, que el objeto de evaluación es precisamente un canal no convencional de comunicación, pero en ese sentido, se debe considerar como un canal convencional, y medir los elementos implícitos de toda la comunicación.

El indicador de **negociación** ( $IT_4^C$ ) se orienta a diagnosticar cómo una comunicación de doble vía entre los miembros del equipo, permite resolver los conflictos que se presentan al realizar la actividad. Así, las métricas asociadas se deben orientar a evaluar el comportamiento de los usuarios en dichos momentos, como lo son, el momento del intercambio de piezas, que es medido a través del índice del tiempo de intercambio de piezas ( $SPT$ ) y, el índice del tiempo de un conflicto de intercambio ( $SCT$ ), el cual mide la velocidad con la cual el equipo soluciona el conflicto generado cuando los dos jugadores intentan intercambiar la pieza al mismo tiempo.

Por último, el indicador de **vista general** ( $IT_5^C$ ) debe permitir establecer cómo aporta el lenguaje vibro-táctil a que los usuarios tengan un vista global de la tarea y de la meta final. Dada las características de la actividad, una adecuada vista general estaría relacionada con los agarres incorrectos realizados, que se puede medir con el índice de agarres incorrectos ( $WG$ ), el cual se calcula como la relación entre las piezas tomadas por una usuario y el número de intentos de ensamble.

**Indicadores de inmersión colaborativa** Los indicadores de inmersión colaborativa tienen como objetivo evaluar cómo se están realizando las actividades que soportan el ciclo de percepción-acción en la pirámide de consciencia del espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness Pyramid* ( $WAP$ ), mediante el uso de un artefacto de I+I. Si se considera que un CAA ideal facilita el ascenso a los niveles más altos de inmersión de la  $WAP$ , un artefacto de I+I se aproxima a un CAA ideal, en la medida en que las métricas de inmersión colaborativa son más altas. En este particular, las métricas de inmersión colaborativa evalúan cómo la comunicación con el lenguaje vibro-táctil apoya cada una de las actividades fundamentales del ciclo de percepción-acción en la  $WAP$ .

El indicador **acoplamiento del equipo** ( $IM_1^C$ ) debe permitir establece en qué grado los miembros del grupo de trabajo han realizado una adecuada transición entre las actividades individuales hacia las grupales. En otras palabras, una métrica de este indicador debe medir como el equipo se comporta como un solo ente, como un solo individuo grupal. El índice de tiempo efectivo de ensamble ( $AET$ ) mide el porcentaje del tiempo, con respecto al tiempo del ensayo, desde que jugador A toma una pieza, hasta que el jugador B intenta el ensamble.

El indicador de **simplificación de la comunicación** ( $IM_2^C$ ) se orienta a determinar cómo el equipo de trabajo genera elementos simplificados de lenguaje (explícitos o implícitos), que facilitan el desarrollo de la actividad. Una manera indirecta de medirlos, es cuantificar cómo cambia el tiempo de comunicación a medida que la actividad avanza. De esta forma, dos (2) métricas adecuadas son el índice de evolución del tiempo de comunicación verbal ( $VCE$ ) y el índice de evolución del tiempo de comunicación vibro-táctil ( $VTCE$ ), ponderados por el tiempo del ensayo y observados en cada evento de ensamble correcto.

El indicador de **coordinación** ( $IM_3^C$ ) permite medir los mecanismos y los mensajes que se generan al interior del equipo, para facilitar la realización de la actividad. En este caso, una interacción fluida entre los usuarios, que no se ve interrumpida de manera regular, es una

métrica de coordinación. El índice del tiempo agarre-intercambio ( $GWT$ ), mide esa fluidez en la pareja. También lo hace el índice del tiempo ensamble-agarre ( $AGT$ ), que mide el tiempo entre un ensamble y el agarre de la siguiente pieza. Los dos índices se calculan al ser ponderados sobre el tiempo del ensayo.

El indicador de **anticipación** ( $IM_5^C$ ) busca evaluar qué tan acertado es un usuario para anticipar las necesidades de un compañero de trabajo.

El indicador de asistencia **asistencia** ( $IM_5^C$ ) se dirige a cuantificar el apoyo que se prestan entre sí los miembros del equipo. En este caso, el índice de tiempo de corrección de un agarre incorrecto ( $CGW$ ), ponderado por el tiempo del ensayo, y el índice de evolución en los errores de agarre ( $SWE$ ), observados en cada evento de ensamble, son métricas adecuadas para este indicador.

## EJECUCIÓN DE LAS PRUEBAS

**Hardware y equipo de experimentación** Para la aplicación de los experimentos se desarrolló un CVE con la lógica de la actividad colaborativa, el cual permitía la inmersión simultánea de dos usuarios. El sistema fue ejecutado en dos estaciones de trabajo con sistema operativo *Windows 7 de 64 bits*, cada una con procesador Intel *i7 950* de 3,07 MHz, y 6 GB de memoria RAM. Cada estación de trabajo fue equipada con los siguientes dispositivos.

- Dos tarjetas gráficas ATI Radeon HD 5800 con 2 MB de RAM.
- Un casco de realidad virtual, en inglés *Head Mounted Display* (HMD), zSight Sensics, que permite una visualización inmersiva estéreo, con una resolución de  $1280 \times 1024$  píxeles y  $60^\circ$  de campo de visión horizontal. Este dispositivo estaba habilitado con audífonos, micrófono y un giroscopio para realizar el rastreo de los movimientos de la cabeza.
- Un sensor MS Kinect para realizar el seguimiento del movimiento de las extremidades del usuario, que definen el movimiento de las extremidades del avatar. Este dispositivo permitía la interacción natural descrita en la sección 8.2.3, además de mejorar la sensación de propiocepción.
- Un par de guantes (derecho e izquierdo) de realidad virtual (*data glove*) 5DT Ultra, que permitían reconocer con precisión los gestos de cerrar y abrir la mano.

- Un chaleco vibro-táctil diseñado y desarrollado para este experimento

Por otro lado, vale la pena aclarar que la evaluación fue realizada en un cuarto dedicado, dónde sólo permanecían dos voluntarios y dos investigadores a fin de evitar distracciones ambientales. La figura 8.4 muestra el VE diseñado para este prueba. En (a) se presenta un vista en primera persona del ambiente, con el avatar sosteniendo una pieza en la mano, en (b) se muestra la misma escena, en una vista en tercera persona, donde se puede observar el trabajo simultáneo de los dos usuarios trabajando en el ensamble. En (c), se presenta una fotografía de dos usuarios realizando la actividad, se puede observar que visten el dispositivo táctil diseñado para este experimento y los dispositivos para inmersión.

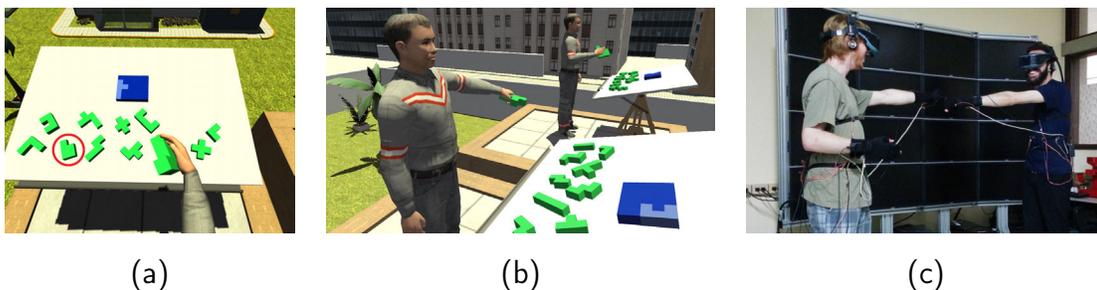


Figura 8.4: Entorno de virtual, en (a) una escena virtual del VE en primera persona, en (b) se observa la misma escena desde otro punto de vista, donde se observa a los dos avatares. En (c), una fotografía de los dos usuarios realizando la actividad colaborativa, cada uno viste un chaleco táctil, guantes de realidad virtual (**datagloves**) y un HMD

**Sujetos participantes** Un total de 36 sujetos participaron como voluntarios en la prueba (18 parejas), 30 hombres y 6 mujeres, con un rango de edad entre los 19 y los 39 años. El 62%, se encontraba haciendo estudios universitarios, el 27% eran estudiantes de postgrado y el 11% restante eran investigadores con estudios de postgrado finalizados. Se indagó sobre la frecuencia con la que los voluntarios jugaban videojuegos a lo que el 43% respondió jugar ocasionalmente, el 32% raramente, el 14% frecuentemente, el 8% nunca haberlo hecho y uno de ellos, equivalente al 3%, declaró que lo hacía todos los días. Con relación al uso previo de dispositivos de realidad virtual, el 35% los conocía pero nunca los había usado, el 32% los había usado algunas veces pero no muchas, el 24% había tenido una única experiencia de uso, el 5% los había usado varias veces y tan sólo una persona no sabía qué eran. Entre los dispositivos más usados se encontraron las gafas de realidad virtual (38%), seguido de los cascos

de realidad virtual (35 %), el proyector 3D (14 %), los CAVE y los guantes de realidad virtual (11 %). Finalmente, en cuanto a su salud visual y su lateralidad, el 16 % de ellos presentaban algún grado de miopía, astigmatismo o hipermetropía y cinco eran zurdos. Debido a la duración del experimento, ocho 8 parejas no consiguieron terminar las dos (2) pruebas por cibermareo, por lo cual fueron excluidos de las muestras de análisis, el cual solo se pudo realizar con las 10 parejas restantes.

#### 8.2.4. Resultados

Debido a las restricciones de este caso de estudio, tales como la naturaleza del experimento y el bajo número de muestras (20 usuarios, 10 equipos), fue necesario realizar un análisis estadístico más completo que el realizado en los casos de estudio previos, con el fin de poder aceptar o descartar la hipótesis  $H_{8,9}$ .

Verificar si un lenguaje vibro-táctil es una alternativa viable como posible complemento o sustituto a canales tradicionales de comunicación, es una prueba difícil de plantear con métodos de estadística tradicional basados en significancia en contraste de hipótesis nula. Una alternativa de contraste de hipótesis lo ofrece el método de bootstrapping, el cual realiza un proceso de remuestreo que permite inferir intervalos de confianza de un estadístico. Este método tiene como principal ventaja el hecho de ser muy flexible en las condiciones necesarias de las variables aleatorias de entrada, que permite su aplicación sin grandes restricciones respecto al número de muestras, la dependencia estadística de las variables o el ajuste a una función de distribución específica. Por otro lado, al ser un análisis basado en intervalos de confianza, permite una interpretación más completa de los datos, en comparación a las técnicas de análisis estadístico tradicional, que excluyen de la interpretación las variables con valores de  $p$  mayores o menores al valor de confianza elegido.

El análisis de bootstrapping fue realizado sobre la diferencia de las medias ( $\mu_{LN} - \mu_{HN}$ ), para las dos condiciones de ruido ambiental (bajo ruido  $LN$  y alto ruido  $HN$ ), promediado el resultado para los dos ensayos. Se corrió la inferencia estadística realizando un remuestreo para 100 muestras en 2000 iteraciones, con una estimación del 95 % de confiabilidad para el intervalo de confianza. La tabla 8.1 muestra los resultados del proceso global para el conjunto de indicadores. Cada fila presenta la diferencia estimada de las medias ( $\mu_{LN} - \mu_{HN}$ ) y el intervalo de confianza ( $CI$ ).

	Interacción $IT_i^C$	Inmersión $IM_i^C$
	Predecibilidad $IT_1^C$	Acoplamiento del equipo $IM_1^C$
$\mu_{LN} - \mu_{HN}$ $CI$	0,017 [0,000 – 0,040]	0,159 [-0,244 – 0,605]
	Conciencia periférica $IT_2^C$	Simplificación de la comunicación $IM_2^C$
$\mu_{LN} - \mu_{HN}$ $CI$	0,086 [-0,180 – 0,296]	0,072 [-0,059 – 0,208]
	Comunicación implícita $IT_3^C$	Coordinación $IM_3^C$
$\mu_{LN} - \mu_{HN}$ $CI$	0,075 [-0,052 – 0,205]	-0,111 [-0,671 – 0,451]
	Negociación $IT_4^C$	Anticipación $IM_4^C$
$\mu_{LN} - \mu_{HN}$ $CI$	0,071 [-0,082 – 0,203]	-0,089 [-0,280 – 0,084]
	Vista general $IT_5^C$	Asistencia $IM_5^C$
$\mu_{LN} - \mu_{HN}$ $CI$	0,107 [-0,289 – 0,135]	0,075 [-0,066 – 0,199]

Tabla 8.1: Resultado del análisis bootstrapping para verificación de la hipótesis. Se realizó el análisis para la diferencia entre medias en las dos condiciones de ruido ambiental ( $\mu_{LN} - \mu_{HN}$ ).

### 8.3. Análisis

Para confirmar o rechazar la hipótesis planteada ( $H_{8,9}$ ) se propuso un experimento que permitía comparar la misma actividad colaborativa realizada bajo dos condiciones diferentes de ruido ambiental (bajo,  $LN$ , y alto,  $HN$ ). Durante todo el proceso de evaluación se siguió con exactitud el procedimiento y lineamientos propuestos en el enfoque CD-CAA. Lo anterior implicó el cálculo de ocho (8) métricas asociadas a los cinco (5) indicadores de interacción colaborativa y (8) métricas asociadas a los cinco (5) indicadores de inmersión colaborativa. Las métricas correspondieron a (2) de predecibilidad ( $IT_1$ ), dos (2) de conciencia periférica ( $IT_2$ ), una (1) de comunicación implícita ( $IT_3$ ), dos (2) de negociación ( $IT_4$ ), una (1) de vista general ( $IT_5$ ), una (1) de acoplamiento del equipo ( $IM_1$ ), dos (2) de simplificación de la comunicación ( $IM_2$ ), dos (2) de coordinación ( $IM_3$ ), una (1) de anticipación ( $IM_4$ ) y dos (2) de asistencia ( $IM_5$ ).

La figura 8.5 muestra gráficamente los resultados obtenidos en la inferencia Bootstrapping para los 10 indicadores. En la parte superior se presentan los resultados de los cinco (5) indicadores de interacción colaborativa, y en la parte inferior los que corresponden a los cinco (5) indicadores de inmersión colaborativa. Los puntos negros señalan la diferencia entre medias estimada ( $\mu_{LN} - \mu_{HN}$ ) y el largo de cada línea, representa el intervalo de confianza para un 95% de confidencialidad.

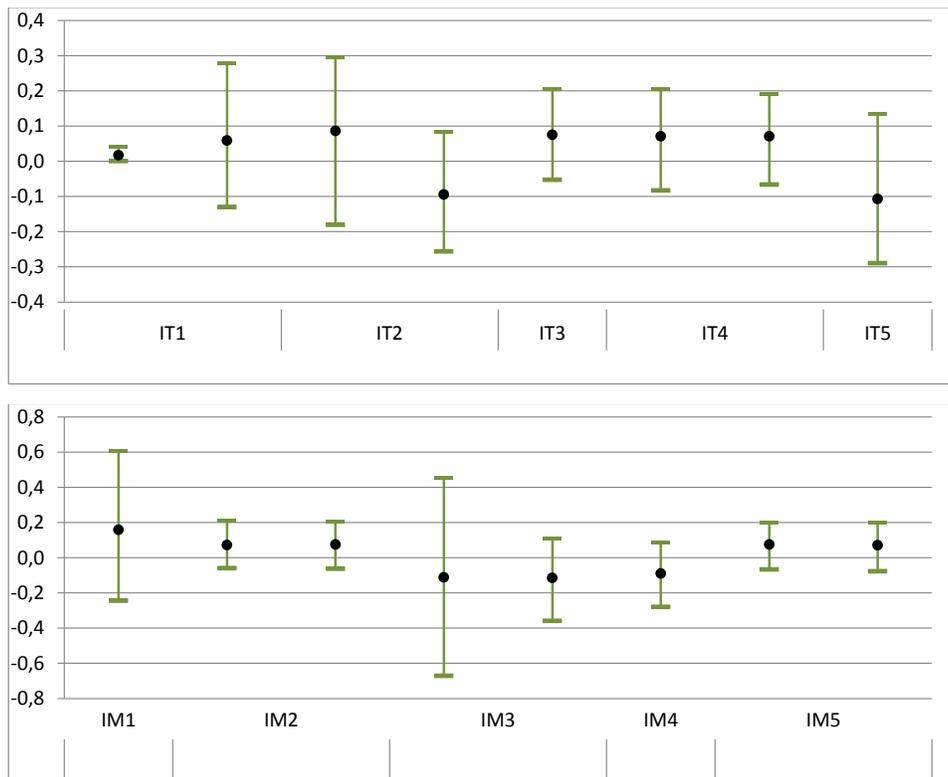


Figura 8.5: Gráfico de las métricas para todos los indicadores, cada punto negro representa la diferencias entre las dos condiciones de ruido ambiental ( $\mu_{LN} - \mu_{HN}$ ) y, la longitud de la línea representa el intervalo de confianza.

En general se observa que la diferencia entre medias no superó el valor de 0,16, lo que significa que los indicadores de colaboración mostraron un comportamiento similar bajo las dos condiciones de ruido ambiental. Sin embargo, una observación detallada de los intervalos de confianza permite obtener conclusiones más adecuadas. Así, lo primero que se puede resaltar es el intervalo de confianza para el índice del tiempo de comunicación vibro-táctil (*VTCT*), que presentó valores entre 0,0005 y 0,0408, con una media de 0,0172. Esto permite afirmar, con una confiabilidad del 95 %, que el tiempo de uso del lenguaje vibro-táctil fue mayor para en la condición de alto ruido. Aunque la diferencia es pequeña, lo anterior representa una evidencia de que el lenguaje vibro-táctil representó una alternativa de comunicación entre los equipos que realizaron la prueba. También es posible observar que algunos métricas presentaron gran variabilidad en el intervalo de confianza. Las métricas asociadas a los indicadores de coordinación (*GWT*) y acoplamiento del equipo (*AET*), fueron las que presentaron intervalos de confianza mayores dentro del conjunto de indicadores de inmersión colaborativa, las demás de asociadas

a estos indicadores presentaron intervalos de confianza pequeños. En cuanto a las métricas de interacción colaborativa, en promedio se observa mayor variabilidad que las de inmersión, con comportamiento más homogéneo. Se resalta que las métricas asociadas a los indicadores de vista general, conciencia periférica y el índice de diversidad del vocabulario usado (*VDU*), asociado a predecibilidad, mostraron la mayor variabilidad.

Lo anterior permite afirmar que en general, la colaboración de los equipos no se afectó de manera significativa en las dos condiciones de ruido ambiental, y los equipos lograron terminar la actividad. Dado, que el aumento del ruido ambiental afectaba notablemente la comunicación verbal, es posible afirmar que el lenguaje vibro-táctil soportó la colaboración como un canal de comunicación alternativo. Si bien es claro, que los resultados no son del todo concluyentes, si se dejó abierta la posibilidad y factibilidad de uso de un canal de comunicación vibro-táctil con fines de soportar la colaboración.

## 8.4. Conclusiones

Durante el proceso de evaluación del nuevo artefacto de I+D+i propuesto en este caso de estudio, el enfoque de evaluación CD-CAA mostró grandes cualidades que se resaltan a continuación. Un primer punto a destacar, fue el diseño de la actividad colaborativa. Una vez se establecieron las propiedades a tener en cuenta en la actividad a ser diseñada (participación igualitaria, responsabilidad individual e interdependencia positiva), el equipo de evaluación se orientó de forma clara en la búsqueda de una actividad adecuada para la evaluación. A manera de reflexión, se encontró que al comparar la notas de campo con el Caso **P**, el cual fue desarrollado en el mismo grupo de investigación, el diseño de la actividad colaborativa fue un proceso más tranquilo y se culminó en menor tiempo, debido a que todo el equipo de investigación conocía las propiedades de la actividad a tener en cuenta.

De forma similar, el seguimiento conjunto del protocolo y la bitácora de evaluación, permitieron que distintos miembros del equipo de investigación guiaran los experimentos con usuarios, sin inconvenientes relacionados con posibles errores de comunicación entre el equipo.

Otro punto a resaltar fue el desarrollo de la herramienta multimedia para la capacitación de los usuarios, que fue una mejora importante frente a alternativas como el uso de guiones o videos, evitando cualquier intervención de los evaluadores, lo que elimina posibles sesgos en el proceso.

Por último, los índices de colaboración se constituyeron como la más importante herramienta de evaluación de colaboración, dado que permiten definir un conjunto de métricas dirigidas a procesos puntuales de la colaboración, lo que permite un diagnóstico diferencial, que posee un gran valor para grupos de investigación y desarrollo de modelos de interacción colaborativa en ambientes 3D.

En resumen, el enfoque CD-CAA mostró ser adecuado para la evaluación de un nuevo artefacto de I+D, orientando la realización de un proceso organizado que permitió un diagnóstico adecuado de cómo el nuevo artefacto diseñado afectaba la colaboración en un equipo de trabajo.



# Capítulo 9

## Conclusiones y perspectivas

### 9.1. Aportes y conclusiones

En esta investigación se abordó el problema de proveer elementos metodológicos que permitieran la evaluación de la colaboración en entornos virtuales con interacción 3D. Este tema resulta ser de alta relevancia para el futuro desarrollo de artefactos de interacción, toda vez que cada día son mayores los requerimientos de sistemas y dispositivos que mejoren la experiencia de los usuarios, cuando realizan tareas en equipo, sobre entornos virtuales que mantienen un alto grado de interconexión.

De acuerdo a la revisión de la literatura, presentada en el capítulo 2, la evaluación de la colaboración ha sido reconocida como un tema de investigación de alto interés en el área de la interacción humano computador. Sin embargo, hasta ahora la mayoría de los enfoques propuestos se orientaron a evaluar de forma independiente los tres componentes funcionales de un ambiente virtual, que afectan de manera determinante el trabajo colaborativo: la interacción, la inmersión y la propia colaboración. Este enfoque impedía responder de forma adecuada a la pregunta de ¿cómo un elemento de I+D afecta la colaboración en un ambiente virtual colaborativo, en inglés *Collaborative Virtual Environment (CVE)*?. Por el contrario, la metodología propuesta en este documento considera la colaboración como resultado de una relación causa-efecto con los procesos de inmersión e interacción, que asume que todos ellos afectan de una u otra manera los procesos de colaboración en la ejecución de una tarea realizada por un equipo de trabajo.

El desarrollo de esta investigación adoptó un enfoque metodológico basado en estudio de casos, en inglés *case studys*, que permitió un proceso de investigación inmersivo, en el cual fue posible una integración total del investigador principal en la proposición, diseño y evaluación de nuevos modelos de interacción e inmersión en 3D. A raíz de esa inmersión, las necesidades de evaluación permearon el proceso de indagación, originando una propuesta tanto teórica como de facto, resultado de la exploración teórica, la experiencia práctica y el contraste científico. El enfoque de estudio de casos fue implementado en dos etapas de la investigación. Inicialmente, como un mecanismo de observación del objeto de estudio, el desarrollo de artefactos de interacción e inmersión para un CVE, y luego, como un mecanismo para la validación experimental y práctica de la metodología propuesta, lo que permitió realizar una depuración paso a paso de la versión final de la misma. Así, se puede afirmar que el estudio de casos se empleó como un elemento de investigación iterativo, en el que en cada repetición del ciclo generó una versión más refinada del enfoque metodológico propuesto. Es importante, sin embargo, mencionar que la condición que primó en esta investigación de desarrollar casos de estudio reales, no acotados y no restringidos dificultó en cierta medida el realizar una evaluación de todos los componentes de un CVE; dado que era necesario, limitarse o ajustarse a los objetivos definidos por los desarrolladores de cada uno de los proyectos tomados como casos de estudio.

De esta manera y como resultado principal de esta investigación, se presenta la metodología diagnóstica de la conformidad de los artefactos de consciencia compartida, en inglés *Conformity Diagnosis of Common Awareness Artefacts* (CD-CAA), la cual se fundamenta en un modelo conceptual que propone una mirada integral de la colaboración, a partir de dos nuevos conceptos, que explican los procesos cognitivos de consciencia que experimenta un usuario cuando realiza una actividad colaborativa en un CVE: la pirámide de consciencia del espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness Pyramid* (WAP), y los artefactos de consciencia común o artefactos de consciencia compartida, en inglés *shared-awareness artefacts* (SAA) o *common-awareness artefacts* (CAA). La definición de estos conceptos parte de identificar al mecanismo de consciencia como elemento fundamental que relaciona los componentes funcionales de un CVE (interacción, inmersión y colaboración). Mecanismo que se desarrolla progresivamente desde la superación de la sobrecarga cognitiva, generada por el uso de un artefacto de interacción e inmersión, hasta la toma de consciencia de estar realizando un trabajo en equipo, y lo que ello conlleva en el accionar del usuario. Este modelo unifica los conceptos de consciencia desde la perspectiva del trabajo cooperativo asistido por computador, en inglés *Computer Supported Cooperative Work* (CSCW), y de la realidad virtual, en inglés *Virtual Reality* (VR),

y surge como una extensión del marco de trabajo de la consciencia de espacio de trabajo, en inglés *Workspace Awareness (WA)*, propuesto por Gutwin y Greenberg [GG02].

Soportados sobre el modelo conceptual que fundamenta la metodología CD-CAA se proponen un conjunto de indicadores que permiten establecer de qué manera los CAA cumplen una serie de características que soportan la interacción colaborativa y a su vez, apoyan el desarrollo del ciclo de percepción-acción que permite el ascenso a los niveles más elevados de consciencia de la WAP. En tal sentido, los indicadores propuestos permiten verificar el cumplimiento de las características de un artefacto de colaboración [Rob93] y las actividades propias de la consciencia compartida [GG02]. De esta forma se proponen 10 indicadores de colaboración, predecibilidad, consciencia periférica, comunicación implícita, negociación, vista general, acoplamiento del equipo, simplificación de la comunicación, coordinación, anticipación y asistencia. Los cinco primeros evalúan el proceso de interacción colaborativa y los cinco últimos, el proceso de inmersión en el trabajo en grupo.

Además de los indicadores para la evaluación de la colaboración, la metodología propuesta incluyó un procedimiento, con etapas claramente definidas, y un conjunto de lineamientos, que orientan a los investigadores para realizar el diagnóstico de la colaboración en procesos de diseño e implementación de nuevos artefactos de interacción e inmersión. El procedimiento propuesto es el resultado de la adaptación del esquema de banco de pruebas presentado por Bowman y col. [BJH99; BJH00; BGH02], y establece los siguientes pasos: una evaluación inicial, el diseño de la actividad colaborativa, el análisis de los factores de colaboración, la definición de métricas, la ejecución del banco de pruebas y el análisis de resultados. Por su parte, los lineamientos definen un conjunto de buenas prácticas para llevar a cabo dicho procedimiento, que incluye seguir una bitácora de evaluación, documentar el protocolo experimental y estandarizar el proceso de instrucción a usuarios o sujetos participantes.

Con relación a las hipótesis planteadas inicialmente en esta investigación, se debe resaltar que los casos de estudio permitieron evidenciar que 1) el conjunto de indicadores definidos en la metodología CD-CAA permitieron diferenciar la colaboración de una misma actividad realizada usando diferentes artefactos de interacción e inmersión (I+I) (Casos 1, 3 y 4), 2) El conjunto de indicadores definido permite identificar las características de interacción e inmersión que afectan una actividad colaborativa (Casos 1, 2, 3 y 4) y 3) A partir de los indicadores definidos es posible calcular un indicador global de colaboración que permita comparar dos o más condiciones diferentes de interacción e inmersión (casos 2 y 3).

## 9.2. Perspectivas de trabajo

Como es esperado, una de las principales perspectivas de trabajo futuro para esta investigación, es la aplicación de la metodología CD-CAA en la evaluación de la colaboración en los procesos de desarrollo y evaluación de artefacto de interacción e inmersión (I+I)s. La implementación en otros casos reales, con condiciones de colaboración no consideradas en los casos de estudio, puede contribuir a mejorar aspectos específicos de la propuesta, tales como los lineamientos y puntos concretos del procedimiento.

por otro lado, uno de los principales aportes de esta investigación es el modelo de la WAP, que permitió relacionar los elementos de interacción e inmersión en tridimensional (3D) con el ciclo de percepción del WA. Este modelo busca explicar cómo el proceso de inmersión en un entorno virtual, en inglés *Virtual Environment* (VE) es un ciclo perceptual, que permite al usuario ascender por la pirámide hasta alcanzar un nivel máximo de consciencia de trabajo en grupo. El modelo propuesto, se basó únicamente en modelos teóricos de interacción en 3D, consciencia, en inglés *awareness* de trabajo en grupo, e inmersión en entornos virtual. Lo cual, deja abierta la posibilidad de contrastar el modelo propuesto en un estudio psíquico-físico, que correlacione los fenómenos psicológicos de los procesos de inmersión, colaboración e interacción y, algunas variables fisiológicas de los participantes, con los niveles de consciencia de la pirámide definidos teóricamente y con la naturaleza cíclica del proceso.

Los indicadores de colaboración definidos en la metodología, surgieron como elementos teóricos que facilitan la definición de métricas cuantitativas para evaluar la colaboración, en respuesta a la preferencia de la evaluación experimental y cuantitativa mostrada por los expertos en interacción 3D y VE, que correspondían además a lo observado en el estado del arte. Sin embargo, la evaluación cualitativa es una alternativa igualmente válida para explicar los fenómenos relacionados con la colaboración en equipos de trabajos, y aunque ésta ha sido usada de manera menos difundida en este tipo de sistemas, es considerado por muchos autores como un enfoque evaluativo de gran versatilidad. Desde este punto de vista, es posible proponer heurísticas de evaluación para CVE u otros entornos de colaboración en 3D, derivadas del conjunto de indicadores propuestos en este proyecto de investigación.

Otro aporte a considerar de esta investigación fue el concepto de CAA, que se definió como artefacto de colaboración, en inglés *shared artefacts* o *common artefactss* que proveen características de los elementos de consciencia compartida. Lo anterior abre la posibilidad de

definir elementos, guías y lineamientos de diseño de CAAs, que integren en un solo artefacto mecanismos de interacción, colaboración y consciencia.

Por último, considerando que esta investigación se limitó a la aplicación del enfoque propuesto en CVE, uno de los entornos virtuales más complejos por la gran variedad de componentes que lo definen, se abre la posibilidad de ser aplicada a otro tipo de sistemas colaborativos con interacción en 3D. Mas aún, si se considera que la evolución actual de los sistemas interactivos hace cada vez más difusa la frontera entre los sistemas que usan elementos de interacción o inmersión en 3D, y aquellos que no lo hacen, es incluso viable pensar en la aplicación del enfoque CD-CAA a sistemas interactivos en general.



# Referencias bibliográficas

- [AA13] Ferran Argelaguet y Carlos Andujar. «A Survey of 3D Object Selection Techniques for Virtual Environments». En: *Computers & Graphics* 37 (2013), pp. 121-136.
- [ABL06] Nicola Adami, Sergio Benini y Riccardo Leonardi. «An overview of video shot clustering and summarization techniques for mobile applications». En: *Proceedings of the 2nd international conference on Mobile multimedia communications - MobiMedia '06*. New York, New York, USA: ACM Press, 2006, p. 1. ISBN: 159593516X. DOI: 10.1145/1374296.1374325.
- [ADA09] Laurent Aguerreche, Thierry Duval y Bruno Arnaldi. «Analyse de techniques de coopération en environnements virtuels 3D». En: *Revue Technique et Science Informatiques (TSI)* 28.6-7 (2009), pp. 763-793. DOI: 10.3166/tsi.28.767-797.
- [Agu+08] Agustina y col. «CoMaya: incorporating advanced collaboration capabilities into 3d digital media design tools». En: *Proceedings of the ACM 2008 conference on Computer supported cooperative work - CSCW '08*. New York, New York, USA: ACM Press, 2008, p. 5. ISBN: 9781605580074. DOI: 10.1145/1460563.1460566.
- [AJGM10] Ivan Alsina-Jurnet y José Gutiérrez-Maldonado. «Influence of personality and individual abilities on the sense of presence experienced in anxiety triggering virtual environments». En: *International Journal of Human-Computer Studies* 68.10 (2010), pp. 788-801. ISSN: 10715819. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2010.07.001.
- [Arm+10] Michael Armbrust y col. «A view of cloud computing». En: *Communications of the ACM* 53.4 (2010), p. 50. ISSN: 00010782. DOI: 10.1145/1721654.1721672.

- [Axe84] Olav Axelson. «The case -referent study- Some comments on its structure, merits and limitations». En: *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* 11.3 (1984), pp. 207-213.
- [Bai+06] Jeremy N Bailenson y col. «The Effect of Behavioral Realism and Form Realism of Real-Time Avatar Faces on Verbal Disclosure, Nonverbal Disclosure, Emotion Recognition, and Copresence in Dyadic Interaction». en. En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 15.4 (2006), pp. 359-372. ISSN: 1054-7460. DOI: 10.1162/pres.15.4.359.
- [Bas+14] Rab Nawaz Bashir y col. «Human Computer Interaction (HCI) in Ubiquitous Computing». en. En: *International Journal of Innovation and Applied Studies* 9.2 (2014), pp. 534-540. ISSN: 2351-8014.
- [BB14] Marco Biazini y Benoit Baudry. «"May the fork be with you": novel metrics to analyze collaboration on GitHub». En: *Proceedings of the 5th International Workshop on Emerging Trends in Software Metrics - WETSoM 2014*. New York, New York, USA: ACM Press, 2014, pp. 37-43. ISBN: 9781450328548. DOI: 10.1145/2593868.2593875.
- [BBS14] Georgios Bouloukakis, Ioannis Basdekis y Constantine Stephanidis. «Human-Computer Interfaces and Interactivity : Emergent Research and Applications». English. En: *Supporting Accessible User Interfaces Using Web Services*. Ed. por Pedro Isaías y Katherine Blashki. IGI Global, 2014. Cap. 8, pp. 137-155. ISBN: 9781466662285. DOI: 10.4018/978-1-4666-6228-5.
- [Ben+01] Steve Benford y col. «Collaborative virtual environments». En: *Commun. ACM* 44.7 (2001), pp. 79-85. ISSN: 0001-0782. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/379300.379322>.
- [Ben+94a] Steve Benford y col. «Managing mutual awareness in collaborative virtual environments». En: *VRST '94 Proceedings of the conference on Virtual reality software and technology*. World Scientific Publishing Co., Inc., 1994, pp. 223-236. ISBN: 981-02-1867-2.
- [Ben+94b] Steve Benford y col. «Supporting Cooperative Work in Virtual Environments». En: *The Computer Journal* 37.8 (1994), pp. 653-668. DOI: 10.1093/comjnl/37.8.653.

- [Ben+97] Steve Benford y col. «Embodiments, avatars, clones and agents for multi-user, multi-sensory virtual worlds». En: *Multimedia Systems* 5.2 (1997), pp. 93-104. ISSN: 0942-4962.
- [BF93] Steve Benford y Lennart E. Fahlén. «A Spatial Model of Interaction in Large Virtual Environments». En: *Proceedings of the Third European Conference on Computer-Supported Cooperative Work, ECSCW 93*. Ed. por Giorgio de Michelis, Carla Simone y Kjeld Schmidt. Milan, Italy: Springer Netherlands, 1993, pp. 109-124. ISBN: 978-94-010-4928-3. DOI: 10.1007/978-94-011-2094-4.
- [BGH02] Doug A. Bowman, Joseph L. Gabbard y Deborah Hix. «A Survey of Usability Evaluation in Virtual Environments: Classification and Comparison of Methods». en. En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 11.4 (2002), pp. 404-424. ISSN: 1054-7460.
- [BGL97] Steve Benford, Chris Greenhalgh y David Lloyd. «Crowded collaborative virtual environments». En: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. CHI'97. ACM, 1997, pp. 59-66. ISBN: 0-89791-802-9. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/258549.258588>.
- [BHB03] Frank Biocca, Chad Harms y Judee K. Burgoon. «Toward a More Robust Theory and Measure of Social Presence: Review and Suggested Criteria». en. En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 12.5 (2003), pp. 456-480. ISSN: 1054-7460. DOI: 10.1162/105474603322761270.
- [BHG01] F. Biocca, C. Harms y J. Gregg. «The Networked Minds Measure of Social Presence: Pilot Test of the Factor Structure and Concurrent Validity». En: *Fourth Annual International Workshop: Presence*. 2001.
- [BIR92] Steve Benford, Robert Ingram y Tom Rodden. «Exploiting virtual reality as a conceptual model for CSCW». English. En: *Using Virtual Worlds, IEE Colloquium on*. London: IET, 1992, pp. 1/1-1/5.
- [BJH00] Doug A. Bowman, Donald B. Johnson y Larry F. Hodges. «Testbed evaluation of virtual environment interaction techniques». En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. Vol. 10. 1. New York, New York, USA: ACM Press, 2000, pp. 26-33. ISBN: 1581131410. DOI: 10.1145/323663.323667.

- [BJH99] Doug A. Bowman, Donald B. Johnson y Larry F. Hodges. «Testbed evaluation of virtual environment interaction techniques». En: *VRST '99 Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*. ACM Press, 1999, pp. 26-63. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/323663.323667>.
- [BK13] Jeanette Blomberg y Helena Karasti. «Reflections on 25 Years of Ethnography in CSCW». En: *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 22.4-6 (2013), pp. 373-423. ISSN: 0925-9724. DOI: 10.1007/s10606-012-9183-1.
- [BM07] Doug A. Bowman y Ryan P. McMahan. «Virtual Reality: How Much Immersion Is Enough?». En: *Computer* 40.7 (2007), pp. 36-43. ISSN: 0018-9162. DOI: 10.1109/MC.2007.257.
- [Bow+01] Doug A. Bowman y col. «An Introduction to 3-D User Interface Design». En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 10.1 (2001), pp. 96-108. DOI: 10.1162/105474601750182342.
- [Bow+08] D. A. Bowman y col. «3D User Interfaces: New Directions and Perspectives». En: *Computer Graphics and Applications, IEEE* 28.6 (2008), pp. 20-36. ISSN: 0272-1716. DOI: 10.1109/MCG.2008.109.
- [BP15] Martina Boese y Melissa Phillips. «Multiculturalising at the Interface of Policy and Practice». En: *Cultural, Religious and Political Contestations*. Ed. por Fethi Mansouri. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 205-222. ISBN: 978-3-319-16002-3. DOI: 10.1007/978-3-319-16003-0.
- [BS99] Thmoas Berlage y Markus Sohlenkamp. «Visualizing Common Artefacts to Support Awareness in Computer-Mediated Cooperation». En: *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 8.3 (1999), pp. 207-238. ISSN: 0925-9724. DOI: 10.1023/A:1008608425504.
- [BSH06] A. Boukerche, S. Shirmohammadi y A. Hossain. «Moderating Simulation Lag in Haptic Virtual Environments». En: *39th Annual Simulation Symposium (ANSS'06)*. IEEE, 2006, pp. 269-277. ISBN: 0-7695-2559-8. DOI: 10.1109/ANSS.2006.31.
- [BSJ14] Hani Bani-Salameh y Clinton Jeffery. «Collaborative and social development environments: a literature review». en. En: *International Journal of Computer Applications in Technology* 49.2 (2014), pp. 89-103. DOI: 10.1504/IJCAT.2014.060520.

- [Bul12] Saniye Tugba Bulu. «Place presence, social presence, co-presence, and satisfaction in virtual worlds». En: *Computers & Education* 58.1 (2012), pp. 154-161. ISSN: 03601315. DOI: 10.1016/j.compedu.2011.08.024.
- [Car+06] John M. Carroll y col. «Awareness and teamwork in computer-supported collaborations». En: *Interacting with Computers* 18.1 (2006), pp. 21-46. ISSN: 09535438.
- [CCC08] Tsung-Yi Chen, Yuh-Min Chen y Hui-Chuan Chu. «Developing a trust evaluation method between co-workers in virtual project team for enabling resource sharing and collaboration». En: *Computers in Industry* 59.6 (2008), pp. 565-579. ISSN: 01663615. DOI: 10.1016/j.compind.2008.01.001.
- [Cec+13] J. Cecil y col. «Collaborative virtual environments for orthopedic surgery». En: *2013 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*. IEEE, 2013, pp. 133-137. ISBN: 978-1-4799-1515-6. DOI: 10.1109/CoASE.2013.6654045.
- [CF93] Christer Carlsson y Lennart E. Fahlén. «Integrated CSCW tools within a shared 3D virtual environment». En: *Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems*. CHI'93. ACM, 1993, p. 513. ISBN: 0-89791-575-5. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/169059.169452>.
- [CH93] Christer Carlsson y Olof Hagsand. «DIVE—A platform for multi-user virtual environments». En: *Computers & Graphics* 17.6 (1993), pp. 663-669. ISSN: 00978493. DOI: 10.1016/0097-8493(93)90115-P.
- [Cha02] Matthew Chalmers. «Awareness, Representation and Interpretation». En: *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 11.3-4 (2002), pp. 389-409. ISSN: 0925-9724. DOI: 10.1023/A:1021209028381.
- [Cho+12] Hafedh Chourabi y col. «Understanding Smart Cities: An Integrative Framework». English. En: *2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences*. IEEE, 2012, pp. 2289-2297. ISBN: 978-1-4577-1925-7. DOI: 10.1109/HICSS.2012.615.
- [Col+02] César A. Collazos y col. «Evaluating Collaborative Learning Processes». En: *CRIWG '02 Proceedings of the 8th International Workshop on Groupware: De-*

*sign, Implementation and Use*. Springer-Verlag, 2002, pp. 203-221. ISBN: 3-540-44112-3.

- [Col+04] Cesar A. Collazos y col. «A method for evaluating computer-supported collaborative learning processes». En: *International Journal of Computer Applications in Technology* 19.3/4 (2004), pp. 151-161. ISSN: 0952-8091. DOI: 10.1504/IJCAT.2004.004044.
- [Col+12] César A. Collazos y col. «Laboratory Experiments in CSCW Activities». English. En: ed. por Carina Gonzalez. IGI Global, 2012, pp. 222-240. ISBN: 9781466619876. DOI: 10.4018/978-1-4666-1987-6.
- [Col03] César A. Collazos. «Una metodología para el apoyo computacional de la evaluación y monitoreo en ambientes de aprendizaje colaborativo». Tesis doctoral. Universidad de Chile, 2003.
- [Cou+14] Scott Counts y col. «Computational social science: CSCW in the social media era». En: *Proceedings of the companion publication of the 17th ACM conference on Computer supported cooperative work & social computing - CSCW Companion '14*. New York, New York, USA: ACM Press, 2014, pp. 105-108. ISBN: 9781450325417. DOI: 10.1145/2556420.2556849.
- [CS98] Elizabeth F. Churchill y D. Snowdon. «Collaborative virtual environments: An introductory review of issues and systems». En: *Virtual Reality* 3.1 (1998), pp. 3-15. ISSN: 1359-4338.
- [CT88] Andrew J G Cockburn y Harold Thimbleby. «A reflexive perspective of CSCW». En: *SIGCHI Bulletin* 23.3 (1988), pp. 63-68. ISSN: 0736-6906. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/126505.126509>.
- [CU10] Debbie Corder y Alice U. «Integrating Second Life to enhance global intercultural collaboration projects». En: *ACM Inroads* 1.3 (2010), p. 43. ISSN: 21532184. DOI: 10.1145/1835428.1835442.
- [CW00] Elisabeth F. Cuddihy y Deborah Walters. «Embodied interaction in social virtual environments». En: *Proceedings of the third international conference on Collaborative virtual environments*. CVE'00. ACM, 2000, pp. 181-188. ISBN: 1-58113-303-0. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/351006.351039>.

- [Dan+08] N.T. Dang y col. «A framework for design and evaluation of collaborative virtual environments». En: *Journées de de l'Association Francaise de Réalité Virtuelle*. AFRV, 2008.
- [Duv+13] Thierry Duval y col. «Improving awareness for 3D virtual collaboration by embedding the features of users' physical environments and by augmenting interaction tools with cognitive feedback cues». En: *Journal on Multimodal User Interfaces* 8.2 (2013), pp. 187-197. ISSN: 1783-7677. DOI: 10.1007/s12193-013-0134-z.
- [Eis89] K. M. Eisenhardt. «Building Theories from Case Study Research.» en. En: *Academy of Management Review* 14.4 (1989), pp. 532-550. ISSN: 0363-7425. DOI: 10.5465/AMR.1989.4308385.
- [Elm11] Niklas Elmqvist. «Distributed User Interfaces: State of the Art». En: *Distributed User Interfaces*. Ed. por José A. Gallud, Ricardo Tesoriero y Victor M.R. Penichet. Human-Computer Interaction Series. London: Springer London, 2011. Cap. Chapter 1. pp. 1-12. ISBN: 978-1-4471-2270-8. DOI: 10.1007/978-1-4471-2271-5.
- [End88] Mica R. Endsley. «Design and Evaluation for Situation Awareness Enhancement». en. En: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 32.2 (1988), pp. 97-101. ISSN: 1541-9312. DOI: 10.1177/154193128803200221.
- [End95] Mica R. Endsley. «Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems». En: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* 37.1 (1995), pp. 32-64. ISSN: 00187208. DOI: 10.1518/001872095779049543.
- [FBT93] Mauro Figueiredo, Klaus Böhm y José Teixeira. «Advanced interaction techniques in virtual environments». En: *Computers & Graphics* 17.6 (1993), pp. 655-661. ISSN: 00978493. DOI: 10.1016/0097-8493(93)90114-0.
- [Fil+09] Nelson Duarte Filho y col. «An Automated Platform for Immersive and Collaborative Visualization of Industrial Models». En: *2009 14th IEEE International Conference on Engineering of Complex Computer Systems*. IEEE, 2009, pp. 258-264. ISBN: 978-0-7695-3702-3. DOI: 10.1109/ICECCS.2009.37.

- [FL05] J.Y.H. Fuh y W.D. Li. «Advances in collaborative CAD: the-state-of-the art». En: *Computer-Aided Design* 37.5 (2005), pp. 571-581. ISSN: 00104485. DOI: 10.1016/j.cad.2004.08.005.
- [Fly06] B. Flyvbjerg. «Five Misunderstandings About Case-Study Research». En: *Qualitative Inquiry* 12.2 (2006), pp. 219-245. ISSN: 1077-8004. DOI: 10.1177/1077800405284363.
- [FMH99] Marc Fabri, David Moore y Dave Hobbs. «The Emotional Avatar: Non-verbal Communication Between Inhabitants of Collaborative Virtual Environments». En: *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction*. Ed. por Annelies Braffort y col. Vol. 1739. LNCS. Springer Berlin / Heidelberg, 1999, pp. 269-273.
- [FR11] Michael Friedewald y Oliver Raabe. «Ubiquitous computing: An overview of technology impacts». En: *Telematics and Informatics* 28.2 (2011), pp. 55-65. ISSN: 07365853. DOI: 10.1016/j.tele.2010.09.001.
- [Fra+00] Mike Fraser y col. «Revealing the realities of collaborative virtual reality». En: *Proceedings of the third international conference on Collaborative virtual environments. CVE'00*. ACM, 2000, pp. 29-37. ISBN: 1-58113-303-0. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/351006.351010>.
- [Gab+99] Joseph L. Gabbard y col. «Usability Evaluation Techniques: A Novel Method for Assessing the Usability of an Immersive Medical VE». En: San Diego, CA, USA: Society for Computer Simulation Int, 1999, pp. 165-170.
- [GB95] Chris Greenhalgh y Steven Benford. «MASSIVE: a collaborative virtual environment for teleconferencing». En: *ACM TOCHI* 2.3 (1995), pp. 239-261. ISSN: 1073-0516. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/210079.210088>.
- [GB97] Chris Greenhalgh y Steve Benford. «Boundaries, awareness and interaction in collaborative virtual environments». En: *Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, 1997., Proceedings Sixth IEEE workshops on*. 1997, pp. 193-198. DOI: 10.1109/ENABL.1997.630813.
- [GG02] Carl Gutwin y Saul Greenberg. «A Descriptive Framework of Workspace Awareness for Real-Time Groupware». En: *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 11.3 (2002), pp. 411-446. ISSN: 0925-9724. DOI: 10.1023/A:1021271517844.

- [GHS99] Joseph .L. Gabbard, D. Hix y J.E. Swan. «User-centered design and evaluation of virtual environments». En: *IEEE Computer Graphics and Applications* 19.6 (1999), pp. 51-59. ISSN: 02721716. DOI: 10.1109/38.799740.
- [Gio02] Russell A Giordano. «CAD/CAM: overview of machines and materials.» En: *Journal of the Massachusetts Dental Society* 51.1 (2002), pp. 12-5. ISSN: 0025-4800.
- [GL01] Gernot Goebbels y Vali Laloti. «Co-presence and co-working in distributed collaborative virtual environments». En: *Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics, virtual reality and visualisation - AFRIGRAPH '01*. New York, New York, USA: ACM Press, 2001, p. 109. ISBN: 1581134460. DOI: 10.1145/513867.513891.
- [GLG03] Gernot Goebbels, Vali Laloti y Martin Göbel. «Design and evaluation of team work in distributed collaborative virtual environments». En: *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology - VRST '03*. New York, New York, USA: ACM Press, 2003, p. 231. ISBN: 1581135696.
- [GLM01] Gernot Goebbels, Vali Laloti y Thomas Mack. «Guided Design and Evaluation of Distributed , Collaborative 3D Interaction in Projection Based Virtual Environments». En: *Proceedings of HCI 2001 - 9th International Conference on Human Computer Interaction*. 2001.
- [GMH01] M. Gerhard, D. J. Moore y D. J. Hobbs. «Continuous Presence in Collaborative Virtual Environments: Towards a Hybrid Avatar-Agent Model for User Representation». En: *Intelligent Virtual Agents*. Ed. por Angélica Antonio, Ruth Aylett y Daniel Ballin. Vol. 2190. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2001, pp. 137-155. ISBN: 978-3-540-42570-0. DOI: 10.1007/3-540-44812-8.
- [GMH04] Michael Gerhard, David Moore y Dave Hobbs. «Embodiment and copresence in collaborative interfaces». En: *International Journal of Human-Computer Studies* 61.4 (2004), pp. 453-480. ISSN: 1071-5819. DOI: DOI : 10.1016/j.ijhcs.2003.12.014.
- [GPP09] S. Guven, M. Podlaseck y G. Pingali. «Exploring Co-presence for Next Generation Technical Support». En: *2009 IEEE Virtual Reality Conference*. IEEE, 2009, pp. 103-106. ISBN: 978-1-4244-3943-0. DOI: 10.1109/VR.2009.4811006.

- [Gru94] Jonathan Grudin. «Computer-supported cooperative work: history and focus». En: *Computer* 27.5 (1994), pp. 19-26. ISSN: 0018-9162. DOI: 10.1109/2.291294.
- [GV+99] A Guye-Vuillème y col. «Nonverbal communication interface for collaborative virtual environments». En: *Virtual Reality* 4.1 (1999), pp. 49-59. ISSN: 1359-4338.
- [HAM10] Hamid Hrimech, Leila Alem y Frederic Merienne. «Understanding the Affordances of Navigation Metaphors in a Collaborative Virtual Environment». En: *The International Journal of Virtual Reality* 9.2 (2010), pp. 39-51.
- [HAM11] Hamid Hrimech, Leila Alem y Frederic Merienne. «How 3D Interaction Metaphors Affect User Experience in Collaborative Virtual Environment». En: *Advances in Human-Computer Interaction* 2011. Article ID 172318 (2011), 11 pages.
- [Han97] Chris Hand. «A Survey of 3D Interaction Techniques». En: *Computer Graphics Forum* 16.5 (1997), pp. 269-281. ISSN: 01677055. DOI: 10.1111/1467-8659.00194.
- [Her+07] Valeria Herskovic y col. «Evaluation methods for groupware systems». En: *CRIWG'07 Proceedings of the 13th international conference on Groupware: design implementation, and use*. Springer-Verlag, 2007, pp. 328-336. ISBN: 978-3-540-74811-3.
- [HG08] Martyn Hammersley y Roger Gomm. «Introduction (Case Study Method: Key Issues, Key Texts)». En: *Case Study Method: Key Issues, Key Texts*. Ed. por Roger Gomm, Martyn Hammersley y Peter Foster. Sage Publications, Inc., 2008, p. 288. ISBN: 978-0761964148.
- [HKM12] Wadhah Amer Hatem, Alan Kwan y John Miles. «Comparing the effectiveness of face to face and computer mediated collaboration». En: *Advanced Engineering Informatics* 26.2 (2012), pp. 383-395. ISSN: 14740346. DOI: 10.1016/j.aei.2012.01.001.
- [HLLL09] Felix G. Hamza-Lup, Benjamin M. Lambeth y James LaPlant. «Collaborative haptic environment assessment». English. En: *World Haptics 2009 - Third Joint EuroHaptics conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*. IEEE, 2009, pp. 397-398. ISBN: 978-1-4244-3858-7. DOI: 10.1109/WHC.2009.4810903.

- [HM10] Hamid Hrimech y Frédéric Merienne. «Interaction and evaluation tools for collaborative virtual environment». En: *International Journal on Interactive Design and Manufacturing* 4.3 (2010), pp. 149-156. ISSN: 1955-2513.
- [Ho97] Chia-Hui Ho. «A critical process for the evaluation of methodology». eng. Tesis doctoral. 1997, p. 286.
- [HR07] Martin Höst y Per Runeson. «Checklists for Software Engineering Case Study Research». En: *First International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM 2007)*. IEEE, 2007, pp. 479-481. ISBN: 978-0-7695-2886-1. DOI: 10.1109/ESEM.2007.46.
- [HRE11] SK Alamgir Hossain, Abu Saleh Md Mahfujur Rahman y Abdulmotaleb El Saddik. «Measurements of Multimodal Approach to Haptic Interaction in Second Life Interpersonal Communication System». En: *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 60.11 (2011), pp. 3547-3558. ISSN: 0018-9456. DOI: 10.1109/TIM.2011.2161148.
- [Hu+13] Yingjie Hu y col. «A multistage collaborative 3D GIS to support public participation». en. En: *International Journal of Digital Earth* 8.3 (2013), pp. 212-234. ISSN: 1753-8947. DOI: 10.1080/17538947.2013.866172.
- [IDM11] Jesús Ibáñez y Carlos Delgado-Mata. «Lessons from research on interaction with virtual environments». En: *Journal of Network and Computer Applications* 34.1 (2011), pp. 268-281. ISSN: 10848045. DOI: 10.1016/j.jnca.2010.07.005.
- [JAS97] Kai-Mikael Jää-Aro y Dave Snowdon. «Retaining body language in subjective virtual environments using artifact-centred coordinate systems». En: *System Sciences, 1997, Proceedings of the Thirtieth Hawaii International Conference on*. Vol. 1. 1997, pp. 646-652. DOI: 10.1109/HICSS.1997.667430.
- [JH13] Jacek Jankowski y Martin Hachet. «A Survey of Interaction Techniques for Interactive 3D Environments». En: *Eurographics 2013 - State of the Art Reports*. 2013, pp. 65-93. DOI: 10.2312/conf/EG2013/stars/065-093.
- [JH15] J. Jankowski y M. Hachet. «Advances in Interaction with 3D Environments». En: *Computer Graphics Forum* 34.1 (2015), pp. 152-190. ISSN: 01677055. DOI: 10.1111/cgf.12466.

- [Jor+13] Vitor A. M. Jorge y col. «Interacting with Danger in an Immersive Environment: Issues on Cognitive Load and Risk Perception». En: *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology - VRST '13*. New York, New York, USA: ACM Press, 2013, pp. 83-92. ISBN: 9781450323796. DOI: 10.1145/2503713.2503725.
- [JS07] Alejandro Jaimes y Nicu Sebe. «Multimodal human–computer interaction: A survey». En: *Computer Vision and Image Understanding* 108.1-2 (2007), pp. 116-134. ISSN: 10773142. DOI: 10.1016/j.cviu.2006.10.019.
- [Kan+12] Heidi S. Kane y col. «Mere presence is not enough: Responsive support in a virtual world». En: *Journal of Experimental Social Psychology* 48.1 (2012), pp. 37-44. ISSN: 00221031. DOI: 10.1016/j.jesp.2011.07.001.
- [Kar+13] Fatih Karatas y col. «Evaluating Usability and Privacy in Collaboration Settings with DUIs: Problem Analysis and Case Studies». En: *Distributed User Interfaces: Usability and Collaboration*. Ed. por María D Lozano y col. Human–Computer Interaction Series. London: Springer London, 2013. Cap. Chapter 10, pp. 119-127. ISBN: 978-1-4471-5498-3. DOI: 10.1007/978-1-4471-5499-0{\\_}10.
- [Kaw05] Barbara B. Kawulich. *Participant Observation as a Data Collection Method*. en; es. 2005.
- [KG06] Michael Koch y Tom Gross. «Computer-supported cooperative work-concepts and trends». En: *Proc. Conf. of the Association Information And Management (AIM)*. LNI. Bonner Koellen Verlag, 2006, pp. 165-172.
- [Kim+01] Yeongho Kim y col. «Collaborative surgical simulation over the Internet». En: *IEEE Internet Computing* 5.3 (2001), pp. 65-73. ISSN: 1089-7801. DOI: 10.1109/4236.935179.
- [Kit+02] B.A. Kitchenham y col. «Preliminary guidelines for empirical research in software engineering». En: *IEEE Transactions on Software Engineering* 28.8 (2002), pp. 721-734. ISSN: 0098-5589. DOI: 10.1109/TSE.2002.1027796.
- [KJ14] Dr. Manju Kaushik y Rashmi Jain. «Natural User Interfaces: Trend in Virtual Interaction». En: *International journal Of Latest technology in Engineering, Management & Applied Science* 3.4 (2014), pp. 141-143. arXiv: 1405.0101.

- [KL98] Yung-Chou Kao y Grier C.I. Lin. «Development of a collaborative CAD/CAM system». En: *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 14.1 (1998), pp. 55-68. ISSN: 07365845. DOI: 10.1016/S0736-5845(97)00014-8.
- [KM01] Vineet R. Kamat y Julio C. Martinez. «Visualizing Simulated Construction Operations in 3D». en. En: *Journal of Computing in Civil Engineering* (2001).
- [Kop11] Hermann Kopetz. «Internet of Things». En: *Real-Time Systems*. Real-Time Systems Series. Boston, MA: Springer US, 2011, pp. 307-323. ISBN: 978-1-4419-8236-0. DOI: 10.1007/978-1-4419-8237-7{\\_}13.
- [Kra+12] H. F. Krammes y col. «Walk in Place Using a Balance Board Matrix». En: *Workshop of Works in Progress (WIP) in SIBGRAPI 2012 (XXV Conference on Graphics, Patterns and Images)*. 2012, pp. 59-60.
- [KTT06] M Kamppuri, M Tedre y M Tukiainen. «Towards the Sixth Level in Interface Design: Understanding Culture». En: *Proceedings of the CHI-SA*. 2006.
- [Kwo+15] Linchi Kwok y col. «Documenting business-to-consumer (B2C) communications on Facebook». en. En: *Worldwide Hospitality and Tourism Themes* 7.3 (2015). Ed. por Dr John Bowen, Dr Seyhmus Baloglu, pp. 283-294. ISSN: 1755-4217. DOI: 10.1108/WHATT-03-2015-0018.
- [LBP14] Joseph J. LaViola, Jr. Sarah Buchanan y Corey Pittman. «Interactive Displays: Natural Human-Interface Technologies». En: *Multimodal Input for Perceptual User Interfaces*. Ed. por Achintya K. Bhowmik. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2014. Cap. 9, pp. 285-312. ISBN: 9781118706237. DOI: 10.1002/9781118706237.
- [Les+01] Jane Lessiter y col. «A Cross-Media Presence Questionnaire: The ITC-Sense of Presence Inventory». en. En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 10.3 (2001), pp. 282-297. ISSN: 1054-7460. DOI: 10.1162/105474601300343612.
- [Li+05] W.D. Li y col. «Collaborative computer-aided design—research and development status». En: *Computer-Aided Design* 37.9 (2005), pp. 931-940. ISSN: 00104485. DOI: 10.1016/j.cad.2004.09.020.
- [Llo09] Donna M. Lloyd. «The space between us: A neurophilosophical framework for the investigation of human interpersonal space». En: *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 33.3 (2009), pp. 297-304.

- [Lov+15] Andrew Lovett y col. «Using 3D visualization methods in landscape planning: An evaluation of options and practical issues». En: *Landscape and Urban Planning* (2015). ISSN: 01692046. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2015.02.021.
- [LP98] Christopher Landauer y Valerie E. Polichar. «More than shared artifacts: collaboration via shared presence in MUDs». En: *Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, 1998. (WET ICE'98) Proceedings., Seventh IEEE International Workshops on*. Vol. 1. 310. IEEE, 1998, pp. 182-189. DOI: 10.1109/ENABL.1998.725691.
- [Lyn08] Clifford Lynch. «Big data: How do your data grow?». En: *Nature* 455.7209 (2008), pp. 28-9. ISSN: 1476-4687. DOI: 10.1038/455028a.
- [Mat11] Sandra Mattsson. «Measures of collaboration in CSCW: Usability and collective measures in remote and co-located problem-solving». Master of Science Thesis in Intelligent System Design. Chalmers University of Technology, 2011, p. 64.
- [Men97] J Menon. «Collaborative visualization and modeling». En: *Shape Modeling and Applications, Proceedings. International Conference on*. 1997, pp. 178-187. DOI: 10.1109/SMA.1997.634895.
- [MH11] Shailey Minocha y Christopher Leslie Hardy. «Designing navigation and way-finding in 3D virtual learning spaces». En: *Proceedings of the 23rd Australian Computer-Human Interaction Conference on - OzCHI '11*. New York, New York, USA: ACM Press, 2011, pp. 211-220. ISBN: 9781450310901. DOI: 10.1145/2071536.2071570.
- [MHT13] André Marchand y Thorsten Hennig-Thurau. «Value Creation in the Video Game Industry: Industry Economics, Consumer Benefits, and Research Opportunities». En: *Journal of Interactive Marketing* 27.3 (2013), pp. 141-157. ISSN: 10949968. DOI: 10.1016/j.intmar.2013.05.001.
- [Miñ+14] Raúl Miñón y col. «An approach to the integration of accessibility requirements into a user interface development method». En: *Science of Computer Programming* 86 (2014), pp. 58-73. ISSN: 01676423. DOI: 10.1016/j.scico.2013.04.005.

- [MO+15] Linda Mohand-Oussaid y col. «A formal model for output multimodal HCI». En: *Computing* 97.7 (2015), pp. 713-740. ISSN: 0010-485X. DOI: 10.1007/s00607-015-0460-y.
- [NB03] Kristine L. Nowak y Frank Biocca. «The Effect of the Agency and Anthropomorphism on Users' Sense of Telepresence, Copresence, and Social Presence in Virtual Environments». en. En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 12.5 (2003), pp. 481-494. ISSN: 1054-7460. DOI: 10.1162/105474603322761289.
- [NCR04] Dennis C Neale, John M Carroll y Mary Beth Rosson. «Evaluating computer-supported cooperative work: models and frameworks». En: *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work*. ACM Press, 2004, pp. 112-121. ISBN: 1-58113-810-5. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1031607.1031626>.
- [ND14] Thi Thuong Huyen Nguyen y Thierry Duval. «A Survey of Communication and Awareness in Collaborative Virtual Environments». En: *IEEE VR 2014 Workshop on 3D Collaborative Virtual Environments (3DCVE)*. Minneapolis, MN, USA: IEEE Computer Society Press, 2014, to appear.
- [Ndi+03] Ali Ndiwalana y col. «Ubiquitous computing: by the people, for the people». En: *CHI '03 extended abstracts on Human factors in computing systems - CHI '03*. New York, New York, USA: ACM Press, 2003, p. 968. ISBN: 1581136374. DOI: 10.1145/765891.766099.
- [NPM10] Nasser Nassiri, Norman Powell y David Moore. «Human interactions and personal space in collaborative virtual environments». En: *Virtual Reality* 14.4 (2010), pp. 229-240. ISSN: 1359-4338.
- [OFR15] D Wayne Osgood, Mark E Feinberg y Daniel T Ragan. «Social Networks and the Diffusion of Adolescent Problem Behavior: Reliable Estimates of Selection and Influence from Sixth Through Ninth Grades.» En: *Prevention science : the official journal of the Society for Prevention Research* Preprint (2015). ISSN: 1573-6695. DOI: 10.1007/s11121-015-0558-7.
- [Ogi+99] T. Ogi y col. «Collaborative scientific visualization in networked immersive virtual environment». En: *IEEE SMC'99 Conference Proceedings. 1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No.99CH37028)*.

- Vol. 6. IEEE, 1999, pp. 87-91. ISBN: 0-7803-5731-0. DOI: 10.1109/ICSMC.1999.816461.
- [Oli+15] Victor A. de J. Oliveira y col. «Does vibrotactile intercommunication increase collaboration?» En: *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*. IEEE Computer Society Press, 2015, pp. 253-254. ISBN: 978-1-4799-1727-3. DOI: 10.1109/VR.2015.7223391.
- [OO97] Gary M Olson y Judith S Olson. «Research on Computer Supported Cooperative Work». En: *Handbook of Human-Computer Interaction (Second Edition)*. Ed. por Marting G Helander, Thomas K Landauer y Prasad V Prabhu. Second Edi. North-Holland, 1997. Cap. 59, pp. 1433-1456. ISBN: 978-0-44-481862-1. DOI: DOI:10.1016/B978-044481862-1.50125-4.
- [OODM07] Samir Otmane, Nassima Ouramdane-Djerah y Malik Mallem. «Towards a Collaborative 3D Interaction Model for Cooperative Design in Virtual Environments». En: *Proceedings of the 11th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*. 2007, pp. 198-203. ISBN: 1424409632. DOI: 10.1109/CSCWD.2007.4281434.
- [OR14] Luis Alberto Ordoñez Zúñiga y Yhon Alexander Romero Narváez. «Métricas de colaboración en una tarea de selección y manipulación en un entorno virtual 3D». Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero de Sistemas. Universidad del Cauca, 2014, p. 104.
- [Pan+15] Weiguo Pan y col. «Hybrid architecture for 3D visualization of ultrasonic data». En: *Information Sciences* (2015). ISSN: 00200255. DOI: 10.1016/j.ins.2015.03.026.
- [Pek03] Samuli Pekkola. «Designed for unanticipated use: common artefacts as design principle for CSCW applications». En: *Proceedings of the international ACM SIGGROUP conference on Supporting group work*. GROUP'03. ACM, 2003, pp. 359-368. ISBN: 1-58113-693-5.
- [Pen+07] V M R Penichet y col. «A Classification Method for CSCW Systems». En: *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 168 (2007), pp. 237-247. ISSN: 1571-0661. DOI: DOI:10.1016/j.entcs.2006.12.007.

- [PI99] Ivan Poupyrev y Tadao Ichikawa. «Manipulating objects in virtual worlds: categorization and empirical evaluation of interaction techniques». En: *Journal of Visual Languages & Computing* 10.1 (1999), pp. 19-35. ISSN: 1045926X. DOI: 10.1006/jv1c.1998.0112.
- [Pic+14] Sebastian Pick y col. «A 3D Collaborative Virtual Environment to Integrate Immersive Virtual Reality into Factory Planning Processes». En: *IEEE VR 2014 Workshop on 3D Collaborative Virtual Environments (3DCVE)*. Minneapolis, MN, USA: IEEE Computer Society Press, 2014, to appear.
- [Pou+97] Ivan Poupyrev y col. «A framework and testbed for studying manipulation techniques for immersive VR». En: *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology - VRST '97*. New York, New York, USA: ACM Press, 1997, pp. 21-28. ISBN: 089791953X. DOI: 10.1145/261135.261141.
- [PPW97] Randy Pausch, Dennis Proffitt y George Williams. «Quantifying immersion in virtual reality». En: *Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '97*. New York, New York, USA: ACM Press, 1997, pp. 13-18. ISBN: 0897918967. DOI: 10.1145/258734.258744.
- [PR14] Jhon Fredy Paz Pino y Klauss Sheffield Rendón Muñoz. «Métricas para evaluar el grado de colaboración en una tarea de navegación en un entorno virtual 3d». Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero de Sistemas. Universidad del Cauca, 2014, p. 85.
- [PSE04] D.E. Perry, S.E. Sim y S.M. Easterbrook. «Case studies for software engineers». En: *Proceedings. 26th International Conference on Software Engineering*. IEEE Comput. Soc, 2004, pp. 736-738. ISBN: 0-7695-2163-0. DOI: 10.1109/ICSE.2004.1317512.
- [PW97] A. Pang y C. Wittenbrink. «Collaborative 3D visualization with CSpray». En: *IEEE Computer Graphics and Applications* 17.2 (1997), pp. 32-41. ISSN: 02721716. DOI: 10.1109/38.574676.
- [Qin+13] Jing Qin y col. «Effect of Packet Loss on Collaborative Haptic Interactions in Networked Virtual Environments: An Experimental Study». EN. En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 22.1 (2013), pp. 36-53. ISSN: 1054-7460. DOI: 10.1162/PRES{\\_}\\_a{\\_}\\_00132.

- [Ram13] Serrano Vergel Ramiro. «Igrafi - Sistema multi-usuario para interacción colaborativa sobre una imagen proyectada». Tesis doctoral. Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes, 2013, p. 150.
- [Ram99] Magnus Ramage. «The Learning Way: Evaluating Co-operative Systems». Tesis doctoral. Lancaster University, 1999.
- [Ran+11] Jussi Rantala y col. «The Role of Gesture Types and Spatial Feedback in Haptic Communication». En: *IEEE Transactions on Haptics* 4.4 (2011), pp. 295-306. ISSN: 1939-1412. DOI: 10.1109/T0H.2011.4.
- [Ray02] Pradeep Ray. «Computer Supported Cooperative Work (CSCW)». En: *Cooperative Management of Enterprise Networks*. Ed. por Manu Malek. Springer US, 2002, pp. 27-46. ISBN: 978-0-306-46972-5.
- [RB06] Jiten Rama y Judith Bishop. «A survey and comparison of CSCW groupware applications». En: *Proceedings of the 2006 annual research conference of the South African institute of computer scientists and information technologists on IT research in developing countries*. 2006, pp. 198-205. ISBN: 1-59593-567-3. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/1216262.1216284>.
- [Reu+13] Vitor Reus y col. «Correcting Drift, Head and Body Misalignments between Virtual and Real Humans». en. En: *SBC Journal on Interactive Systems* 4.2 (2013), pp. 55-65. ISSN: 2236-3297.
- [Rin+15] Daniel Rinewalt y col. «Evaluation of an interactive science publishing tool: toward enabling three-dimensional analysis of medical images.» En: *Academic radiology* 22.3 (2015), pp. 380-6. ISSN: 1878-4046. DOI: 10.1016/j.acra.2014.09.012.
- [RL06] R A Ruddle y S Lessels. «Three levels of metric for evaluating wayfinding». En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 15 (2006), pp. 637-654.
- [RMN15] Fernando Roman, Anderson Maciel y Luciana Nedel. «Improving Gameplay in First Person 3-D Games using Multiple Displays». En: *Computers in Entertainment* 12.2 (2015), pp. 1-22. ISSN: 15443574. DOI: 10.1145/2701657.2701653.
- [Rob91] Mike Robinson. «Double-level languages and co-operative working». En: *AI & Society* 5.1 (1991), pp. 34-60. ISSN: 0951-5666. DOI: 10.1007/BF01891356.

- [Rob93] Mike Robinson. «Design for unanticipated use...» En: *ECSCW'93 Proceedings of the third conference on European Conference on Computer-Supported Cooperative Work*. Kluwer Academic Publishers, 1993, pp. 187-202. ISBN: 0-7923-2447-1.
- [Rod91] Tom Rodden. «A survey of CSCW systems». En: *Interacting with Computers* 3.3 (1991), pp. 319-353. ISSN: 0953-5438. DOI: DOI:10.1016/0953-5438(91)90020-3.
- [RS11] Diego Rueda y Wilson J. Sarmiento. «Interfaz para la manipulación de objetos 3D mediante el seguimiento de marcadores visuales». En: *Memorias Congreso Internacional Multimedia 2011*. Bogotá, Colombia: UMNG, 2011, pp. 49-56.
- [San+00] C Russo Dos Santos y col. *Metaphor-aware 3D navigation*. 2000.
- [Sar+13] Wilson J. Sarmiento y col. «Awareness of Other: Evaluating the Impact of Proximity Cues in Collaborative Tasks». En: *Virtual Reality (VR), 2013 IEEE*. Lake Buena Vista, FL, USA: IEEE Computer Society Press, 2013, pp. 63-64. DOI: LakeBuenaVista,FL.
- [Sar+14] Wilson J. Sarmiento y col. «Measuring the Collaboration Degree in Immersive 3D Collaborative Virtual Environments». En: *Collaborative Virtual Environments (3DCVE), 2014 International Workshop on . IEEE VR 2014*. Minneapolis, MN, USA: IEEE Computer Society Press, 2014, pp. 1-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/3DCVE.2014.7160931>.
- [SC12] Wilson J. Sarmiento y César A. Collazos. «CSCW Systems in Virtual Environments: A General Development Framework». En: *Creating, Connecting and Collaborating through Computing (C5), 2012 10th International Conference on*. Ed. por Hideyuki Takada. Playa Vista, CA, USA: IEEE Computer Society, 2012, pp. 15-22. DOI: 10.1109/C5.2012.17.
- [SC16] Wilson J. Sarmiento y César. A. Collazos. «Common-Awareness Artifacts, Conceptual Elements to Designing and Evaluating Collaboration in CVE». En: *Communications in Computer and Information Science* to appear (2016).
- [SCG12] Igor Steinmacher, Ana Paula Chaves y Marco Aurélio Gerosa. «Awareness Support in Distributed Software Development: A Systematic Review and Mapping of the Literature». En: *Computer Supported Cooperative Work (CSCW) 22.2-3* (2012), pp. 113-158. ISSN: 0925-9724. DOI: 10.1007/s10606-012-9164-4.

- [Sch+01a] Ralph Schroeder y col. «Collaborating in networked immersive spaces: as good as being there together?» En: *Computers & Graphics* 25.5 (2001), pp. 781-788. ISSN: 00978493. DOI: 10.1016/S0097-8493(01)00120-0.
- [Sch+01b] Martijn J. Schuemie y col. «Research on Presence in Virtual Reality: A Survey». en. En: *CyberPsychology & Behavior* 4.2 (2001), pp. 183-201. ISSN: 1094-9313. DOI: 10.1089/109493101300117884.
- [Sch02] Kjeld Schmidt. «The Problem with 'Awareness': Introductory Remarks on 'Awareness in CSCW'». En: *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* 11.3 (2002), pp. 285-298. ISSN: 0925-9724.
- [Sch08] Ryan Schmidt. «Sketching and composing widgets for 3D manipulation». En: *Computer Graphics Forum* 27.2 (2008), pp. 301-310. ISSN: 0167-7055. DOI: 10.1111/j.1467-8659.2008.01127.x.
- [SE00] Ben Salem y Nic Earle. «Designing a non-verbal language for expressive avatars». En: *Proceedings of the third international conference on Collaborative virtual environments - CVE '00*. New York, New York, USA: ACM Press, 2000, pp. 93-101. ISBN: 1581133030. DOI: 10.1145/351006.351019.
- [SG04] Alistair Sutcliffe y Brian Gault. «Heuristic evaluation of virtual reality applications». En: *Interacting with Computers* 16.4 (2004), pp. 831-849. ISSN: 0953-5438. DOI: DOI:10.1016/j.intcom.2004.05.001.
- [Sim09] Helen Simons. *Case Study Research in Practice*. SAGE Publications Ltd, 2009, p. 200. ISBN: 9781446205365.
- [SKJ00] Chang Geun Song, No Jun Kwak y Dong Hyun Jeong. «Developing an efficient technique of selection and manipulation in immersive V.E.» En: *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology - VRST '00*. New York, New York, USA: ACM Press, 2000, p. 142. ISBN: 1581133162. DOI: 10.1145/502390.502417.
- [Sla99] Mel Slater. «Measuring Presence: A Response to the Witmer and Singer Presence Questionnaire». en. En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 8.5 (1999), pp. 560-565. ISSN: 1054-7460. DOI: 10.1162/105474699566477.

- [SLB98] Albrecht Schmidt, Markus Lauff y Michael Beigl. «Handheld CSCW». En: *In Workshop on Handheld CSCS at the 1998 ACM conference on Computer-Supported Cooperative Work*. Vol. 49. 0. 1998, pp. 1-5.
- [SLd03] Frank Spillers y Daniel Loewus-deitch. «Temporal attributes of shared artifacts in collaborative task environments». En: *Workshop on the Temporal Aspects of Tasks (HCI 2003)*. Hci. 2003, pp. 1-11.
- [Sme+00] A.W.M. Smeulders y col. «Content-based image retrieval at the end of the early years». English. En: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 22.12 (2000), pp. 1349-1380. ISSN: 01628828. DOI: 10.1109/34.895972.
- [SS15] Anthony Steed y Ralph Schroeder. «Collaboration in Immersive and Non-immersive Virtual Environments». En: *Immersed in Media*. Ed. por Matthew Lombard y col. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 263-282. ISBN: 978-3-319-10189-7. DOI: 10.1007/978-3-319-10190-3{\\_}11.
- [Sta06] Gerry Stahl. *Group Cognition: : computer support for building collaborative knowledge*. Acting with technology. MIT Press, 2006. ISBN: 9780262195393.
- [Sta78] Robert E. Stake. «The Case Study Method in Social Inquiry». En: *Educational Researcher* 7.2 (1978), pp. 5-8.
- [Ste+12] Eckehard Steinbach y col. «Haptic Communications». En: *Proceedings of the IEEE* 100.4 (2012), pp. 937-956. ISSN: 0018-9219. DOI: 10.1109/JPROC.2011.2182100.
- [Ste+99] A. Steed y col. «Leadership and collaboration in shared virtual environments». En: *Proceedings IEEE Virtual Reality (Cat. No. 99CB36316)*. IEEE Comput. Soc, 1999, pp. 112-115. ISBN: 0-7695-0093-5. DOI: 10.1109/VR.1999.756941.
- [Ste06] A. Steed. «Towards a General Model for Selection in Virtual Environments». En: *3D User Interfaces (3DUI'06)*. IEEE, 2006, pp. 103-110. ISBN: 1-4244-0225-5. DOI: 10.1109/VR.2006.134.
- [Sut+06] Alistair Sutcliffe y col. «Investigating interaction in CAVE virtual environments». En: *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 13.2 (2006), pp. 235-267. ISSN: 1073-0516. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1165734.1165738>.
- [Swa10] Peter Swanborn. *Case Study Research. What, Why and How?* SAGE Publications Ltd, 2010, p. 192. ISBN: 9781446247921.

- [TC06] J.J. Thomas y K.A. Cook. «A visual analytics agenda». English. En: *IEEE Computer Graphics and Applications* 26.1 (2006), pp. 10-13. ISSN: 0272-1716. DOI: 10.1109/MCG.2006.5.
- [Ter95] Loren G Terveen. «Overview of human-computer collaboration». En: *Knowledge-Based Systems* 8.2-3 (1995), pp. 67-81. ISSN: 0950-7051. DOI: DOI:10.1016/0950-7051(95)98369-H.
- [TPM07] A. M. Thomson, J. L. Perry y T. K. Miller. «Conceptualizing and Measuring Collaboration». En: *Journal of Public Administration Research and Theory* 19.1 (2007), pp. 23-56. ISSN: 1053-1858. DOI: 10.1093/jopart/mum036.
- [TRT12] T. M. Takala, P. Rauhamaa y T. Takala. «Survey of 3DUI applications and development challenges». English. En: *2012 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*. IEEE, 2012, pp. 89-96. ISBN: 978-1-4673-1205-9. DOI: 10.1109/3DUI.2012.6184190.
- [TSS96] Konrad Tollmar, Ovidiu Sandor y Anna Schömer. «Supporting social awareness @Work design and experience». En: *Proceedings of the 1996 ACM conference on Computer supported cooperative work - CSCW '96*. New York, New York, USA: ACM Press, 1996, pp. 298-307.
- [TSW03] Jolanda G. Tromp, Anthony Steed y John R. Wilson. «Systematic Usability Evaluation and Design Issues for Collaborative Virtual Environments». en. En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 12.3 (2003), pp. 241-267. ISSN: 1054-7460. DOI: 10.1162/105474603765879512.
- [Vil+12] D. Villani y col. «May I experience more presence in doing the same thing in virtual reality than in reality? An answer from a simulated job interview». En: *Interacting with Computers* (2012). ISSN: 09535438. DOI: 10.1016/j.intcom.2012.04.008.
- [Vor+02] Jeenal Vora y col. «Using virtual reality technology for aircraft visual inspection training: presence and comparison studies». En: *Applied Ergonomics* 33.6 (2002), pp. 559-570. ISSN: 00036870. DOI: 10.1016/S0003-6870(02)00039-X.
- [VTG13] Pedro G Villanueva, Ricardo Tesoriero y José A Gallud. «Revisiting the Concept of Distributed User Interfaces». En: *Distributed User Interfaces: Usability and Collaboration*. Ed. por María D Lozano y col. Human-Computer Interac-

tion Series. London: Springer London, 2013. Cap. Chapter 1, pp. 1-15. ISBN: 978-1-4471-5498-3. DOI: 10.1007/978-1-4471-5499-0{\\_}1.

- [Wal+14a] Julie Wall y col. «REVERIE: Natural human interaction in virtual immersive environments». English. En: *2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. IEEE, 2014, pp. 2165-2167. ISBN: 978-1-4799-5751-4. DOI: 10.1109/ICIP.2014.7025435.
- [Wal+14b] Julie Wall y col. «REVERIE: Natural human interaction in virtual immersive environments». English. En: *2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*. IEEE, 2014, pp. 2165-2167. ISBN: 978-1-4799-5751-4. DOI: 10.1109/ICIP.2014.7025435.
- [Wat+97] Richard C. Waters y col. «Diamond Park and Spline: Social virtual reality with 3D animation, spoken interaction, and runtime modifiability». En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 6.4 (1997), p. 461. ISSN: 10547460.
- [Wau15] Patrick Waurzyniak. «The CAD/CAM Challenge: Keeping the Complex Simple». En: *Manufacturing Engineering* 154.3 (2015), pp. 67-75.
- [WF03] D. Wormell y E. Foxlin. «Advancements in 3D interactive devices for virtual environments». En: *Proceedings of the workshop on Virtual environments 2003 - EGVE '03*. New York, New York, USA: ACM Press, 2003, pp. 47-56. ISBN: 3905673002. DOI: 10.1145/769953.769959.
- [Whi+05] M.C. Whitton y col. «Comparing VE locomotion interfaces». En: *IEEE Proceedings. VR 2005. Virtual Reality, 2005.* (2005), pp. 123-130. DOI: 10.1109/VR.2005.1492762.
- [WM02] S. Wesugi y Y. Miwa. «Co-actuated table creating a sense of co-presence in shared virtual environments». En: *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*. Vol. 2. IEEE, 2002, pp. 606-611. ISBN: 0-7803-7437-1. DOI: 10.1109/ICSMC.2002.1173481.
- [WS98] Bob G. Witmer y Michael J. Singer. «Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire». en. En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 7.3 (1998), pp. 225-240.

- [WW08] Rui Wang y Xiangyu Wang. «Here and there: Experiencing co-presence through mixed reality-mediated collaborative design system». En: *2008 8th IEEE International Conference on Computer and Information Technology*. IEEE, 2008, pp. 577-582. ISBN: 978-1-4244-2357-6. DOI: 10.1109/CIT.2008.4594739.
- [Yin13] Robert K. Yin. *Case Study Research: Design and Methods*. Fifth Edit. Sage Publications, Inc., 2013, p. 312. ISBN: 978-1452242569.
- [Yin81] Robert K. Yin. «The Case Study Crisis: Some Answers». En: *Administrative Science Quarterly* 26.1 (1981), pp. 58-65.
- [Zha03] Shanyang Zhao. «Toward a Taxonomy of Copresence». en. En: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 12.5 (2003), pp. 445-455. ISSN: 1054-7460. DOI: 10.1162/105474603322761261.
- [De +08] Andrea De Lucia y col. «SLMeeting: supporting collaborative work in Second Life». En: *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*. ACM, 2008, pp. 301-304. ISBN: 978-1-60558-141-5. DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1385569.1385618>.
- [LaV+01] J J LaViola Jr. y col. «Hands-free multi-scale navigation in virtual environments». En: *Proceedings of the 2001 symposium on Interactive 3D graphics SI3D 01*. 2001, pp. 9-15. ISBN: 1581132921. DOI: 10.1145/364338.364339.
- [Mar06] Piedad Cristina Martínez Carazo. *El método de estudio de caso: Estrategia metodológica de la investigación científica*. spa. 2006.

# Anexos

Como anexo a este documento se incluye el conjunto de publicaciones resultado de este trabajo de investigación. Se aclara que solo se incluye la primera página, debido a los derechos publicación otorgado a las editoriales. El texto completo de las publicaciones pueden ser descargadas de los sitios de publicación respectivos.

## Listado de publicaciones

- [Col+12] César A. Collazos y col. «Laboratory Experiments in CSCL Activities». English. En: ed. por Carina Gonzalez. IGI Global, 2012, pp. 222-240. ISBN: 9781466619876. DOI: 10.4018/978-1-4666-1987-6.
- [Jor+13] Vitor A. M. Jorge y col. «Interacting with Danger in an Immersive Environment: Issues on Cognitive Load and Risk Perception». En: *Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology - VRST '13*. New York, New York, USA: ACM Press, 2013, pp. 83-92. ISBN: 9781450323796. DOI: 10.1145/2503713.2503725.
- [Kra+12] H. F. Krammes y col. «Walk in Place Using a Balance Board Matrix». En: *Workshop of Works in Progress (WIP) in SIBGRAPI 2012 (XXV Conference on Graphics, Patterns and Images)*. 2012, pp. 59-60.
- [Oli+15] Victor A. de J. Oliveira y col. «Does vibrotactile intercommunication increase collaboration?» En: *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*. IEEE Computer Society Press, 2015, pp. 253-254. ISBN: 978-1-4799-1727-3. DOI: 10.1109/VR.2015.7223391.

- [Sar+13] Wilson J. Sarmiento y col. «Awareness of Other: Evaluating the Impact of Proximity Cues in Collaborative Tasks». En: *Virtual Reality (VR), 2013 IEEE*. Lake Buena Vista, FL, USA: IEEE Computer Society Press, 2013, pp. 63-64. DOI: LakeBuenaVista,FL.
- [Sar+14] Wilson J. Sarmiento y col. «Measuring the Collaboration Degree in Immersive 3D Collaborative Virtual Environments». En: *Collaborative Virtual Environments (3DCVE), 2014 International Workshop on . IEEE VR 2014*. Minneapolis, MN, USA: IEEE Computer Society Press, 2014, pp. 1-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/3DCVE.2014.7160931>.
- [SC12] Wilson J. Sarmiento y César A. Collazos. «CSCW Systems in Virtual Environments: A General Development Framework». En: *Creating, Connecting and Collaborating through Computing (C5), 2012 10th International Conference on*. Ed. por Hideyuki Takada. Playa Vista, CA, USA: IEEE Computer Society, 2012, pp. 15-22. DOI: 10.1109/C5.2012.17.
- [SC16] Wilson J. Sarmiento y César. A. Collazos. «Common-Awareness Artifacts, Conceptual Elements to Designing and Evaluating Collaboration in CVE». En: *Communications in Computer and Information Science* to appear (2016).

## CSCW systems in virtual environments: a general development framework

W. J. Sarmiento\*<sup>‡</sup> and César A. Collazos<sup>†</sup>

\**IDIS Research Group, Universidad del Cauca, wilsonj@unicauca.edu.co*

<sup>†</sup>*Full Professor, IDIS Research Group, Universidad del Cauca, ccollazo@unicauca.edu.co*

<sup>‡</sup>*Multimedia Research Group, Universidad Militar Nueva Granada, wilson.sarmiento@unimilitar.edu.co*

**Abstract**—Collaborative Virtual Environments (CVEs), defined as systems that allow performing some collaborative tasks in a virtual world, were proposed since 1990. From the beginning, these systems were developed as particular applications of Computer-Supported Cooperative Work (CSCW) in a virtual reality world, with specific restrictions on both collaborative work and technological (hardware and software) requirements. Therefore, design guidelines which could be applied to new developments have not been proposed. This paper presents a general framework for designing and developing CSCW systems in virtual 3D environments, which integrates new methodologies that provide clear and formal techniques to develop CSCW, interactive and 3D systems

**Keywords**-Virtual environments; groupware; framework and design methodology.

### I. INTRODUCTION

Technological development aims to supply computational tools for supporting tasks developed by humans. Clear examples of this fact are the Computer-Aided Design (CAD) systems, which provide tools to facilitate the work of designer, whilst they perform the creative labor. Similarly, Computer-Supported Cooperative Work (CSCW) systems provide computational tools that looking for supporting and facilitating the work group, i.e. tasks that are carried out cooperatively by various users.

Therefore, CSCW requires more than computational tools, because it requires understanding all aspects of the work group. Consequently, several areas such as psychology, sociology, organizational theory, among others are also involved in the CSCW research [1]. Research on these areas allow identify some key processes in the work group, which must be taking into account for developing CSCW systems: 1) Communication, between team members; 2) coordination, under a set of clear rules, and 3) information sharing in a democratic mode [1], [2]. Other important components in CSCW are the computational tools; they are the channels that allow the users working as a team for achieving a common goal. For doing so, special characteristics should be included in those computational tools, which are commonly called groupware or simply CSCW systems [1]. Therefore, the development of CSCW systems require to take into account the key processes of the work group, therefore,

firstable, it is necessary to define particular features of this process into a specific task or work [1].

It is known that observation is one of the most useful tools for characterizing any process done by a user, but, not any observation process could allow obtaining valid conclusions, formal and documented process is also required. In the particular case of working group, observing the group of people working and cooperating in a natural environment allows to identify mechanisms that facilitate to achieve the objectives of the cooperative tasks. To underline a text, to write footnotes, to draft some ideas, are some examples of those mechanisms. In CSCW systems these mechanisms are known as “sharing artifacts”, and could be implemented in two ways either attempting to reproduce a real context or proposing new mechanisms according to the used technology.

The sharing artifacts are used to facilitate the key processes of work group, and also used for achieving the main goal of the CSCW systems, as generating awareness in a cooperative task. The users must have awareness that are part of a team, consequently that their actions affect to others [1]. Also users must have awareness about how technological system mediates between them, by which it is possible to observe latency in the action of the other users, associated to communication channel restrictions [2]. Finally, the users must have awareness that they are executing a task and need information about the task activity [1].

However, technological restrictions are in some cases oppose to the cooperative work of users; for example, in a natural environment, communication process involve natural interaction between team members such as tacit and no verbal messages; coordination process includes monitoring the relevance of the participant feels (enthusiasm, compromise, etc.) and information sharing does not have time or physic space limitations, which must be done in the dinner or in the corridor.

The Collaborative Virtual Environments (CVE) has been proposed as an alternative for improving those aspects in CSCW systems. A CVE is a system that allows carrying out a cooperative task in a 3D virtual world, which provides the possibility of involve several aspects of a natural colla-

# Walk in Place Using a Balance Board Matrix

Hernandi Francisco Krammes Filho\*, W. J. Sarmiento<sup>†‡</sup>, Vitor Augusto Jorge\*, Cesar Collazos<sup>†</sup> and Luciana Nedel\*

\* Institute of Informatics, UFRGS, Porto Alegre, Brazil

<sup>†</sup> IDIS Research Group, University of Cauca, Popayán, Colombia

<sup>‡</sup> Multimedia Research Group, UMNG, Bogotá, Colombia

**Abstract**—The use of natural interfaces to navigate in 3D virtual environments is yet an open problem. The Nintendo Wii Balance Board is a commonly used interface to address the user locomotion in immersive virtual environments, but current Walk In Place metaphors that use this device require additional sensors to detect the locomotion direction. This work shows that it is possible to detect the displacement and direction using real-time signal analysis of the balance sensors. Our technique was tested with two devices, but it can be scaled to more devices. Preliminary tests show that our approach can be more natural and as robust as the state of art.

**Keywords**—Walk In Place; Navigation; Balance Board; Immersive Environments

## I. INTRODUCTION

Current locomotion techniques in virtual environments (VE) have focused on better interaction and immersion [1], [2]. Locomotion in VEs is an open problem because they may involve unrestricted spaces, whereas the actual simulation room has space limitations. The Walk In Place (WIP) metaphor allows a more natural interaction than other approaches where the person does not use proprioceptive movements to walk. Other proposals using Nintendo Wii Balance Board (WBB) as WIP presented by [3] and [4] already deal with some aspects of locomotion control. However, they restrict or do not embrace a more complete analysis of WBB signals to handle with the Rotation In Place (RIP).

We solve the problem of WIP and RIP processing the WBBs signals in real-time as gradient vector of the center of mass projected in the walking surface. We use a matrix of WBBs as input devices to generate a bigger walking surface. This allows the user to walk and turn in the VE using only their legs and no additional devices. The remainder of this paper is organized as follows. Section II presents the related work, Section III describes the proposal overview, followed by the preliminary results achieved and some final comments and on-going work in Section IV and `refsec:conclusions`, respectively.

## II. RELATED WORK

Research on taxonomies [5] split the input locomotion interfaces in real walking, with wide area tracker as in [6], [2], and device simulation walking (as WIP) and vehicle based approaches [5], [4], [7].

The active usage of the user body with real proprioceptive sensations strongly affects the presence in VEs [7]. Wells et al. [5] used a pressure sensor platform, called the Virtual Motion Controller, to detect the user changing his center of

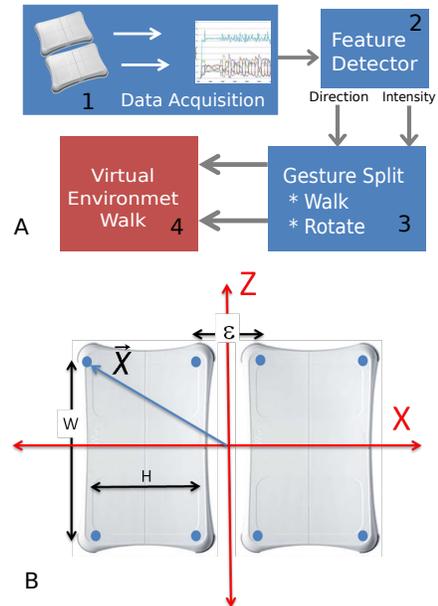


Fig. 1. (A) Processing pipeline. (B) WBB matrix used.

mass to some direction. Wang and Lindeman [3] use the same approach applied to the WBB. Williams et al. [4] use the user steps on the balance board to generate a signal that is interpreted as a displacement ratio. The RIP is obtained by an additional gyroscope at the user chest [3]. All these techniques manage to avoid the use of push buttons to control the locomotion, leaving the hands free for other uses, and providing increased immersion in VEs [5].

## III. PROPOSAL OVERVIEW

The proposed heuristic can detect the rotation (RIP) and displacement using one or more WBB signals, in order to solve the limitation of previous works (small surface and need of additional sensors). The processing pipeline is shown in Figure 1 (A).

We use the data captured with the WBB matrix to compute the user center of mass projected on the walking surface ( $\vec{C}$ ). The pattern of  $\vec{C}$  over time allows the recognition of complex user movements. Currently our work recognizes two types of movement: walking and rotation. The center of mass is a generalization of [3], ( $\vec{C}$ ), to a matrix of WBB as

$$\vec{C}(t) = \sum_{i=1}^M \vec{u}_i a_i(t) \quad (1)$$

# Chapter 10

## Laboratory Experiments in CSCL Activities

**César A. Collazos**

*Universidad del Cauca, Colombia*

**Luis A. Guerrero**

*Universidad de Costa Rica, Costa Rica*

**Jose A. Pino**

*Universidad de Chile, Chile*

**Flavia M. Santoro**

*Universidad do Rio de Janeiro, Brazil*

**Marcos Borges**

*Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil*

**Neide dos Santos**

*Universidad do Estado do Rio de Janeiro, Brazil*

**Sergio Zapata**

*Universidad Nacional de San Juan, Argentina*

**Wilson Sarmiento**

*Universidad Militar Nueva Granada, Colombia*

### ABSTRACT

*Several groupware tools have been implemented within Computer Supported Collaborative Learning (CSCL) research groups in order to test ideas and concepts currently being studied. It is very important to perform pilot-evaluations with these systems. The CSCW Lab is an environment for evaluating groupware within research groups. Four dimensions in assessing groupware were identified: context, collaboration, usability, and cultural impacts. In this chapter, the authors present a proposal to detail the collaboration level, specifically for CSCL domain applications. Understanding and analyzing the collaborative learning process requires a fine-grained sequential analysis of the group interaction in the context of learning goals. Several researchers in the area of cooperative work take as success criterion the quality of the group outcome. Nevertheless, recent findings are giving more importance to the quality of the “cooperation process” itself. The proposed model includes a set of guidelines to evaluate the usage of CSCL tools within a collaboration process defined along with the learning objectives. The authors have defined an experiment with a software tool instrumented to gather information that allowed them to verify the presence of a set of cooperation indicators, which in turn helped to determine the quality of the work process.*

DOI: 10.4018/978-1-4666-1987-6.ch010

# Awareness of Other: Evaluating the Impact of Proximity Cues in Collaborative Tasks

<sup>1</sup>Wilson J. Sarmiento\*   <sup>2</sup>Vitor Jorge†   <sup>2</sup>Anderson Maciel‡   <sup>2</sup>Luciana Nedel§   <sup>1</sup>César A. Collazos¶  
<sup>3</sup>Jackson Oliveira||   <sup>4</sup>Frederico Faria\*\*

<sup>1</sup>University of Cauca, Militar Nueva Granada University (UMNG), <sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), <sup>3</sup>AES Sul, <sup>4</sup>Nexo Art

## ABSTRACT

Collaboration in 3D environments has the main goal of attaining a high degree of teamwork by exposing the team to a suitable level of immersion. However, users within virtual environments have limitations to perceive the same stimuli of the real world. Particularly, the feeling of presence and nearness of the other is difficult to be generated in VR systems. This poster presents a work in progress that shows our current results on evaluating the impact of three different proximity cues for generating awareness of the presence of other. The design of each cue aims at independently stimulating the senses of sight, hearing and touch. The experiment design includes the comparison with a baseline condition in virtual environments where no specific stimulation is applied.

**Index Terms:** H.1.2. [User/Machine Systems]: Human factors—

## 1 INTRODUCTION

Collaborative Virtual Environments (CVE) have the main goal of attaining high degrees of teamwork by the working group while group members carry out individual or team tasks. Such systems use virtual reality techniques to take advantage of immersion in generating perceptual links between the a user and their task and between a user and their team [1]. CVEs integrate groupware capabilities with advantages of Virtual Environments (VE). The sense of awareness is indispensable in any workgroup because it provides the users with suitable mechanisms that cause the individual work to evolve in the group [2]. In a collaborative task, different kinds and levels of awareness can be necessary [3]. The senses of awareness are fundamental because they overcome constraints that are detrimental to the cooperative work, as technological limitations or problems related to the task [3].

The CVEs have the advantage that an awareness technique can be designed using metaphors near to reality. However, a problem of some CVE is to suppose that the immersion capabilities and natural metaphors are enough to generate appropriate level of awareness. It is known that the virtual reality techniques have limitations, some caused by hardware restriction and others because the virtual reality is a complex and still open research topic [1]. For this reason, it is necessary to design complementary cues in order to increase and to produce better sense of awareness in the users when they do a virtual collaborative task. In this direction, the main contribution of this paper is the combined design of three proximity cues that

generate proximity awareness. Each of them was designed to independently stimulate the senses of sight, hearing and touch. Also, this work in progress presents an experimental design to evaluate how the awareness cues influence in a particular collaborative task.

## 2 PROXIMITY CUES

In real world the sense of the presence of another person in the same place of oneself has three features. The first is the continuous stimulation. We can feel continuously that the other person is near ourself. The second is the distance dependence. Our sensation is more intense when the other is nearer, and it is null when the other is too far. The three features are directionally distinguishable, i.e., they allow us to determine the relative orientation of the other person. In our design we aimed at independently stimulating the senses of sight, hearing and touch.

The sight cue is the known strategy of a Heads Up Display (HUD) presenting a minimap of the user surroundings (top view). This view allows the user to see another person near of them and determine the relative distance and orientation. The HUD is placed in the bottom right corner for a minimal visual interference. The hearing cue is a wind sound source located in the relative position of the other user. This strategy is different of traditional steps sound because the wind sound plays continuously. In order to guarantee the features of distance dependence and directional distinguishability, the sound is 3D rendered with a relative position of the listener user. For the touch cue it was necessary to build a specific device, a vibration belt. The belt is an elastic belt with two mobile parts. Each part is equipped with three small vibration motors with a separation of 5 cm. The user wears the 6 motors belt and adjusts it so that the motors are placed at the right and left sides of their waist. The belt is connected to a microcontroller with basic software that allow the communication with PC by USB or Bluetooth. The touch proximity cue allows turning on the vibration motors independently. An active vibrator is related to a relative orientation of the partner user, and the vibration intensity depends of the relative distance between users. Figure 1a shows a user wearing the vibration belt. In (b) the dark areas that contain the motors are mobile to allow size adjustments; (c) is a detail showing the vibration motors.

All proximity cues are normalized in function of the distance for comparison. The maximum distance that allows a user to perceive stimuli corresponds to 5 m in the real world.

## 3 EXPERIMENT DESIGN

This work in progress presents an experiment design for evaluating three approaches to render proximity cues for awareness of other. The experiment expects to evaluate the impact of awareness approaches in the collaboration between two users in a synchronous task.

**System and Baseline condition.** The evaluation and comparison of proximity cues are carried out in two separate rooms with two identical setups, which allows two users to be immersed simultaneously in the VE. This system defines baseline condition in the evaluation. The figure 2(a) shows a general sketch of the system

\*e-mail: wilsonj@unicauca.edu.co

†e-mail: vamjorge@inf.ufrgs.br

‡e-mail: amaciel@inf.ufrgs.br

§e-mail: nedel@inf.ufrgs.br

¶e-mail: ccollazo@unicauca.edu.co

||e-mail: jackson.oliveira@aes.com.br

\*\*e-mail: fred@nexo.art.br

# Interacting with Danger in an Immersive Environment: Issues on Cognitive Load and Risk Perception

Vitor A. M. Jorge\*, Wilson J. Sarmiento<sup>†</sup>, Anderson Maciel\*, Luciana Nedel\*,  
César A. Collazos<sup>‡</sup>, Frederico Faria<sup>‡</sup>, Jackson Oliveira<sup>§</sup>  
Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Brazil\*  
IDIS Research Group, Universidad del Cauca – Colombia<sup>†</sup>  
nexo.art.br – Brazil<sup>‡</sup>  
AES Sul – Brazil<sup>§</sup>



**Figure 1:** Snapshots of the administrative scenario of the AES-risk simulator. Images (a) and (b) show two views of the courtyard, while images (c) and (d) show the offices and the kitchen. Red arrows on the floor indicate a path that should be followed by users. On image (c), an office chair (highlighted in red) was selected by the user because it is in the middle of a corridor. The user understood that the chair represents a risky situation.

## Abstract

Any human-computer interface imposes a certain level of cognitive load to the user task. Analogously, the task itself also imposes different levels of cognitive load. It is common sense in 3D user interfaces research that a higher number of degrees of freedom increases the interface cognitive load. If the cognitive load is significant, it might compromise the user performance and undermine the evaluation of user skills in a virtual environment. In this paper, we propose an assessment of two immersive VR interfaces with varying degrees of freedom in two VR tasks: risk perception and basic object selection. We examine the effectiveness of both interfaces in these two different tasks. Results show that the number of degrees of freedom does not significantly affect a basic selection task, but it affects risk perception task in an unexpected way.

**CR Categories:** H.5.2. [Information Interfaces and Presentation (e.g. HCI): User Interfaces— [I.6.3.]: Simulation and Modeling— Applications;

**Keywords:** Virtual Reality, 3D Interaction, Risk Perception, Presence

\*e-mails: {vamjorge, amaciel, nedel}@inf.ufrgs.br

<sup>†</sup>e-mails: {wilsonj, ccollazo}@unicauca.edu.co

<sup>‡</sup>email: frederico@nexo.art.br

<sup>§</sup>email: jackson.oliveira@aes.com

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for components of this work owned by others than ACM must be honored. Abstracting with credit is permitted. To copy otherwise, to republish, to post on servers, or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee. Request permissions from [permissions@acm.org](mailto:permissions@acm.org).  
VRST 2013, October 6–9, 2013, Singapore.  
Copyright © ACM 978-1-4503-2379-6/13/10 \$15.00

## 1 Introduction

Risk perception is the ability of a human being to identify, using their natural senses, conditions that might compromise their health and integrity. In this context, when one deals with prevention of accidents in working environments, it is imperative to evaluate risk perception of the working personnel. Risks are present even when the workers are walking towards their desk in the office or walking back to their car in the parking lot to go home. However, in most cases risk perception is a secondary task – although not least important – accomplished simultaneously with the execution of the main task. In a VR simulator users still have to deal with a third source of cognitive load: the user interface. A VR simulator can become an effective tool to measure risk perception since it provides the ideally safe environment to expose people to danger. In this context, a broad study on the interface associated with the cognitive load of the task becomes relevant.

The literature provides several examples of applications that use Virtual Reality (VR) to teach professionals to understand risks in a safe and effective way (see Section 3). However, the evaluation process using VR is still not universal. Written exams, practice tests in simulated physical environments, etc. are also deemed not effective. Unfortunately, learning on the job is often not an option since it exposes unprepared personnel to actual dangers. Accident rate, sadly, remains the most reliable assessment parameter. This is mostly due to technology limitations, leading to the failure to represent the world with similar sensory details. This is mostly due to technology limitations, leading to the failure to represent the world with similar sensory details. This may lead the user to have to problems to interpret the virtual stimuli what, consequently, impairs the user performance and evaluation in the VE. Examples of VR limitations are: the restricted field of view of the head mounted displays (HMD), and the overhead generated by interaction strategies used for locomotion, instead of natural walking (still very difficult to

# Measuring the Collaboration Degree in Immersive 3D Collaborative Virtual Environments

W. J. Sarmiento\*<sup>†</sup>  
Universidad del Cauca, Colombia  
Universidad Militar Nueva Granada, Colombia

Anderson Maciel, Luciana Nedel<sup>‡</sup>  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul,  
Brazil

César A. Collazos\*  
Universidad del Cauca, Colombia

## ABSTRACT

Collaborative virtual environments (CVE) are usually evaluated according to the following aspects: cohesion between team members, implicit communication, and task performance. The degree of user awareness is another important aspect that deserves attention, especially when the CVE is 3D and immersive. 3DCVEs have the main goal of attaining a high degree of teamwork by exposing the team members to a suitable level of immersion that normally involves the stimulus of more than one sense, normally vision, hearing and touch. In this work, we present and discuss a new approach to measure the collaboration degree in immersive 3DCVEs. User awareness is measured by monitoring the use of the interaction and visualization schemes provided by the VE from different points of view, such as self awareness in a collaborative team, awareness of the other, and awareness of the work group. We conducted a case study where two users simultaneously immersed in the same VE were invited to walk together, assuming different roles. One user was invited to guide his colleague and, afterwards, the roles were swapped to guarantee equal participation, individual responsibility and positive interdependence, which are all mandatory features in a collaborative task.

**Index Terms:** H.5.1 [Information Interface and Presentation]: Multimedia Information Systems—Artificial, augmented, and virtual realities; H.5.3 [Information Interface and Presentation]: Group and Organization Interfaces—Evaluation/methodology

## 1 INTRODUCTION

Collaboration in a VE is complex and requires suitable interaction artifacts and sufficient level of immersion. Churchill and Snowden define the characteristics of collaboration in a CVE [5]. The first one corresponds to the *transitions between shared and individual activities*, which is related to the process through which an individual work evolves into collaborative work. The second characteristic corresponds to *multiple and flexible viewpoints*, and defines how the work in a CVE must allow the users to change their view of the world in accordance with the state of the work or the necessity to share their viewpoint with a partner. The characteristic of *shared context* is related with the place where the collaborative work is done, i.e., the virtual world. The virtual world must support the work, allowing an overview of the task and shared interaction. The *awareness of the other* defines the importance of the feeling of presence and co-presence. The last characteristic is *negotiation and communication*. A VE must provide suitable channels for communication, including implicit and non verbal communication. However, anyone evaluating a CVE in current literature focuses on evaluating the collaboration itself. Despite their fundamental role in collaboration, 3D interaction, immersion and user awareness are

generally treated as separated issues. In this paper we propose an approach to evaluate collaboration in CVEs, where all these three crucial elements of the interface are taken into account together. The remainder of this paper is organized as follows. In Section 2 we present a selection of related works. In Section 3 we introduce the fundamental concepts that support the proposal. The general aspects of our proposal are presented in Section 4. Section 5 shows a practical case study and Section 6 presents some final comments.

## 2 RELATED WORKS

The evaluation of CVEs has its start point in the evaluation of VE. Bowman et al. [3] proposed the use of a testbed evaluation for interaction at VE. This is a fundamental work where the authors define five steps in the evaluation: the definition of a taxonomy for the techniques to evaluate; the specification of the metrics to be used; the identification of the factors that affect the performance; the testbed; and the analysis of the results. Other important work is a proposal of using the concept of “user centered” in the evaluation and design of VE interaction, this is a proposal of Gabbard et al. [7] that include four stages in the evaluation: user task analysis, expert guidelines-based evaluation, formative user center evaluation, and summary comparative evaluation. Schroeder et al. [17] show an evaluation of a collaborative task in a VE, solving a Rubik cube between two users. They compared three different situations: real face to face, one user in a desktop and the other in a CAVE, and both users in separated CAVEs. The evaluation focused in the team performance and sense of presence and co-presence and involved a concise questionnaire for evaluation. Gerhard et al. [8] evaluated how the avatar appearance affects the co-presence sense in a CVE. The work included a complete presence and co-presence subjective test. Goebels et al. [10, 9] present their experience in the design and evaluation of CVEs. They show a evaluation of three stages based in the model of Gabbard et al. The first step is an usability session where an expert user looks for interaction problems. The second stage is a co-presence session, where the expert user only supervises and guides the work of a novice user. The last evaluation session is a co-work session where the two users work together. All the evaluation is based on a formal observation of experts, using formative and subjective tests. Dang et al. [6] present a framework to design and evaluate a CVE. They define a cycle of development that includes two stages of evaluation: the design of a collaborative interaction protocol, and a usability inspection. Hrimch and Merienne [13] define another method for evaluating 3D interaction in CVEs. They identified three factors for a system evaluation: co-presence, involvement/awareness, and collaborative effort applied to the 3D interaction functions. The factors are evaluated with a set of metrics acquired by user observation, monitoring system, and subjective questionnaire. Afterwards, Hrimch et al. [12] presents an evaluation of how the interaction metaphors affect the user experience in a CVE using the similar method proposed in [13].

## 3 FUNDAMENTALS

This section explains two concepts defined in computer supported cooperative work (CSCW) to understand the collaboration which are the core of this proposal.

\*e-mail: {wilsonj,ccollazo}@unicauca.edu.co

<sup>†</sup>e-mail: wilson.sarmiento@unimilitar.edu.co

<sup>‡</sup>e-mail:{amaciel, nedel}@inf.ufrgs.br

# Does Vibrotactile Intercommunication Increase Collaboration?

Victor A. de J. Oliveira\*

Wilson J. Sarmiento †‡

Anderson Maciel \*

Luciana Nedel \*

César A. Collazos †

\* Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Porto Alegre, Brazil

† Universidad del Cauca  
Popayán, Colombia

‡ Universidad Militar Nueva Granada (UMNG)  
Bogotá, Colombia

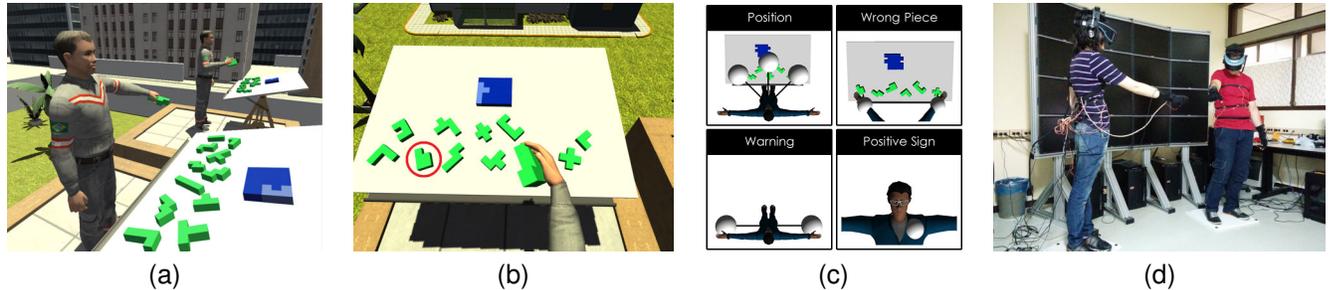


Figure 1: System illustration. (a) Third person view of the two users' avatar. While the nearest user grabs a piece, the farthest tries a piece swapping. (b) First person view showing how the farthest user in (a) grabs a piece. (c) Illustration of our four words vibrotactile vocabulary. The figure also illustrates the body points where the user touches to send or feel the vibrotactile stimuli. (d) The system being used.

## ABSTRACT

Communication is a fundamental process in collaborative work. In natural conditions, communication between team members is multimodal. This allows for redundancy, adaptation to different contexts, and different levels of focus. In collaborative virtual environments, however, hardware limitations and lack of appropriate interaction metaphors reduce the amount of collaboration. In this poster, we propose the design and use of a vibrotactile language to improve user intercommunication in CVE and, consequently, to increase the amount of effective collaboration.

**Index Terms:** H.5.1 [Information Interface and Presentation]: Multimedia Information Systems—Artificial, augmented, and virtual realities; H.5.2 [Information Interfaces & Presentation]: User Interfaces—Haptic I/O;

## 1 INTRODUCTION

Collaborative Virtual Environments (CVE) are systems designed for a group of users to carry out tasks collaboratively in a Virtual Environment (VE). Collaboration *per se* is a complex activity, as it is highly dependent of human factors. For this reason, any CVE must provide tools to favour key collaboration processes, i.e., communication, information sharing and coordination.

Even when collaboration mechanisms are available, users may not collaborate. If they believe that more effort is required to make the task collaboratively than individually, they will choose the individualism. Therefore, it is necessary to measure the amount of collaboration that takes place during the task execution. One important aspect in metrics used to evaluate collaboration degree is that when communication is high the collaboration degree also increases.

In CVE systems, communication is generally performed verbally, although many authors highlight the importance of generat-

ing a complete communication experience that includes gestures, no tacit messages and implicit information [2]. Such elements could bring communication in a CVE closer to the natural conditions. Meanwhile, tactile stimuli have been used in VE mainly as a channel for rendering supplemental information when vision and hearing are unavailable or overloaded. In this poster, we suggest the use of a vibrotactile vocabulary, with a number of tactile symbols, that can be proactively generated for intercommunication between members of a collaborative team. We present the statement of the problem, the design of a specific vocabulary, and our first observations about the preliminary results achieved.

## 2 ILLUSTRATIONAL SCENARIO

In this section, we present an imaginary scenario that is necessary to discuss some of the ideas we propose in this poster.

### Collaborative Task

Suppose a team of two users, *A* and *B*, who are invited to assemble a puzzle of 12 pieces. The puzzle is split in two parts, each with half of the pieces. Each user must assemble the puzzle on a table placed in front of them. However, user *A* does not have access to the pieces she needs. Those are only accessible to the user *B*, who must hand them to the user *A*. The same occurs with the user *B*, who needs his pieces to be handed by the user *A*. A template of the respective half-puzzle is placed at the top of each user table. A shaded area depicting the next piece needed by the user twinkles on their respective template. A set of 12 pieces is presented to each user at the bottom of the table. From those, six pieces are the ones required by the other user while the other six pieces are there to increase the cognitive load of the task. Fig. a and b show two views of the task where the avatar positions, puzzle template and pieces can be seen. The users stand and are not allowed to walk. They use arms and head natural movements to grasp and hand objects, and to look around.

This task design accomplishes three characteristics of a collaborative task, i.e., equal participation, individual responsibility and positive interdependence.

### Physical or Virtual Environment

While the task could be easily implemented on a physical setup, there are advantages of implementing it in a VE. The main advan-

\*e-mail: {vajoliveira,amaciel,nedel}@inf.ufrgs.br

†e-mail: {wilsonj,ccollazo}@unicauca.edu.co

# Common-Awareness Artifacts

## Conceptual Elements to Designing and Evaluating Collaboration in CVE

Wilson J. Sarmiento<sup>1,2</sup> and César A. Collazos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Multimedia Research Group, Military Nueva Granada University, Colombia.

<sup>2</sup> IDIS Research Group, University of Cauca, Colombia \*

**Abstract.** This paper present the common-awareness artifacts, interaction elements that support the activities of workspace awareness. These artifacts are tools to design and evaluation of interaction and immersion components of a CVE, through a set of ten guideline/indicators. A case study shows how to design and evaluate a common-awareness artifact using the guidelines and indicators. The guidelines allowed building a suitable component to support a collaborative navigation activity in a CVE. A test with user provided that quantitative metrics of indicators may found the difference between two collaborative conditions.

## 1 Introduction

Collaborative Virtual Environments (CVE) are systems that allow a team work in a common task inside a virtual world. The main goal of these systems is to provide an optimal integration of two kind of systems, collaborative software (groupware) and multi-user virtual reality (VR) environments [1]. This implies challenges in how to design, build and evaluate a CVE, where the collaboration must be the center of attention; and the immersion and interaction elements are the way to generate a suitable team cohesion [1]. Collaboration is a complex activity that involves many key processes such as communication, information sharing, coordination, negotiation, and awareness i.e. a high-level process related to the ability to recognize a surrounding reality, e.g. objects, events, task or another person.

When a user interacts in a virtual environment (VE), several awareness levels can be observed. So, He/She must be able of to recognize technological elements that mediate all interaction, must feel that is in a VE and forget the real world (presence), must perceive his/her partners, must be part of a team (co-presence), must have aware that he/she is executing a task, and it is part of collaborative work [5]. However, most of the awareness models in CVEs are only oriented to physical interaction between a user and other elements in the VE, included other users [5]. Therefore, they leave outside the other aspects of awareness.

---

\* Thanks are due VRI and IPET of Cauca University of University, Colombia. Wilson J. Sarmiento is supported by the Military Nueva Granada University, Colombia. We finally thank to test team formed by students of University of Cauca.



