

# Telepresencia Aplicada a la Educación Superior Informe Final

Helmuth Trefftz  
htrefftz@eafit.edu.co

Claudia Zea  
czea@eafit.edu.co

Edwin Montoya  
emontoya@eafit.edu.co

Juliana Restrepo  
jrestre@eafit.edu.co

Lina Escobar  
lescoba5@eafit.edu.co

Andrés Agudelo  
aagudel6@eafit.edu.co

Universidad EAFIT  
Departamento de Informática y Sistemas  
Laboratorio de Realidad Virtual  
Mayo 31 del 2004



# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2. Fundamentación</b>	<b>7</b>
2.1. Marco Teórico Pedagógico - Enseñanza para la Comprensión . . . . .	7
2.2. Estado del Arte - Perspectiva Pedagógica . . . . .	7
2.2.1. Sistemas educativos y uso de nuevas tecnologías . . . . .	10
2.3. Marco Conceptual Técnico . . . . .	11
2.3.1. Ambientes Virtuales . . . . .	12
2.3.2. Ambientes Virtuales Distribuidos . . . . .	13
2.3.3. Aplicaciones Multimedia Distribuidas . . . . .	15
2.3.4. Trabajo Relacionado . . . . .	21
<b>3. Metodología</b>	<b>25</b>
3.1. Metodología - Perspectiva técnica . . . . .	25
3.1.1. Diagramas UML . . . . .	26
3.1.2. Estándares de Programación . . . . .	26
3.2. Metodología - Perspectiva pedagógica . . . . .	27
3.2.1. Investigación Pedagógica . . . . .	27
3.2.2. Observaciones durante la experiencia . . . . .	28
<b>4. Productos</b>	<b>31</b>
4.1. Productos - Perspectiva Pedagógica . . . . .	31
4.1.1. Curso de Computación Gráfica . . . . .	31
4.1.2. Curso de Electricidad y Magentismo . . . . .	32
4.2. Plataforma Telepresencia . . . . .	33
4.2.1. Arquitectura General . . . . .	34
4.2.2. Protocolos de comunicaciones . . . . .	38
4.3. Contenidos de los cursos en la plataforma de Telepresencia . . . . .	41
4.3.1. Contenidos de Computación Gráfica . . . . .	41
4.3.2. Contenidos de Física: Electricidad y Magnetismo . . . . .	44
<b>5. Resultados</b>	<b>57</b>
5.1. Resultados Pedagógicos . . . . .	57
5.1.1. Resultados – Curso de Computación Gráfica . . . . .	60
5.1.2. Resultados – Curso de Electricidad y Magnetismo . . . . .	65
5.2. Perfil del Instructor . . . . .	66
5.3. Resultados Técnicos . . . . .	68
5.3.1. Descripción del experimento . . . . .	68
5.3.2. Realización de Pruebas . . . . .	69
5.3.3. Análisis de Resultados . . . . .	69

<b>6. Conclusiones</b>	<b>73</b>
<b>7. Lecciones Aprendidas</b>	<b>75</b>
7.1. Logística y dispositivos . . . . .	75
7.2. El docente . . . . .	75
7.3. Los contenidos . . . . .	76
7.4. Los estudiantes . . . . .	76
<b>8. Trabajo Futuro</b>	<b>77</b>
8.1. Ancho de banda reducido . . . . .	77
8.2. Calidad de Servicio . . . . .	77
8.3. Presencialidad versus uso de la plataforma . . . . .	77
8.4. Intefaz Hombre-Máquina . . . . .	78
8.5. Convertir la herramienta en un producto . . . . .	78
8.6. Múltiples puntos de conexión para alumnos . . . . .	78
<b>A. Matrices Rubrics</b>	<b>79</b>
A.1. Curso Computación Gráfica . . . . .	79
A.2. Curso de Electricidad y Magnetismo . . . . .	79

# Índice de figuras

1.1. Diagrama Resumen . . . . .	4
2.1. Mundo virtual inmersivo vs. no-inmersivo . . . . .	12
2.2. Tecnologías relacionadas con multimedia . . . . .	16
2.3. Usuarios inmersos en un mundo virtual de AVALON . . . . .	22
2.4. Un usuario trata de observar información textual . . . . .	23
2.5. Tres avatares de usuarios se encuentran en AVALON . . . . .	23
3.1. Configuración del espacio de trabajo del profesor . . . . .	29
3.2. Configuración del espacio de trabajo de los estudiantes . . . . .	30
4.1. Ambiente Multimedia . . . . .	34
4.2. Ambiente de Diapositivas . . . . .	35
4.3. Sensor de Posición Electromagnético . . . . .	35
4.4. Módulo de Realidad Virtual . . . . .	36
4.5. Herramienta Telepresencia, con el panel de Realidad Virtual activo . . . . .	37
4.6. Arquitectura General del Sistema . . . . .	37
4.7. Arquitectura Detallada . . . . .	38
4.8. Arquitectura Multimedia del Sistema . . . . .	38
4.9. Diagrama UML para el modulo de Multimedia . . . . .	39
4.10. Diagrama de Clases . . . . .	48
4.11. Diagrama de secuencia . . . . .	49
4.12. Segmento paramétrico de la recta . . . . .	50
4.13. Puntos, líneas y Polígonos . . . . .	50
4.14. Curva de Bezier . . . . .	50
4.15. Superficie de Bezier . . . . .	51
4.16. Descripción de Objetos . . . . .	51
4.17. Transformaciones - Posición inicial . . . . .	51
4.18. Transformaciones - Después de Transformar . . . . .	51
4.19. Iluminación y Materiales . . . . .	52
4.20. Texturas . . . . .	52
4.21. Radiosidad . . . . .	53
4.22. Ley de Coulomb . . . . .	53
4.23. Transferencia de Carga . . . . .	54
4.24. Líneas de Campo Eléctrico . . . . .	54
4.25. Movimiento de partículas cargadas en un campo uniforme . . . . .	55
4.26. Ley de Gauss . . . . .	55
5.1. Grupo Experimental - Computación Gráfica . . . . .	62
5.2. Grupo Control - Computación Gráfica . . . . .	63

5.3. Curso de Electricidad y Mangetismo: Niveles de comprensión alcanzados por el grupo experimental . . . . .	66
5.4. Curso de Electricidad y Mangetismo: Niveles de comprensión alcanzados por el grupo de control . . . . .	67
5.5. Ambiente de Pruebas . . . . .	68
5.6. Tráfico total de audio y video entre profesor y alumnos a diferentes anchos de banda. .	70
5.7. Tráfico de audio entre profesor y alumno . . . . .	70
5.8. Tráfico de video entre profesor y alumno . . . . .	70
5.9. Datos resumidos del trafico de audio y video entre profesor y estudiante . . . . .	71

# Índice de cuadros

1.	Equipo humano que trabajó en el proyecto . . . . .	IX
3.1.	Extensiones de los archivos . . . . .	26
4.1.	Requerimientos de Ancho Banda . . . . .	36
4.2.	Formato Mensaje . . . . .	40
5.1.	Dimensiones de comprensión de cada pregunta de la matriz de evaluación . . . . .	58
5.2.	Valor numérico asignado a cada nivel de comprensión . . . . .	58
5.3.	Curso de Computación Gráfica (2004–1): Niveles de comprensión en cada dimensión para cada estudiante . . . . .	61
5.4.	Nivel de comprensión asignado a los rangos de valores promedios . . . . .	61
5.5.	Curso de Electricidad y Magnetismo. Niveles de comprensión en cada dimensión para cada estudiante . . . . .	65
5.6.	Convenciones . . . . .	71
A.1.	Rubrics Computación Gráfica 1 . . . . .	80
A.2.	Rubrics Computación Gráfica 2 . . . . .	80
A.3.	Rubrics Computación Gráfica 3 . . . . .	81
A.4.	Rubrics Electricidad y Magnetismo 1 . . . . .	81
A.5.	Rubrics Electricidad y Magnetismo 2 . . . . .	82
A.6.	Rubrics Electricidad y Magnetismo 3 . . . . .	82



# Presentación

Este documento es el informe final del proyecto *Telepresencia Aplicada a la Educación Superior*, llevado a cabo entre marzo del 2003 y abril del 2004 por parte del *Grupo de Realidad Virtual* de la Universidad EAFIT.

Para la ejecución del proyecto se contó con el apoyo financiero de Colciencias-Cintel (contrato C.C.C. 012-02) y la universidad Eafit. El apoyo de Colciencias se recibió por parte del consejo *ETI* (Electrónica, Telecomunicaciones e Informática).

Como parte del proyecto se creó una herramienta de telepresencia para apoyar procesos de enseñanza-aprendizaje a distancia. Para probar la validez pedagógica de la herramienta, se utilizó en varios cursos de la universidad Eafit con buenos resultados. Este informe describe el proyecto, los productos y los resultados obtenidos, tanto desde la perspectiva técnica como la pedagógica.

El cuadro 1 enumera los participantes del grupo de trabajo que llevaron el proyecto a feliz término.

Juliana Restrepo	Co-investigador, Coordinadora Área Pedagógica
Claudia María Zea	Co-investigador, Área Pedagógica
Edwin Montoya	Co-investigador, Área Técnica
Oscar Meneses	Profesor del curso de Electricidad y Magnetismo
Elizabeth Rendón	Estudiante de Maestría, Área Técnica
Lina María Escobar	Estudiante de Pregrado, Área Técnica
Andres Quiroz	Estudiante de Pregrado, Área Técnica
Andres Agudelo	Estudiante de Pregrado, Área Técnica
Helmuth Trefftz	Investigador Principal, Profesor del curso de Computación Gráfica

Cuadro 1: Equipo humano que trabajó en el proyecto



# Capítulo 1

## Introducción

Entre 1997 y 1999 se desarrolló en la Univesidad Eafit, con apoyo de COLCIENCIAS, el proyecto “Ambientes Virtuales Colaborativos aplicados a la Educación Superior” [TCG<sup>+</sup>97]. El objetivo del proyecto era explorar el uso de Ambientes Virtuales Colaborativos como herramienta de apoyo para procesos de Enseñanza-Aprendizaje de nivel universitario. El proyecto se construyó en tres etapas, en las cuales se avanzó desde una herramienta de comunicación texto (tipo *chat*) hasta un entorno de realidad virtual en la cual cada participante tenía una representación tridimensional (avatar). El software creado en el proyecto se bautizó como ÁVALON. Los usuarios podían recorrer virtualmente los diferentes mundos que se crearon y cada participante podía observar la posición y los movimientos de los otros participantes (o más precisamente sus avatares). Adicionalmente, los usuarios se podían comunicar utilizando su voz, usando lo que hoy en día se llama “voz sobre IP”. ÁVALON se utilizó en un curso de Educación Ambiental en la universidad EAFIT. Los mundos que se crearon eran significativos dentro del contexto de los contenidos del curso. En uno de los contenidos, por ejemplo, los participantes podían recorrer un mundo submarino en el cual el coral estaba muerto. En este ambiente había poca fauna y flora. A manera de contraste, los usuarios podían después recorrer el mismo entorno en el cual el coral estaba vivo. La flora y fauna en este ambiente era diversa y abundante.

El proyecto fué bastante avanzado en su momento. Después de la culminación del proyecto, aparecieron herramientas como *Active Worlds*. Esta herramienta permite tambien que los usuarios, representados mediante avatares, exploren espacios virtuales compartidos con fines de diversión o educación. De manera más reciente, en la conferencia de Realidad Virtual de la IEEE del 2003 se reporta la creación de la aplicación “*MUVEES*” [CYL03], la cual tiene básicamente la misma funcionalidad de AVALON

Pero tal vez el éxito del proyecto, más que en la parte técnica, se debió a la evaluación pedagógica que se hizo del mismo. Utilizando como marco teórico la Enseñanza para la Comprensión, [Bly98] se llevó a cabo una experiencia en la cual se compararon los niveles de comprensión alcanzados por un grupo de estudiantes que utilizaron la herramienta como parte de sus clases con los de un grupo de estudiantes que no utilizaron la herramienta. Al final de la experiencia se encontró de esta manera que la herramienta si potenciaba la comprensión en los estudiantes.

En el 2002, luego de que uno de los participantes del grupo terminara su doctorado en Realidad Virtual, propusimos el proyecto objeto de este informe.

Quisimos retomar varios elementos exitosos del proyecto anterior, tales como el uso de la Realidad Virtual y el uso de la voz, y corregir ciertas limitaciones que observamos en AVALON.

En AVALON, por ejemplo, como los participantes solamente podían ver los avatares de los demás, fué necesario agregar unas representaciones gráficas sobre las cabezas de los personajes para suplir la comunicación no verbal que estaba ausente. Para superar esta limitación, decidimos crear un vínculo de audio y vídeo bidireccional que permitiera la comunicación verbal y gestual entre el instructor y los alumnos.

Adicionalmente, para compartir presentaciones en AVALON se utilizaba un muro virtual sobre el cual

el profesor podía proyectar virtualmente su presentación. Sin embargo, no había garantía de que los estudiantes si estuvieran viendo la presentación, en lugar de recorrer el mundo. Para este proyecto decidimos entonces permitir al instructor mostrarle a los alumnos una presentación estilo *PowerPoint*. A medida que el profesor desde su computador controla la presentación que ven los alumnos.

Por otro lado, era necesario replantear los objetivos en términos de las nuevas tecnologías disponibles, tales como computadoras con capacidades gráficas muy superiores y la disponibilidad creciente de comunicaciones por Internet con buen ancho de banda.

La propuesta que tomó forma fué la de una herramienta en la cual se pudiera combinar multimedia, en la forma de audio y video entre el instructor y los estudiantes, con un entorno virtual en el cual los participantes pudieran llevar a cabo interacciones que permitieran incrementar la comprensión de los conceptos a tratar. Utilizando este tipo de herramientas, el instructor tiene una comunicación sincrónica con los estudiantes: el audio y el video proveen una forma muy natural de comunicación (permitiendo de esta manera la comunicacion no verbal) y el entorno virtual compartido permite la creación y manipulación de objetos virtuales pertinentes para el concepto a explicar. En el capítulo 4 se describe en detalle cada parte de la herramienta creada.

El objetivo del proyecto, tal como se planteó en la propuesta original, es:

“Construir y evaluar una herramienta de trabajo colaborativo sincrónico que permita integrar Multimedia (audio y video) y Realidad Virtual como soporte a procesos de educación a distancia.”

Relacionado con este objetivo, nos planteamos dos preguntas de investigación una en lo pedagógico y una en lo técnico, expresadas de la siguiente manera:

1. *En lo técnico:* ¿Cuáles son los retos técnicos (y cuáles son las soluciones disponibles con las limitaciones tecnológicas actuales) que aparecen cuando se integran, multimedia (audio y video) y realidad virtual colaborativa, en una herramienta para trabajo colaborativo mediado por el computador?
2. *En lo pedagógico:* ¿Cómo se comparan los niveles de comprensión alcanzados por los alumnos en un proceso de enseñanza-aprendizaje a distancia utilizando la herramienta desarrollada con los niveles de comprensión alcanzados por los alumnos involucrados en un proceso de aprendizaje presencial?

En la sección 5 se describen los resultados alcanzados, tanto desde la perspectiva tecnológica como desde la perspectiva pedagógica, para responder a las preguntas de investigación.

Quisimos además utilizar herramientas computacionales de bajo costo, pensando en una eventual diseminación de la herramienta en la región. Consideramos que la herramienta que hemos construido puede ser útil para mejorar la calidad y el cubrimiento de la educación en países como Colombia, donde la concentración de la riqueza y la infraestructura en las grandes urbes generan una educación con calidad cuestionable en las provincias. En posteriores etapas buscaremos convertir la herramienta desarrollada en un producto que se pueda descargar de Internet para ser utilizada por diferentes instituciones educativas.

Es importante anotar que el objetivo de este proyecto es aplicar las tecnologías mencionadas a la *Educación*, en contraposición al *Entrenamiento*. Las aplicaciones de la Realidad Virtual en el entrenamiento son tan antiguas como los simuladores de vuelo. En este tipo de aplicaciones, el usuario se sumerge en un entorno que le permite practicar las destrezas requeridas para una actividad, tal como pilotear un avion, conducir un vehículo de maquinaria pesada, etc. En aplicaciones de educación, es necesario ir más allá. Lo que se busca, como en todo proceso de enseñanza-aprendizaje, es propiciar un incremento en la comprensión profunda por parte del estudiante. Hemos encontrado de nuevo, al hacer este proyecto, que la propuesta de la *Enseñanza para la Comprension* forma una combinación excelente con las nuevas tecnologías cuando se trata de procesos de enseñanza-aprendizaje. En el capítulo 3 se describe, en detalle, cómo se aplicó esta propuesta educativa en el proyecto.

Es importante también hacer una aclaración de términos. Cuando se habla de Educación a Distancia, en general se entiende un proceso en el cual el instructor pone el material a disposición del alumno. El estudiante estudia el material en el horario que más le conviene y se realiza alguna forma de evaluación de su proceso de aprendizaje. Hoy en día se utilizan típicamente páginas web para publicar el material y correo electrónico o foros como forma de comunicación entre el instructor y los estudiantes. La comunicación en este tipo de procesos es *asíncrona*. Esto es, el instructor y el alumno no acceden simultáneamente al medio de comunicación. Hay una distancia temporal de horas o días entre las preguntas y las respuestas. Educación a distancia, entendida de esta manera, implica distancia física y distancia temporal. La razón de ser de la distancia temporal (y por lo tanto lo asíncrono de este proceso) es, en parte, la conveniencia de que el alumno pueda escoger en qué momento revisa el material; no es necesariamente el mismo momento en que el profesor lo pone a su disposición. Pero por otro lado, existe una razón de ser técnica: Los recursos computacionales y los requerimientos de ancho de banda de las herramientas síncronas son considerablemente más altos que los de las herramientas asíncronas. En años recientes, alrededor del año 2000, el poder computacional y el ancho de banda necesarios se han vuelto mucho más disponibles, posibilitando el acceso a herramientas sincrónicas a muchas más personas y organizaciones.

La figura 1.1 resume las entidades involucradas en el desarrollo del proyecto y sus relaciones. El ambiente virtual de aprendizaje diseñado para este proyecto es un espacio donde las nuevas tecnologías tales como las redes, la multimedia, y la realidad virtual, entre otras, se han potencializado buscando rebasar al entorno de aprendizaje tradicional. Este ambiente de aprendizaje, diseñado con el enfoque de Enseñanza para la Comprensión, pretende favorecer la adquisición de conocimiento y la apropiación de contenidos, experiencias y procesos pedagógico-comunicacionales.

El ambiente de aprendizaje propuesto está conformado por el estudiante, el docente, el curso con sus contenidos educativos y herramienta o plataforma que integra y administra los distintos medios de información y comunicación como la videoconferencia, las diapositivas y los módulos de realidad virtual. Cada uno de estos componentes se detalla en los productos obtenidos con el desarrollo del proyecto.

La herramienta que hemos creado apoya procesos a distancia, ya que el instructor y los estudiantes pueden estar físicamente en lugares separados. La diferencia con la educación a distancia tradicional es que el instructor y los estudiantes *sí* acceden el medio de comunicación al mismo tiempo. El video, el audio, las presentaciones y el entorno virtual colaborativo permiten la interacción bi-direccional y simultánea entre el instructor y los alumnos. De allí el nombre *Telepresencia*, ya que se logra, en cierta manera, que el profesor esté “presente” en el aula donde están los alumnos, así físicamente se encuentre en otro lugar.

El audio y video bidireccionales permiten la comunicación verbal y no-verbal, tan importante en el aula de clase. Adicionalmente, en cierto tipo de cursos, es de gran utilidad pedagógica que el instructor y los estudiantes puedan observar, compartir y manipular objetos que permitan aclarar los conceptos que se trabajan en el aula. En el caso de un curso de arquitectura; el objeto sería una maqueta, por ejemplo. En el caso de un curso de anatomía; un cadáver o un modelo biológico. En el caso de una clase de computación gráfica; los objetos, sus materiales, y las luces. En una clase de Electromagnetismo; objetos cargados electrostáticamente.

La componente de Realidad Virtual Distribuida es un espacio virtual que permite que el profesor y el alumno interactúen de manera colaborativa y simultánea creando, manipulando o destruyendo objetos virtuales. Los espacios virtuales que se crearon para los cursos, se describen en el capítulo 4. La importancia pedagógica de la interacción en este medio se describe en el capítulo 5. La herramienta se puede utilizar con toda su potencialidad entonces en cursos en los cuales la manipulación colaborativa de objetos virtuales sea significativa.

Para medir el impacto del uso de la herramienta en un proceso real de enseñanza-aprendizaje, la utilizamos en tres instancias de cursos en la Universidad Eafit: dos cursos de Computación Gráfica y un curso de Electricidad y Magnetismo. En cada curso, la mitad de los estudiantes recibieron una parte considerable del curso utilizando la herramienta y la otra mitad utilizaron metodologías tradicionales. Cada grupo de alumnos desarrolló un *desempeño de comprensión*, esto es, un trabajo

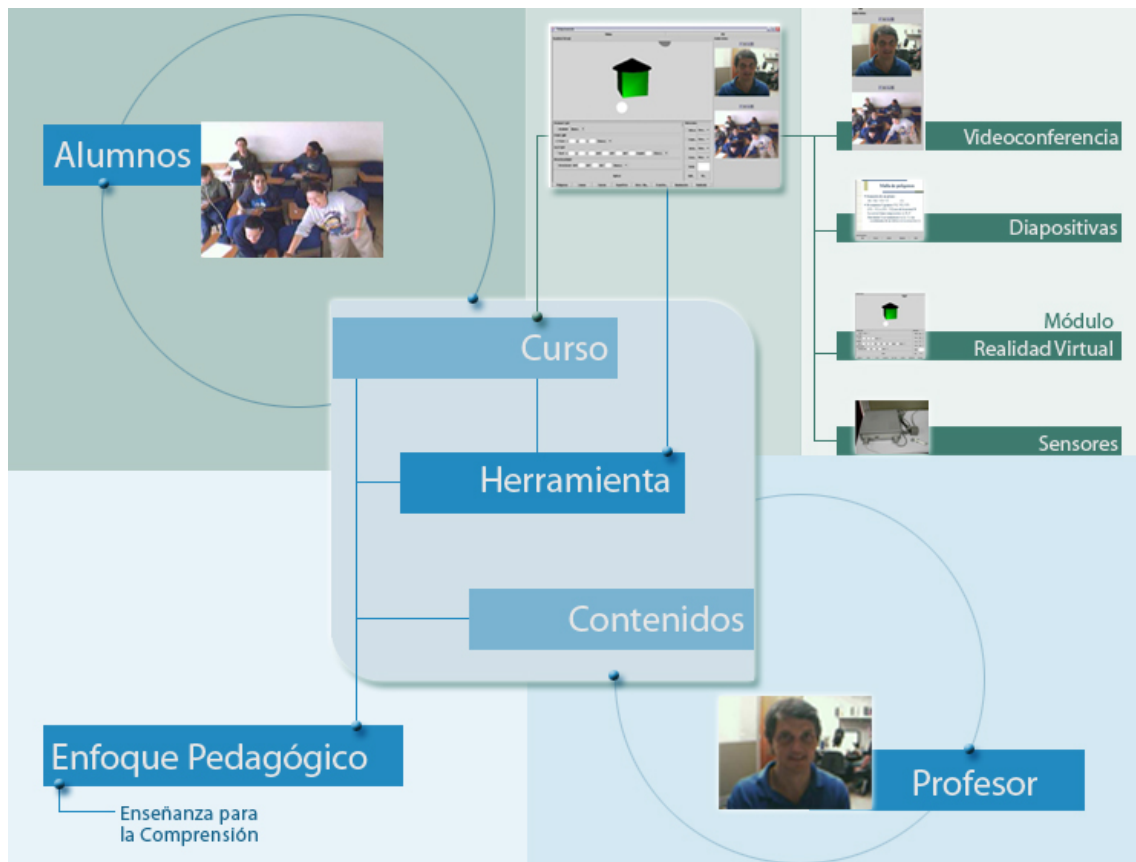


Figura 1.1: Diagrama Resumen

en el cual consultaba una necesidad de la industria que se pudiese resolver aplicando lo visto en el curso. Un panel de expertos calificó los niveles de comprensión alcanzados por cada grupo. Finalmente se compararon los niveles alcanzados por el grupo experimental y el grupo de control. La metodología pedagógica se describe en el capítulo 3. Los resultados se describen en el capítulo 5.

Durante el desarrollo del proyecto aprendimos lecciones importantes respecto a cuáles partes de un curso se pueden dictar de la mejor manera utilizando la plataforma desarrollada, el perfil que se necesita para que un instructor sea exitoso utilizando este tipo de herramientas, aspectos técnicos como tipo de hardware a utilizar, etc. Adicionalmente, la plataforma no apoya de igual manera diferentes momentos pedagógicos. Encontramos, por ejemplo, que la herramienta es muy apropiada para dictar las clases de física cuando se están introduciendo nuevos conceptos. Sin embargo, la realización de ejercicios por parte del profesor o de los alumnos, lo cual ocupa una parte importante en los cursos de física, no es fácil cuando se realiza utilizando la plataforma. Esto nos lleva a pensar que no todos los cursos y no todos los momentos pedagógicos son apropiados para ser trabajados mediante la herramienta. Presentamos estas conclusiones, que consideramos interesantes para grupos que lleven a cabo proyectos similares, en el capítulo 7.

Finalmente en los capítulos 6 y 8, presentamos las conclusiones, desde el punto de vista técnico y pedagógico del proyecto y describimos las áreas en las cuales proponemos trabajar en el futuro.

Agradecemos al departamento de Ciencias Básicas, en cabeza del profesor Mario Elkin Vélez y Juan Manuel Jaramillo, el haber aprobado nuestro trabajo con el curso de Electricidad y Magnetismo. De igual manera, agradecemos a todos los participantes del grupo de investigación en Realidad Virtual por

su colaboración directa o indirecta con la construcción de la herramienta y por proveer un ambiente de trabajo que facilita las labores más duras.



## Capítulo 2

# Fundamentación

Este capítulo describe los marcos conceptuales en los cuales se fundamenta el proyecto, tanto desde la perspectiva técnica como desde la perspectiva pedagógica.

### 2.1. Marco Teórico Pedagógico - Enseñanza para la Comprensión

### 2.2. Estado del Arte - Perspectiva Pedagógica

“El surgimiento de un nuevo sistema de comunicación electrónica, caracterizada por su alcance global, la integración de todos los medios de comunicación y su interactividad potencial, está cambiando nuestra cultura” [Cas99].

El cambio cultural esta llevando a la humanidad a la generación de una nueva sociedad conocida como Sociedad del Conocimiento o Sociedad de la Información que se caracteriza por:

*La Pluralidad*

*La interactividad*

*La virtualidad*

*La Globalidad*

*La individualidad*

*El Capital Intelectual*

*El conocimiento como capital intelectual*

*El conocimiento, las habilidades y destrezas cognitivas y sociales como materias primas*

*El trabajo colaborativo y cooperativo*

*La deslocalización de la Información*

*La gran velocidad de los procesos*

*El uso intensivo del conocimiento*

*La adaptación y aprendizaje*

*La revaloración de las personas*

*Las personas como constructoras y diseñadoras*

*El trabajo es visto como un lugar donde aprender, como un centro de aprendizaje, un centro de conocimientos.*

Esta nueva sociedad de la Información promueve la aparición de “culturas virtuales” “culturas digitales” que modifican la sensibilidad de las personas, las formas de comprender el planeta y la comunidad internacional, las formas de crear y mantener relaciones con otras, las categorías para aprehender el contexto, de realizar lecturas sobre una realidad real y las nociones de espacio-tiempo.

En la nueva era se vislumbran profundos cambios en marcha en una nueva cultura representada por:

*Cultura del Grupo/Relación*  
*Cultura de la Comunicación*  
*Cultura de lo Simbólico*  
*Cultura de la Interpretación*  
*Cultura de la Apropiación*  
*Cultura de lo Lúdico*  
*Cultura de la Mecanización*  
*Cultura de la Virtualidad*  
*Cultura de lo Digital*  
*Cultura de la autoeducación*  
*Cultura de la autoformación*  
*Cultura de desterritorialización*  
*Cultura de descentración*  
*Cultura de la tecnologización*  
*Cultura de la sociabilidad virtual*

Las TICs, esencialmente la informática y la de telecomunicaciones, y sus variantes más avanzadas como la multimedia y la realidad virtual, al igual que ya sucedió con otras tecnologías, transforman la sociedad e imponen una nueva cultura, ya no referida a lo local sino iniciando un complejo camino hacia la globalidad, donde el conocimiento inicia su apertura y la educación se convierte en el pasaporte de los individuos y las naciones hacia la sociedad del conocimiento y la aldea global.

La comisión internacional de Educación de la UNESCO presidida por Jacques Delors en 1995, plantea que la Educación debe trabajar en la construcción de una nueva pedagogía social sustentada en:

*Aprender a SER,*  
*Aprender a CONOCER,*  
*Aprender a HACER y*  
*Aprender a VIVIR JUNTOS*

La UNESCO también propone robustecer la sabiduría individual y colectiva para asegurar un futuro viable a partir de nuevos horizontes que den soporte a la marcha diaria en la comprensión. Propuestas consignadas en el libro “Los siete saberes necesarios para la educación del futuro”, UNESCO, presidido por Edgar Morin:

Los siete saberes necesarios son:

1. Enseñar a enfrentar los riesgos permanentes del error y la ilusión,
2. Trabajar por un conocimiento pertinente (ser capaz de aprender sobre los objetos en sus contextos, complejidades, relaciones y, conjuntos),
3. Enseñar la condición humana (el ser humano es físico, biológico, psíquico, cultural, social, histórico),
4. Enseñar la identidad terrenal (el destino planetario del ser humano hoy se vive una misma comunidad de destino),
5. Enseñar a enfrentar las incertidumbres (el como enfrentar los riesgos, lo inesperado, lo incierto, y modificar su desarrollo),
6. Enseñar la comprensión, medio y fin de la comunicación humana (base de una verdadera educación para la paz y la armonía) y

7. Enseñar la ética del género humano, creando una conciencia que se traduzca en la voluntad de realizar la ciudadanía planetaria.

Adicionalmente a lo que plantea el referente cultural, a los planteamientos de la UNESCO sobre la construcción de una nueva pedagogía social y el robustecer la sabiduría individual y colectiva, es necesario también revisar los postulados sobre las ventajas del uso de las TICs en la Educación:

Un primer postulado, que aparece obligadamente en los escritos sobre TICs y educación, se refiere a su potencialidad para el trabajo colaborativo.

Las TICs y sobre todo de telecomunicaciones, han permitido la configuración de entornos virtuales compartidos a los que se puede aplicar el concepto de “ambiente de aprendizaje”; la práctica desaparición de las restricciones de tiempo y el acceso remoto potencian la comunicación permanente entre usuarios y, con ello, la cooperación y construcción conjunta de conocimientos. Pensamos que esta es una ventaja real de las TICs [ZAGL99].

Una segunda potencialidad se refiere a la capacidad de las TICs de favorecer el desarrollo de algunas destrezas y habilidades, difíciles de lograr con los medios tradicionales.

En concreto, las importantes habilidades que permiten buscar, seleccionar, organizar y manejar nueva información; la autonomía en el proceso de aprender; actitudes necesarias para un buen aprendizaje, como el autoconcepto y la autoestima, la motivación interna, la disposición a aceptar y comprender múltiples puntos de vista; el respeto por el otro y sus opiniones; etc. sí pueden verse favorecidos con el uso de las TICs, aunque no por sí solas, sino en tanto integradas a un proyecto pedagógico que las utilice intencionalmente para ello.

Un tercer aspecto, más genérico, que aparece también con gran frecuencia entre lo que se espera con la incorporación de las TICs es un cambio sustancial en los roles que juegan alumnos y profesor en el proceso.

El alumno se vuelve gestor de su propio aprendizaje; el profesor se convierte en facilitador, colaborador y orientador de ese proceso. En nuestra opinión esta esperanza es la más probable y la más interesante de todas; un cambio de esta naturaleza en el ambiente de aprendizaje es estructural, afecta notablemente el clima educativo y posibilita formas de trabajo que probadamente favorecen la construcción de conocimiento y la práctica de habilidades y destrezas deseables. Pero a la vez, esta esperanza es la que más depende de una inserción de las tecnologías en el ambiente de aprendizaje con sentido pedagógico; y parece ser que el mayor peligro para que esto suceda está en la asimilación de los nuevos medios a prácticas pedagógicas tradicionales.

Después de analizar estos postulados es necesario tener en cuenta la organización de los conocimientos y el ordenamiento las dinámicas de aprendizaje, ya que estas son uno de los mayores desafíos para la educación; lograr un contexto en el que las TIC sean utilizadas de forma a asegurar que la comunicación está realmente orientada a adquirir y procesar conocimientos con sentido holístico, de totalidad, de forma ordenada. La reflexión crítica-constructiva deberá estar siempre presente cuando sean utilizadas las TIC, para así evitar caer en actos comunicativos dispersos que no apoyan la creación, construcción o sistematización de informaciones/conocimientos. [Lóp03]

Estas visiones nos llevan a plantear que un uso pedagógico de las TIC en el referente cultural de la “Sociedad de la Información”, exige imprimirle a éstas un SENTIDO, que no desvincule la producción de sentido/contenido individual y colectivo, producción que debe nutrirse de la cultura propia y afirmar la “identidad cultural”. Promover el encuentro “tecnología-cultura”, lo exógeno y lo propio; lograr pasar con la educación de los medios a la mediación. Lo virtual es una mediación entre cultura y tecnología. [Lóp03]

La Educación requiere de una nueva percepción sobre el conocimiento y la formación:

Dónde APRENDER en lugar de qué ENSEÑAR,  
Cuándo APRENDER en lugar de cómo ENSEÑAR,  
APRENDER a lo largo de toda la vida en lugar de Educación inicial para tiempos dados de vida, Conocimientos, inclusive, en lugar de Conocimiento, Disponerlo-tenerlo, en lugar de diferenciarlo (pobres-ricos, otros),

### 2.2.1. Sistemas educativos y uso de nuevas tecnologías

El proceso educativo, se concibe a partir de aquellas relaciones significativas establecidas entre el alumno, el docente y los contenidos, y cuya intención es lograr en que el aprendiz asuma y construya nuevos conocimientos principalmente. Este proceso por los tanto se rige por la calidad de las relaciones donde cada actor que participa del proceso juega un rol bien definido. Así, el alumno es quien aprende, quien recibe del docente la orientación y el apoyo para lograr sus objetivos de aprendizaje; los contenidos por su parte organizan de alguna manera los conceptos, habilidades y destrezas que debe lograr el alumno; y el docente juega un rol de orientador, de dador de conocimientos, según establezca su importancia y los contenidos previstos en un micro currículo.

El incorporar nuevos actores en el proceso de aprendizaje, implica repensar los roles de cada actor, su función y principalmente su significado como parte de éste. Así, para cada mediación hay conceptos, roles y funciones que se demarcan según se trate de presencialidad, distancia o virtualidad.

Sin embargo, estos conceptos, que desde el surgimiento de las nuevas tecnologías están en el ambiente educativo y empresarial, son utilizados en ocasiones sin la claridad de a que se refiere cada uno de ellos, ya que se entremezclan en frases como educación a distancia, formación virtual o e-learning aspectos relacionados con nuevas metodologías de aprendizaje y nuevas herramientas con el fin de redefinir los ambientes de aprendizaje y los entornos educativos. Para facilitar el entendimiento de estos conceptos se presenta a continuación las definiciones a las cuales se acoge este proyecto.

#### Sistema de Educación a Distancia

La Educación a distancia se define como un sistema de educación donde profesores y estudiantes están separados por tiempo o distancia [htt] El término de Educación a distancia se conoce como “Distance Learning”, “Distance Education”, “Home-study Programs”, “Just-in-time Learning”, “Anytime/anywhere Learning”, “Open University”, “Universidad sin aulas”, “Educación alternativa”, “Educación abierta.” “Educación virtual”, y todas estas denominaciones son distintas expresiones de sistemas de instrucción no presencial.

La educación a distancia existe desde hace más de un siglo y tomó un gran auge después de la Segunda Guerra Mundial en Inglaterra, Australia y los Estados Unidos. Con la modernización de las tecnologías de información y comunicaciones a mediados de los años 70, la educación a distancia toma un nuevo impulso y es así como actualmente, miles de universidades europeas, americanas y australianas ofrecen una gran variedad de programas a distancia, casi todos tienen acceso a una computadora, cuentan con la posibilidad de comunicarse por correo electrónico, conocen las ventajas de Internet, tienen videocassetteras, más facilidades de acceder a bibliografía, muchos tienen TV por cable o satelital.

Dentro de este contexto la educación a distancia permite ofrecer una gran cantidad de opciones como tomar clases por audio o video, clases interactivas, videoconferencias, o simplemente enviar sus trabajos por e-mail o fax. En todo el mundo crece esta tendencia, y Latinoamérica no es la excepción.

#### Educación Virtual

La virtualidad, como aporte a los procesos de formación surge como educación virtual con la intención de aprovechar las bondades de las nuevas tecnologías, y para ello modifica las estructuras tradicionales de los ambientes de aprendizaje, fomentando la cultura del autoaprendizaje, la indagación, y la construcción creativa y crítica de saberes, posibilitando mediante este esquema el acceso a procesos de formación a usuarios situados geográficamente de manera dispersa y que por distintas razones y/o motivaciones, no pueden o no quieren formarse mediante otras modalidades de aprendizaje.

La Asociación Hispanoamericana, diferencia la educación virtual de la educación a distancia, en la medida en que los entornos de aprendizaje propuestos por la educación virtual, responden no solo a la no presencialidad o semipresencialidad, sino a nuevas metodologías específicamente centradas en el uso de las tecnologías de la información y la comunicación electrónica. Estos entornos por lo tanto, deben adaptarse a las necesidades y características de cada uno de sus usuarios fomentando la interacción, el intercambio de experiencias de aprendizaje y de conocimientos entre ellos, mediante el buen uso de

las funcionalidades que provee Internet.

Los expertos en el tema se refieren a la Educación virtual como: “La Educación Virtual enmarca la utilización de las nuevas tecnologías, hacia el desarrollo de metodologías alternativas para el aprendizaje de alumnos de poblaciones especiales que están limitadas por su ubicación geográfica, la calidad de docencia y el tiempo disponible” [Álv], “la modalidad educativa que eleva la calidad de la enseñanza aprendizaje... que respecta su flexibilidad o disponibilidad (en cualquier momento, tiempo y espacio). Alcanza su apogeo con la tecnología hasta integrar los tres métodos: asincrónica, sincrónica y autoformación” [Lar02]. Otros autores como Miguél Banet se adelanta en su concepción y afirma que: “La educación virtual es una combinación entre la tecnología de la realidad virtual, redes de comunicación y seres humanos. En los próximos años, la educación virtual se ha de extender y tocar a alguien \_ o una población entera \_ de una manera que los humanos nunca experimentaron anteriormente”. [Col98] hace referencia a la universidad virtual señalando la variedad de escenarios a los que se aplica el término; desde la teleconferencia, hasta los grupos de investigación avanzada en laboratorios virtuales. Collis ofrece una definición que parece adecuada: “El uso de la telemática con propósitos de aprendizaje” (“Using telematics for learning-related purposes”). Señala la autora que lo importante en su definición es que deliberadamente se omite la idea de “distancia”; el uso de la telemática hace irrelevante el lugar donde esté la persona con la que nos comunicamos, o la información con la que trabajamos. De manera que una clase virtual es un ambiente de aprendizaje que utiliza la telemática como entorno de interacción y comunicación, en el proceso intencional de enseñar-aprender [Col98]. Para definir Educación virtual en este proyecto se acoge el concepto propuesto por la UNESCO (1998) que hace referencia a que la educación virtual son “entornos de aprendizajes que constituyen una forma totalmente nueva, en relación con la tecnología educativa... un programa informático - interactivo de carácter pedagógico que posee una capacidad de comunicación integrada. Son una innovación relativamente reciente y fruto de la convergencia de las tecnologías informáticas y de telecomunicaciones que se ha intensificado durante los últimos diez años”.

El proceso de educación virtual debe acompañarse adicionalmente a lo metodológico, de mediadores no convencionales que soportan comunicaciones de doble vía entre el/la estudiante y sus interlocutores. Los elementos mediadores \_ portadores en el proceso de educación virtual considerados como no convencionales, son elementos tecnológicos, por ejemplo una computadora conectada a otras computadoras por medio de una red, donde algunas de las formas más conocidas para desarrollar procesos de intercambio son la videoconferencia, el correo electrónico asincrónico, las charlas sincrónicas (“chat”) y/o foros de discusión sincrónicos o asincrónicos.

Adicionalmente, las comunicaciones en la virtualidad se desarrollan, entre otras, con sus docentes, con los entes administradores y con sus compañeros, utilizando algún elemento mediador \_ portador que permite intercambiar unidades temáticas de enseñanza, contenidos académicos, procesos administrativos, así como diferentes elementos que apoyan el proceso de desarrollo y evaluación conjunta de las diferentes actividades para construir o reforzar conocimiento. Se espera, por tanto, que el conocimiento se adquiera colaborativamente aportando la educación virtual un nuevo concepto que orienta el desarrollo de comunidades de aprendizaje, la colaboración.

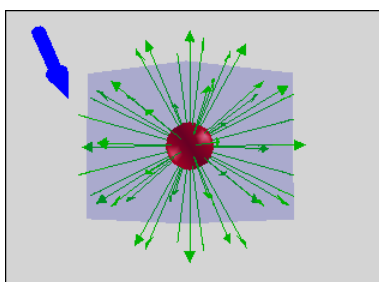
Se entiende por adquirir colaborativamente el conocimiento, como el trabajo que se construye “conjuntamente con cada una de las personas con las que se intercambia información, podría decirse un proceso de co-aprendizaje, donde lo relevante no son los medios tecnológicos, sino, los modelos pedagógicos y el acompañamiento didáctico a los mismos.

## 2.3. Marco Conceptual Técnico

Nuestro objetivo, como fue mencionado previamente es construir una herramienta de trabajo colaborativo sincrónico que integre multimedia (audio y video) y Realidad Virtual para dar soporte a procesos de educación a distancia. Para permitir la educación a distancia la herramienta se fundamenta en aspectos técnicos de los ambientes virtuales, los ambientes virtuales distribuidos y las aplicaciones multimedia distribuidas. A continuación se presenta un acercamiento a dichas tecnologías y trabajo



(a) Un usuario inmerso en un mundo virtual



(b) Mundo virtual no-inmersivo

Figura 2.1: Mundo virtual inmersivo vs. no-inmersivo

relacionado.

### 2.3.1. Ambientes Virtuales

La Realidad Virtual (RV) es la tecnología (software y hardware) que permite sumergir a un usuario en un ambiente tridimensional generado por el computador, de forma interactiva y autónoma, en tiempo real. Un ambiente virtual es un entorno representado mediante Realidad Virtual. Un ambiente virtual cuenta con las siguientes características:

- Tridimensionalidad:

Indica que el aspecto del mundo virtual es aparentemente tridimensional. Además de esto, la representación interna de los elementos que componen el Ambiente Virtual es tridimensional.

- Interactividad y autonomía:

Provee una forma en la que los usuarios puedan interactuar con el entorno, en cuanto estén en la capacidad de alterar el ambiente y/o ser alterados por éste. De igual forma los elementos del entorno pueden interactuar entre sí. Los eventos producidos por el entorno no deben requerir intervención del usuario para su ejecución.

- Inmersividad y no-inmersividad:

En el primer caso quiere decir que sumerge al usuario en un ambiente simulado. La inmersión se refiere principalmente al hecho de reconocer que el usuario está dentro de un entorno tridimensional, y esto se consigue cuando existe un arriba, un abajo, un cerca, un lejos, y otra cantidad de aspectos espaciales y temporales que permiten tal efecto. Por otra parte, en un ambiente no-inmersivo el usuario no hace parte del entorno tridimensionales. Este puede, sin embargo, manipular el ambiente por medio de metáforas de interacción como el *tele-apuntador*. En la Figura 2.1(a) se muestra un usuario haciendo parte de un mundo virtual inmersivo. En el

mundo virtual de 2.1(b) el usuario puede modificar el mundo con un apuntador (flecha de color azul) sin hacer parte de el mundo. No debe confundirse la inmersividad con el uso de cascos, gafas o dispositivos externos complejos. El uso de dispositivos periféricos en aplicaciones de RV, y su mayor o menor complejidad en realidad definen diferentes niveles de inmersión.

- **Tiempo real:**

Las entradas provistas por el usuario en una aplicación de RV, como es el movimiento, la alteración del ambiente, realizar acciones sobre un objeto, etc., deben reflejarse inmediatamente en los dispositivos de salida al usuario.

- **Presencialidad y Realismo:**

Existen dos aspectos que toda aplicación de RV debe considerar en mayor o menor grado. Uno de ellos, la presencia, se refiere al hecho de que el ambiente pueda representar las características necesarias para que un usuario se sienta dentro de él, como por ejemplo la gravedad, la existencia de colisiones, de clima, del paso del tiempo, etc. El mayor o menor grado de presencia se consigue principalmente, aparte de las características mencionadas, con un buen tiempo de respuesta, de modo que el usuario no perciba retardos entre las acciones que él realiza y el efecto inmediato que produce en el ambiente.

El segundo aspecto es el realismo, y se refiere a la calidad de la apariencia de los objetos representados comparados con los objetos reales, lo que se consigue con el uso de modelos tridimensionales complejos de los objetos.

Los dos aspectos anteriores (presencialidad y realismo) representan un reto para el desarrollo de ambientes virtuales pues son inversamente proporcionales. El mayor realismo de una aplicación de RV implica una alta complejidad, que finalmente se refleja en un tiempo de respuesta bajo, y por consiguiente en un menor grado de presencia, y para conseguir un alto grado de presencia es necesario reducir la complejidad del ambiente virtual, lo que implica un menor realismo.

Tal problema puede solventarse por medio de tecnología de representación más avanzada, particularmente en hardware. Con tarjetas de video aceleradoras 3D puede encontrarse un punto de equilibrio razonable entre estos dos aspectos [Cor98].

### 2.3.2. Ambientes Virtuales Distribuidos

La naturaleza social del hombre llevó a extender el concepto de ambiente virtual a un ambiente virtual compartido donde pueden participar grupos de personas. Luego, por las capacidades mismas del mundo virtual, las personas podrían, desde distintos lugares, compartir un mundo virtual. Un ambiente virtual distribuido es un sistema de software en el que múltiples usuarios interactúan uno con el otro en tiempo real a pesar de que estos se encuentren en cualquier lugar [SZ99]. Tomando de una forma flexible tal definición, una aplicación donde varios usuarios se comuniquen por medio de texto clasificaría como ambiente virtual distribuido. Un ambiente virtual distribuido avanzado incluye multimedia, entornos gráficos tridimensionales inmersivos y no-inmersivos de Realidad Virtual. Desde un punto de vista social, un Ambiente Virtual Distribuido (AVD) es un “punto de encuentro” que permite a varias personas, a través de sus computadoras, colaborar en un mundo virtual, buscando un objetivo común [GB95].

El disponer de mundos virtuales como puntos de encuentro posibilita un gran número de nuevas aplicaciones para la RV. La experiencia de un usuario en cualquiera aplicación individual de realidad virtual puede ser enriquecida si p.ej. se puede establecer un diálogo con otro usuario, posibilitando aplicaciones que, por su naturaleza social, no podían ser simuladas en RV para un solo usuario. Tal es el caso de la simulación de reuniones de trabajo, sesiones de clase o juegos de varias personas. Desde esta perspectiva los Ambientes Virtuales Distribuidos basados en Realidad Virtual también le dan una dimensión adicional al CSCW (Computer Software for Collaborative Work), ya que permiten

una forma de interacción mucho más intuitiva y eficiente que la comunicación basada en mensajes textuales.

Aparte de permitir colaboración remota, los ambientes multi-usuario tipo texto o gráficos en dos dimensiones, proveen visualización de grandes almacenes de datos y de diseños complejos. Aquí ya empieza a ganar terreno sobre los otros tipos de interfaces, pues la inclusión de una nueva dimensión le da un mayor marco de referencia que el sólo hecho de separar los conceptos en ventanas planas; integra múltiples medios, tan sencillos como texto y gráficos bidimensionales, hasta otros más complejos como audio y video; provee encarnación directa del usuario, es decir, el usuario tiene un agente directo, y cada vez más natural, de sí mismo dentro del entorno virtual; y soporta las habilidades espaciales naturales: en esto no tiene comparación. Por un lado aparece el contacto visual en la conversación (también presente en la video-conferencia), y por otro aparece una serie de gestos, que realzan la colaboración entre varias personas.

En el desarrollo de ambientes virtuales es necesario enfrentar varios retos técnicos que no aparecen en las aplicaciones individuales de Realidad Virtual. Estos retos tienen su origen en el hecho de que en la creación y mantenimiento del mundo virtual ya no interviene sólo una sino varias computadoras.

- **Distribución e integración de la Base de Objetos del Mundo:**

En toda aplicación de R.V. existe una estructura de datos que representa el estado actual del mundo virtual. En ella se describe cada uno de los objetos que componen el mundo, su posición, su orientación, los materiales que lo conforman, etc. En el caso de los AVDs es necesario decidir si esa estructura se mantiene en una sola máquina “central” o si se distribuye en las máquinas de cada usuario.

- **Cálculo y despliegue:**

En una aplicación individual de R.V. se debe calcular varias veces por segundo qué es lo que el usuario debe estar viendo, con base en su posición y la orientación de su mirada virtual. En el cine se despliegan 24 imágenes por segundo. En las caricaturas tradicionales, aproximadamente 15. En los sistemas actuales de RV se busca lograr una rata cercana a los 30 cuadros por segundo. En un AVCs se debe realizar un cálculo diferente para cada habitante del mundo virtual, y es necesario decidir si dichos cálculos se realizan de manera centralizada o distribuida. Naturalmente el despliegue ocurre en la computadora local de cada usuario.

- **Uso del ancho de banda:**

Uno de los cuellos de botella potenciales en un AVD es el ancho de banda de las comunicaciones disponibles, especialmente si se trata de una red de amplio cubrimiento. Por eso es necesario diseñar la arquitectura general de la aplicación y los protocolos de comunicación teniendo en cuenta utilizar de manera óptima el ancho de banda disponible.

- **Escalamiento:**

En un AVD cada usuario debe ser consciente no solamente del mundo virtual que lo rodea sino de los estímulos generados por los otros habitantes del mismo (transmitidos entre las computadoras como mensajes). A medida que el número de habitantes aumenta, el número de estímulos puede crecer considerablemente y saturar el ancho de banda disponible en la red, e incluso puede inundar a las máquinas de cada usuario con más mensajes de los que puede procesar. Gran parte de la investigación en AVDs se dirige a diseñar las aplicaciones de manera que se mantenga un buen nivel de desempeño a medida que crece el número de participantes.

- **Sincronización de eventos del mundo:**

En cierto tipo de AVDs es necesario garantizar que ciertos eventos parezcan ocurrir de manera simultánea a los diferentes habitantes del mundo virtual (la completa simultaneidad es imposible dados los retardos introducidos por la red, por los tiempos de cómputo y por otros factores) [SZ99]. Este problema está relacionado con el problema de tener una medida global para el

tiempo. Sin un mecanismo de esta índole, dos usuarios podrían tomar “al mismo tiempo” control de un objeto y moverlo en diferentes direcciones.

### 2.3.3. Aplicaciones Multimedia Distribuidas

Los avances en las redes de telecomunicaciones y la capacidad de procesamiento de la nueva generación de microprocesadores, han motivado la investigación y desarrollo de aplicaciones multimedia distribuidas como videoconferencia, audioconferencia, telefonía, vídeo/audio en demanda, tele-trabajo y para nuestro caso la educación a distancia o tele-educación. Aunque existen muchos estándares de los componentes o tecnologías involucradas en esta industria, a nivel de arquitecturas completas para el desarrollo de aplicaciones multimedia se cuenta con muy pocos productos y muchas de las empresas que los desarrollan utilizan algunos componentes propietarios.

Por muchos años, las aplicaciones multimedia distribuidas han formado parte de un grupo reducido de investigadores, empresas, usuarios y productos. Una situación diferente se presenta con las aplicaciones tradicionales sobre redes, las cuales ofrecen servicios de valor agregado y desarrollo cliente/servidor. Varios factores han contribuido a esta realidad, pero también hay varios que están acelerando el interés por estas aplicaciones emergentes, factores como el aumento de la velocidad y confiabilidad de las redes, avances en capacidad de cómputo de estaciones de trabajo, reducción de costos, masificación de los dispositivos multimedia y globalización de Internet, están cambiando el concepto futurista de la multimedia para convertirse en una realidad de nuestros días.

El término multimedia posee muchas definiciones, depende desde la perspectiva que se mire se pueden plantear definiciones a nivel de usuario, aplicación, arquitectura, sistema, red, etc. Las siguientes definiciones de multimedia se acerca al planteamiento de esta investigación:

“Multimedia significa, desde la perspectiva del usuario, la información que en un ordenador puede ser representada a través de audio y/o vídeo, además de texto, imágenes, gráficos y animación.” [SN95]

Una aplicación o sistema multimedia es aquella que se basa en el uso de los siguientes criterios:

1. Número de tipos de objetos o información (ej. : texto, imágenes, sonido y vídeo)
2. Tipo de objetos soportados, los cuales se clasifican como dependientes o independientes del tiempo.
3. Grado de integración de la información, implica que aunque los objetos sean independientes entre ellos, puedan ser procesados y presentados conjuntamente.

La multimedia cubre gran cantidad de áreas del conocimiento, en la Figura 2.3.3 tomada de [SN95] se presenta una visión general de las tecnologías relacionadas con la multimedia y se adicionan algunas más, se pueden distinguir los siguientes dominios:

#### 1. Dominio de Dispositivos:

Los conceptos básicos para el procesamiento digital del audio o vídeo están basados en el procesamiento digital de señales. Existen muchos métodos para el procesamiento de estas señales, en el audio se incluyen tecnologías como música MIDI, Speech (voz), sonidos, etc. Y por el lado del vídeo se incluye desde TV analógica hasta TV digital de alta definición (HDTV).

Las señales de audio y vídeo suelen ser altamente consumidoras de recursos computacionales y de red, por ello se han desarrollado técnicas de compresión que permiten reducir sustancialmente la cantidad de datos a transmitir, de igual forma existen gran cantidad de estándares de compresión tanto para la voz como para el vídeo, algunos de estos son: ADPCM, GSM, MPEG, H.323, G.7xx, Indeo, etc.

Las redes de telecomunicaciones tiene un papel fundamental en el soporte de los sistemas multimedia distribuidos, mediante la proliferación de la red mundial Internet, sus protocolos, la nueva

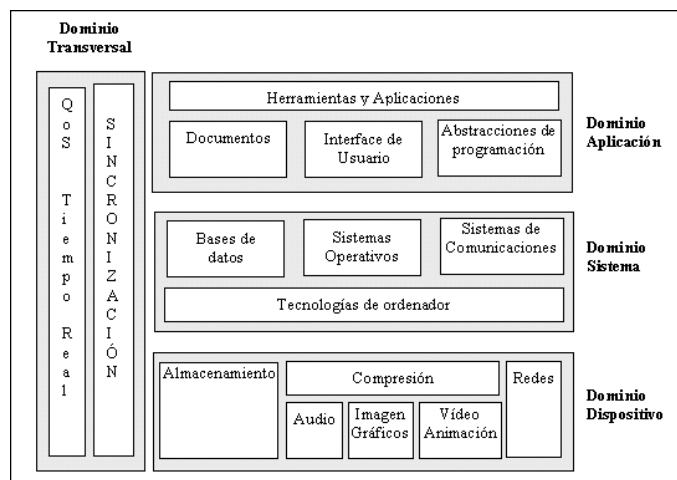


Figura 2.2: Tecnologías relacionadas con multimedia

generación de Internet, etc., y por otro lado la Red de Banda Ancha (B-ISDN / ATM) están acelerando el desarrollo en este campo. La multimedia distribuida no sólo depende del ancho de banda ofrecido, sino de una serie de requerimientos fundamentales para el correcto manejo de esta información, los cuales se verán más adelante.

## 2. Dominio de Sistemas:

La interface entre el dominio de dispositivos y el dominio de sistema está definida por la tecnología de computación. Para poder utilizar el dominio de dispositivos, se requiere sistemas que suministren éstos como servicios, básicamente se destacan tres:

- **Sistema operativo:** Es la interface entre el hardware, dispositivos y tecnologías de redes del nivel inferior y los usuarios. Provee al usuario un ambiente computación y de programación, el cual facilita la operación. Gestiona recursos como procesador, memoria, almacenamiento secundario, dispositivos de entrada/salida, redes, etc. El papel que cumple en los sistemas multimedia principalmente está relacionado con los aspectos de gestión de recursos y provisión de facilidades de tiempo real y QoS.
- **Bases de datos:** Permite el acceso estructurado a los datos y la gestión de grandes repositorios de información. La multimedia ha revolucionado este campo, porque ha incorporado nuevos conceptos como bases de datos no estructurales, manejo de patrones, bases de datos de imágenes o vídeos, etc.
- **Sistema de comunicaciones:** Es el responsable de la transmisión de datos de acuerdo a los requerimientos temporales y de calidad necesaria en los sistemas multimedia en redes.

## 3. Dominio de Aplicación:

Los servicios ofrecidos por el dominio del sistema son ofrecidos al dominio de aplicación principalmente a través de las abstracciones de programación. Dichas abstracciones hacen parte de los sistemas operativos (multimedia), lenguajes de programación, orientación a objetos o middlewares.

Otro aspecto importante de este dominio es el manejo de documentos, concepto al cual se le han adicionado la representación de información estructura o no para representar diferentes tipos de información, allí se encuentran tecnologías como HTML, XML o MHEG.

Finalmente y no menos importante se encuentran las interfaces de usuario y las aplicaciones multimedia en sí mismas. En las interfaces de usuarios, adicional a los mecanismos tradicionales

de interacción multimedia (ratón, pantalla, micrófono, cámaras, altavoces, etc.), se están desarrollando nuevos mecanismos de interacción hombre-máquina como la realidad virtual entre otras tecnologías emergentes. El objetivo final de todas estas aplicaciones y herramientas serán la de ofrecer nuevos y novedosos servicios a los usuarios, por ejemplo videoconferencia, audioconferencia, entretenimiento, televisión de alta definición, televisión interactiva, vídeo en demanda, recuperación de información, navegación, etc.

#### 4. Dominio Transversal:

Hay varios aspectos que deben ser considerados en muchos de los dominios anteriormente vistos, por ejemplo los aspectos de sincronización, tiempo real, QoS y gestión del sistema.

- La sincronización es necesaria debido a las relaciones temporales entre varios medios.
- El manejo del tiempo real es una característica inherente a los sistemas multimedia la cual debe ser incorporada a muchos niveles dentro del sistema completo.
- La calidad del servicio o QoS, es uno de los factores más restrictivos de los sistemas multimedia, ya que de allí parte la satisfacción de un usuario. Esta calidad suele ser representada en dos dominios, a nivel de usuarios y a nivel de sistema.
- Finalmente, para lograr el control del sistema se debe incorporar mecanismos de gestión que permitan controlarlo.

En un sistema multimedia distribuido, los datos de medios continuos y discretos deben ser transportados a través de redes de telecomunicaciones. Independiente del tipo de medio, los sistemas digitales de comunicaciones dividen la información en unidades discretas conocidas como paquetes, tramas, celdas, etc. Se define una secuencia de unidades transmitidas en una forma dependiente del tiempo como un flujo de datos o stream.

La transmisión de flujos puede ser lograda con diferentes esquemas, distinguiéndose como transmisión de datos asincrónicos, sincrónicos e isocrónicos, los cuales están altamente influenciados por las tecnologías de comunicaciones, protocolos y técnicas de conmutación.

- Modo de transmisión asincrónico:

Provee una transmisión sin restricciones temporales, los paquetes alcanzan su destino tan pronto como sea posible. Protocolos como TCP/IP y muchos de redes locales (Ethernet) presentan esta característica. Si se utiliza un modo asincrónico para la transmisión de medios continuos, se requieren de técnicas adicionales para proveer las restricciones temporales.

- Modo de transmisión sincrónico:

Define un máximo de retardo extremo a extremo para cada paquete, este límite superior no debe ser violado, sin embargo un paquete puede alcanzar su destino antes. De esta forma, al menos para las aplicaciones multimedia satisface un retardo máximo extremo a extremo garantizado. Un ejemplo de estas redes es FDDI.

- Modo de transmisión isocrónico:

Aparte de definir un retardo máximo para cada paquete, este restringe un retardo mínimo. Esto es lo que comúnmente se conoce como variación del retardo o jitter. En el caso ideal, un jitter igual a cero, representa el máximo de exigencia a una red para el tráfico multimedia. Ejemplos de estas redes son ATM, SDH, SONET, N-ISDN, entre otras.

Los principales requerimientos de las aplicaciones multimedia distribuidas están determinadas por el tipo de medios que por éstas se transportan. Se debe garantizar la reservación de todos los elementos computacionales y de red. En términos generales se pueden distinguir tres tipos de requerimientos, unos dados por los medios mismos, otros a nivel de arquitectura y finalmente a nivel de red.

### Medios continuos

Los tipos de información que se intercambian entre unidades computacionales a través de una red, pueden ser divididos en dos clases: tráfico de datos y de medios continuos como la voz, el vídeo, audio, etc.

Aunque las aplicaciones multimedia incorporan todos los tipos de información, los medios continuos resultan ser los más restrictivos al momento de desarrollar algún sistema, por ello, los principales requerimientos de los medios continuos puede ser clasificado de acuerdo a los siguientes parámetros:

- Ancho de banda
- Retardo y variación del retardo
- Confiabilidad de la transmisión
- Distribución del tráfico en el tiempo (ráfagas, continuos)
- Mantenimiento de las relaciones temporales en la reproducción (Sincronización)

### Aspectos a nivel de arquitectura de nivel superior

A nivel de arquitectura no es suficiente con tener las garantías de prestaciones a nivel de red. Los servicios de red tienen que ser finamente sintonizados a nivel de aplicación para permitir especificar requerimientos por el sistema. Mas que tener un acceso directo, se requiere una abstracción de los servicios provistos por la red para gestionar y controlar los recursos de la red.

#### 1. Abstracción de alto nivel para el soporte de medios continuos:

Las arquitecturas actuales de computación distribuida no tienen abstracciones para representar flujos de medios continuos entre dos o más elementos. Generalmente el mecanismo de comunicación entre un cliente y un servidor es a través de la invocación de métodos o procedimientos sincrónicos, lo que no es adecuado para representar medios continuos.

Un posible acercamiento podría ser una o un conjunto de llamadas consecutivas, pero también presenta problemas debido a los requerimientos temporales que no suelen ser manejados en una arquitectura de este estilo. Además un flujo continuo, no puede ser representado por una única invocación debido a la naturaleza “ilimitada” de los datos que transporta. Por otro lado no es fácil ni natural desde el punto de vista de un programador de aplicaciones, asociar QoS y restricciones temporales a una secuencia de llamadas.

Arquitecturas modernas suelen introducir la abstracción de un stream como un acercamiento que permite definir un flujo continuo al cual se le puede asociar QoS, y para lograrlo se puede utilizar alguno de los siguientes acercamientos:

- Una extensión del lenguaje para soportar un nuevo tipo de datos
- Introducir una nueva abstracción en el ambiente para encapsular los medios continuos de un stream.

Además éste servicio de comunicaciones debe ser incorporado en la arquitectura e igualmente se pueden tener varios acercamientos:

- Una extensión del marco de trabajo para el soporte de medios continuos
- Adoptar un protocolo independiente para la transferencia de los medios continuos.

#### 2. Sincronización de medios continuos:

Debe haber una contribución de las arquitecturas de alto nivel para apoyar el manejo de la sincronización. Tal es el caso de lo que podría llamarse sincronización de eventos, la cual son eventos generados por el sistema que pueden influenciar la presentación de medios en alguna forma.

### 3. Especificación de la calidad del servicio:

A nivel de aplicación, suele definirse los parámetros de calidad en términos muy diferentes a los manejados a nivel de red o sistema operativo. Es decir una vez descritos la QoS a nivel de aplicación, ésta debe ser trasladada a QoS a nivel de red y sistema operativo. Por ello, se requiere de un mecanismo de especificación y su correspondiente traslación a QoS de nivel inferior.

Debe haber un subsistema responsable de la provisión y control de los recursos correspondientes que hacen cumplir una especificación QoS a nivel de aplicación.

### 4. Comunicación en grupo:

Es muy común que las aplicaciones multimedia involucren a un grupo de usuarios en torno a un objetivo. La forma más simple de comunicación entre éstos se presenta a través de los mecanismos de multidifusión. Sin embargo a nivel superior o de arquitectura de aplicación, las comunicaciones en grupo son casi inexistentes, básicamente porque obedecen a un esquema cliente/servidor o petición/respuesta.

Básicamente en una plataforma se requieren dos tipos de comunicación en grupo:

- A nivel alto, generalmente para transferir información de control.
- A nivel de red, que permite distribuir un flujo continuos entre varios usuarios

## Aspectos a nivel de red

Muchas de las peticiones hechas a nivel de aplicación, deben trasladarse a requerimientos a nivel de red. Los siguientes son algunos de los aspectos que deben tenerse en cuenta:

- Control y gestión de conexión de flujos de datos multimedia:

La forma más sencilla de asociar conexiones de flujos con requerimientos de QoS hacia recursos correspondientes de red es utilizar una correspondencia entre la petición de establecimiento de un flujo con el establecimiento de una conexión de red (en el caso de orientado a la conexión) o flujo de paquetes (en el caso de no orientado a la conexión).

- Control de requerimientos de QoS:

Una vez trasladada la especificación de QoS de aplicación hacia el correspondiente de nivel de red, deben ser utilizadas durante el establecimiento de una conexión o flujo de paquetes a nivel de red. Por esto es importante contar con un mecanismo para la conversión de QoS de aplicación a QoS a nivel de red. En el caso que se relajen las condiciones de QoS a best-effort, se debe realizar una verificación y monitorización de los parámetros para posiblemente ser reportados a la arquitectura de nivel superior.

- Soporte de multidifusión:

El soporte de multidifusión debe ser provisto a nivel de red para permitir a un grupo de objetos comunicarse, en el caso que la arquitectura de red no posea estos mecanismos, se debe plantear un esquema de gestión por alguna entidad de conexiones punto a punto que simule el comportamiento de multidifusión.

En cuanto protocolos de red, la próxima generación de los protocolos Internet posee los elementos necesarios para el desarrollo de muchas de las nuevas aplicaciones tanto en Internet como para infraestructura de transporte de otras arquitecturas. Parte de estos elementos es la reserva de recursos y garantía extremo a extremo de QoS a nivel de aplicación.

El trabajo realizado por la IETF (Internet Engineering Task Force) es independiente de las tecnologías de subredes definidas para las redes de banda ancha como ATM ya que éste contempla principalmente los aspectos lógicos de la red.

Como fundamento para esta Red de Servicios Integrados [RB94] en Internet se destaca el desarrollo de un nuevo protocolo IP conocido como IPv6 o IPng, provisión de un protocolo de transporte de flujos (ST-II) [LD95], un protocolo de reserva de recursos (RSVP), un protocolo para gestión de grupos multicast (IGMP) y un protocolo de tiempo real (RTP) [ea96] entre otros.

Con estos nuevos protocolos, la IETF pretende proveer un conjunto completo de mecanismos para la transmisión de medios continuos y tiempo real sobre Internet.

#### 1. Real-Time Protocol (RTP):

El Protocolo TCP no permite transmisiones en tiempo real que se puedan utilizar para transportar adecuadamente datos de medios continuos como el audio o vídeo. TCP por definición proveer un servicio confiable, utilizando mecanismos de corrección de errores, control de flujo y control de congestión para ofrecer dicha garantía de entrega. De estos tres, es la corrección de errores el que más afecta las transmisiones en tiempo real ya que cuando se pierde un paquete ejecuta procedimientos de retransmisión y de esta manera afectaría considerablemente las relaciones temporales naturales de los medios continuos. En términos generales los esquemas de corrección de errores de TCP afectan considerablemente los retardos y el jitter. Además la naturaleza misma de los medios continuos soportan sin problemas pérdidas esporádicas de información debida a la alta redundancia que ellos transportan desde la perspectiva de la teoría de la información, lo que hace inadecuado utilizar mecanismos de retransmisión como solución a las pérdidas en la red.

Si se utiliza el protocolo UDP (User Datagram Protocol) se eliminan todos los mecanismos ofrecidos por TCP, se convierte en un protocolo más adecuado para la transmisión de flujos multimedia, sin embargo carece de algunas características importantes para un servicio de transporte multimedia.

#### 2. RTCP (Real-Time Control Protocol):

RTP tiene un protocolo de control conocido como RTCP, que no transfiere datos, sólo controla la información relacionada con el flujo de información.

Los elementos predefinidos de control más importantes son los reportes de remitente y recepción. El reporte de remitente es generado por los sistemas finales, que a su vez envían datos RTP y los reportes de recepción por los sistemas que reciben la información. Ambos contienen información de la calidad de servicio del flujo de datos para cada uno de los datos recibidos.

Cada bloque recibido contiene estadísticas de secuencia, el jitter, fracciones de tramas perdidas desde el último reporte y el acumulado de paquetes perdidos. El reporte del remitente también incluye la información del NTP y las marcas de tiempo del RTP, así como el número de paquetes y bytes transmitidos. El receptor utiliza esta información para calcular el bloque de estadísticas.

Los mensajes RTCP son transmitidos a la misma dirección IP (unicast o multicast) de RTP pero en otro puerto, que normalmente es un número mayor. Aplicaciones adaptativas frecuentemente usan los reportes de remitente y receptor para adaptar las condiciones de transmisión de la red. Cuando la pérdida de paquetes se aumenta, indica una sobre carga y así los transmisores disminuyen las velocidades de transmisión. En caso de detectar una pérdida de paquetes baja aumentan el consumo de ancho de banda generando una mejor calidad en el audio o el vídeo.

### Aspectos a nivel de software

El marco de trabajo de medios Java Media Framework (JMF) es una colección de clases que habilitan la presentación y captura de datos multimedia dentro de aplicaciones Java o Applets [jmf99]. Especifica una arquitectura unificada, protocolo de mensajes e interfaces de programación para reproducción,

captura y conferencias de streams comprimidas y medios temporizados almacenados incluyendo audio, vídeo y MIDI a través de toda la plataforma Java. JMF es parte de los APIs de Java Media la cual consiste en un conjunto de librerías de clases que proveen capacidades en áreas como reproducción de audio/vídeo, captura, conferencias, gráficos en 2D y 3D, animación, reconocimiento y síntesis de voz, telefonía, colaboración, imágenes avanzadas, etc.

JMF soporta el protocolo RTP para la transmisión y recepción de streams en tiempo real. RTP puede ser utilizado para medios en demanda o servicios interactivos. La implementación de RTP en JMF soporta el protocolo RTCP para la gestión de los streams transmitidos o recibidos a través de una sesión RTP.

### 2.3.4. Trabajo Relacionado

A nivel técnico, la herramienta planteada tiene relación con diferentes tipos de tecnologías que permiten la colaboración a distancia entre un grupo de personas, que en este caso en particular facilitar el desarrollo de una clase. Estas tecnologías, desarrolladas proveen por separado algunas de las funciones básicas de la herramienta de software propuesta en este informe. A pesar de la existencia de éstos sistemas se optó por crear un sistema a la medida por varias razones. La razón principal es proveer en un programa de computador simple que integre un ambiente virtual, tele-conferencia y una presentación con diapositivas para desarrollar una clase a distancia. De los sistemas existentes, clasificados por tipos, los más relacionados son los de tele-conferencia, los ambientes virtuales distribuidos y las aplicaciones colaborativas. A continuación se presentará un estado del arte en éstas áreas.

#### Medios de comunicación tradicionales y la Web

La educación a distancia surgió en nuestro país gracias a medios de comunicación como la televisión, el correo tradicional y principalmente la radio. Los requerimientos técnicos para llevar a cabo una clase de educación a distancia por estos medios han sido la red nacional de televisión, los sistemas de radio y la correspondencia. No entraremos en detalle acerca de estos sistemas. Aunque aún es posible encontrar programas de radio donde se dan clases de educación primaria o secundaria, en los últimos años los programas de radio y televisión dedicados a la educación han disminuido considerablemente. A la par con la rápida evolución de las comunicaciones en los años ochentas y noventas la educación a distancia se hizo posible en uno de los medios mas recientes: Internet. Los sistemas web surgieron como un mecanismo adecuado para presentar información y permitir a los estudiantes acceder desde cualquier lugar a tomar clases, presentar exámenes o hacer parte de discusiones en foros o conversación en línea (“chat”). Actualmente algunas universidades del país, como la Universidad Nacional de Colombia y su programa de Universidad Virtual, ofrecen cursos a distancia a través de la web [dC]. Incluso algunos centros de educación prestan su servicio únicamente por Internet, tal es el caso de la Fundación Universidad Católica del Norte [dN]. A nivel técnico se han publicado compendios de sistemas basados en web para la educación tal como en [Bru99]. La mayoría de estas formas de educación a distancia tienen una dificultad en común y es que para quien aprende le es difícil o incluso imposible comunicarse de inmediato con los instructores del curso o otros compañeros de clase. En el mejor de los casos el “chat” se utiliza para hacer preguntas de clase pero puede requerir más tiempo. La tele-conferencia surge entonces como una de las formas más apropiadas para hacer que personas en lugares distintos se comuniquen entre si sincrónicamente. La tele-conferencia, inicialmente pensada para sistemas telefónicos. Tal es el caso del “PicturePhone” creado por la compañía norte-americana AT&T durante los años sesenta [Fal73]. Estos sistemas nunca alcanzaron a considerarse una tecnología viable hasta el surgimiento de Internet, donde encontraron la mejor forma a de llevarse a cabo. En la actualidad la tele-conferencia tiene base tecnológica los protocolos de comunicación de red usados para transmitir video y audio. Dentro de estos, RTP (Real Time Protocol) es el más utilizado por su compatibilidad con los protocolos de transporte de Internet [ea96]. Para la implementación de sistemas de tele-conferencia es común encontrar el lenguaje Java para el desarrollo de aplicaciones y en específico JMF (Java Media Framework) disponible públicamente se ha empleado para la codificación

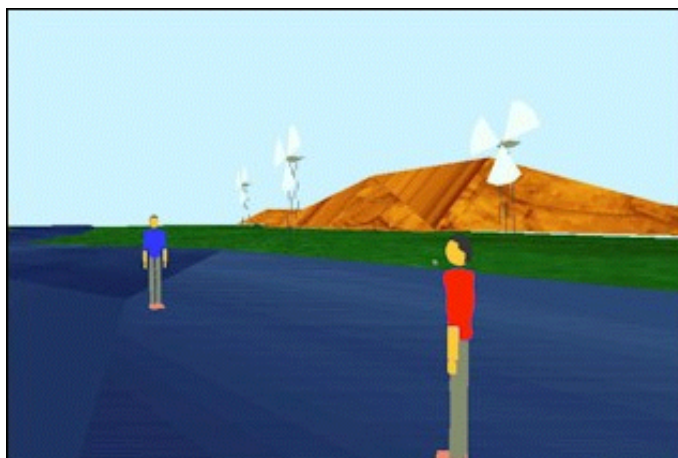


Figura 2.3: Usuarios inmersos en un mundo virtual de AVALON

y transmisión de video y audio [jmf99].

### Ambientes virtuales

Los ambientes virtuales colaborativos son una posible forma de interacción remota pues tienen la capacidad de proveer un mundo ficticio con características reales para usuarios separados espacialmente. Los ambientes colaborativos han servido para reemplazar la ausencia de un espacio físico cuando se participa en una tarea compartida a distintas [BF93]. Bricken identificó, desde lo técnico, aspectos potenciales y retos en el uso de la realidad virtual para la educación [Bri91]. Los aspectos primordiales son:

- El ambiente virtual permite al usuario experimentar un contenido.
- La realidad virtual está diseñada para permitir al usuario realizar tareas de una forma más natural.
- Permite nuevas capacidades físicas, por ejemplo, controlar el tiempo, el espacio, las leyes de la naturaleza, etc. Proveyendo nuevas perspectivas a los alumnos.
- Los ambientes virtuales pueden configurarse de acuerdo a las capacidades de aprendizaje de cada uno de los alumnos.

Uno de los ambientes de realidad virtual más representativos en el campo de la educación a distancia es NICE [JRL<sup>+</sup>98]. NICE fue creado como un ambiente virtual para enseñar a niños que desde lugares remotos, explorar distintos temas en conjunto, como por ejemplo, la construcción de un ecosistema virtual. NICE es un ejemplo de ambiente virtual en el cual los usuarios se “sumergen” en tal mundo, es decir que para la persona, el mundo virtual se le presenta como si ésta se encontrara realmente dentro de tal mundo. La figura 2.3 muestra como usuarios dos usuarios están inmersos en un mundo virtual siendo parte del éste. En muchos casos se hace difícil utilizar este tipo de sistemas por las dificultades en los sistemas de representación actuales (pantallas de computador o cascos de realidad virtual), una dificultad en concreto puede ser ver información textual. La figura 2.4 demuestra como un usuario virtual debe inclinarse para leer un texto. Se hace difícil, además, conocer cuál es el verdadero estado de una persona que participa en el mundo virtual, cómo por ejemplo conocer saber su expresión o reacción ante una idea, pues las personas no se ven como si mismas, sino que son representadas por un personaje virtual o avatar. En la figura 2.5 se ven tres avatares en un mundo virtual. El uso de esas expresiones

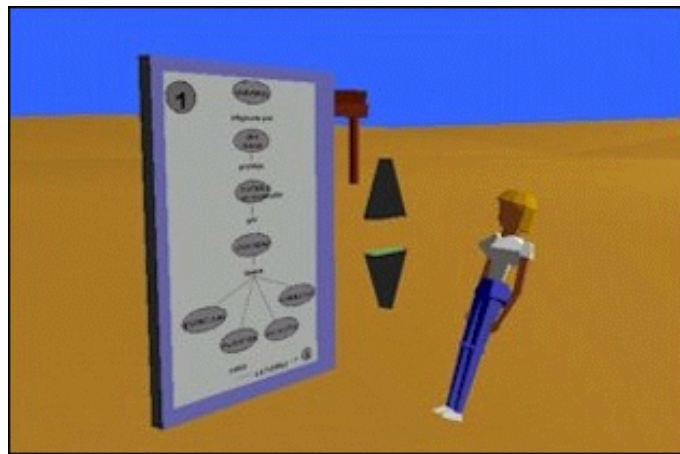


Figura 2.4: Un usuario trata de observar información textual

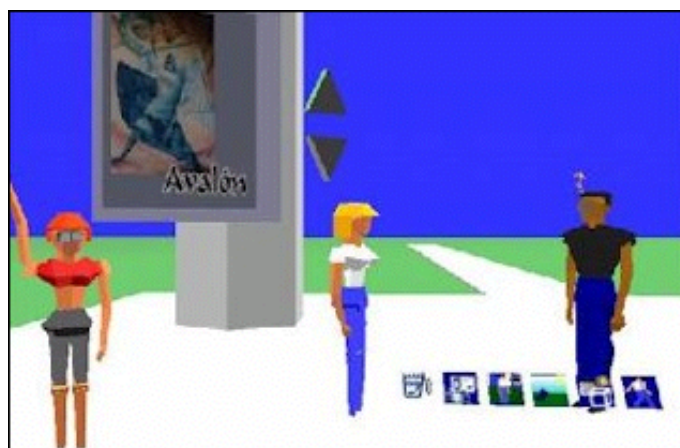


Figura 2.5: Tres avatares de usuarios se encuentran en AVALON

ha sido identificado cómo necesario en otros ambientes virtuales como MUVEES [CYL03]. MUVEES es un sistema de realidad virtual distribuido para brindar a estudiantes de educación secundaria enseñanza en distintos fenómenos naturales. En MUVESS se han estudiado distintos aspectos de los ambientes virtuales distribuidos: las arquitectura de red, representación de los usuarios y eficiencia de la aplicación. MUVEES permite la adición de información textual en forma de documentos que pueden ser vistos por todos los usuarios. El sistema carece de comunicación por audio o video.

Otro sistema de realidad virtual, AVALON [TCG<sup>+</sup>97], desarrollado previamente por nuestro grupo de investigación, se creó con la intención de explorar el uso de ambientes virtuales en red para educación a distancia. En AVALON los usuarios podían moverse libremente dentro de un mundo virtual creado para enseñar temas específicos de un curso universitario. Además del ambiente virtual, en este mundo se podía usar audio para comunicarse con los demás participantes. AVALON también pertenece a los llamados mundos virtuales inmersivos, por lo que se sufre de dificultades como las encontradas en NICE. A pesar de que se usaban símbolos de expresiones para representar distintos estados de ánimo, se hizo necesario pensar en otros métodos para mejorar la forma de comunicarse entre los estudiantes y el profesor. El video y la tele-conferencia surgieron como las alternativas más apropiadas.

En cuanto a tecnologías para el desarrollo de mundos virtuales, OpenGL [OARBWM93], y Java 3D [HS00] son tecnologías comúnmente usadas para la presentación gráfica de los ambientes. En cuanto a comunicaciones el punto de partida para el desarrollo protocolos de red se encuentran en los protocolos TCP y UDP. Singhal y Zyda presentan un excelente resumen sobre las topologías de red, métodos de distribución, protocolos y formato de datos utilizados en ambientes virtuales distribuidos [SZ99].

### **Aplicaciones colaborativas**

Las aplicaciones colaborativas permiten a dos o más usuarios realizar una tarea común desde distintos lugares. Algunas de estas aplicaciones integran distintas características de comunicación como el video, el audio o los mensajes de texto. Dichas herramientas se asemejan en principio a la herramienta propuesta por este informe. Las llamadas herramientas de mensajería, por ejemplo, son tipos de aplicaciones colaborativas bastante populares en Internet. Algunas de estas herramientas, de las cuales Cu-SeeMe [WPS99] fue la pionera, pueden verse en [Mesa] y [Mesb].

Otra aplicación de colaboración a distancia, desarrollada en la Universidad Politécnica de Madrid, es ISABEL. ISABEL integra muchas de las características requeridas para permitir clases a distancia [ea03]. Estas incluyen tele-conferencia, aplicaciones compartidas, adaptabilidad y calidad de servicio. ISABEL tiene unos requerimientos mínimos de ancho de banda para prestar tal servicio dificultando su uso sobre redes públicas. Eso hace necesario acudir a redes de área ancha privadas. Además Aunque en ISABEL pueden compartirse aplicaciones de escritorio entre los usuarios, si se tratar de un ambiente virtual no podría haber una verdadera interacción multiusuario pues esta es basada en transmisión de video a manera de algunos sistemas de remotos de ventanas cómo X-Windows [AWF91].

Los sistemas y tecnologías aquí presentados constituyen un acercamiento al estado del arte a nivel técnico en el área de aplicaciones de educación a distancia incluyendo tele-conferencia y ambientes virtuales distribuidos. Estos tipos herramientas, de una u otras forma, se ven limitadas al no proveer en conjunto un ambiente virtual, una forma simple permitir al instructor presentar un tema, o comunicarse ágilmente por medio de audio y video. Como se verá a lo largo de este informe, nuestro sistema integra los mecanismos aquí discutidos de una manera apropiada para dar soporte a la educación a distancia.

## Capítulo 3

# Metodología

Este capítulo describe las metodologías empleadas en el desarrollo del proyecto. Desde el punto de vista técnico, se describe la metodología *XP* o “Extreme Programming”. Desde el punto de vista pedagógico, se describe cómo se implementó el enfoque de la *EpC* o *Enseñanza para la Comprensión* como fundamento del proyecto. De nuevo, el diagrama 1.1 resume las entidades involucradas en el desarrollo del proyecto y sus relaciones.

### 3.1. Metodología - Perspectiva técnica

Se utilizaron conceptos de la metodología denominada Programación Extrema, se denominara XP por su nombre en inglés “Extreme Programming” con el cual es más ampliamente conocida esta metodología.

Se utilizó XP porque es una de las metodologías ágiles de desarrollo de software y está centrada en potenciar las relaciones interpersonales como clave para el éxito en desarrollo de software, promoviendo el trabajo en equipo, preocupándose por el aprendizaje de los desarrolladores, y propiciando un buen clima de trabajo. XP permite tener realimentación continua entre los investigadores y el equipo de desarrollo, comunicación fluida entre todos los participantes, simplicidad en las soluciones implementadas y una actitud positiva frente a los cambios.

El ciclo de desarrollo consiste en las siguientes fases:

1. Exploración
2. Planificación de la Entrega
3. Iteraciones
4. Producción
5. Mantenimiento
6. Muerte del Proyecto

XP tiene un conjunto de prácticas que proporcionan las guías de trabajo y determinan las necesidades de estandarización y documentación del código [CLP03]. Estas prácticas son:

**La planificación** Hay una comunicación frecuente entre el grupo de investigación y los programadores. El equipo técnico realiza una estimación del esfuerzo requerido para la implementación de los requisitos del software especificados y se decide sobre el ámbito y tiempo de las entregas y de cada iteración.

Tipo de Archivo	Extensión
Código Fuente Java	.java
Archivo de Cabecera C	.h
Código Fuente C	.c
Archivo de Cabecera C++	.hpp
Código Fuente C++	.cpp

Cuadro 3.1: Extensiones de los archivos

**Entregas pequeñas** Producir rápidamente versiones del sistema que sean operativas, aunque no cuenten con toda la funcionalidad del sistema. Esta versión ya constituye un resultado de valor. Una entrega no debería tardar más de 2 semanas. Al realizar estas entregas, los programadores retroalimentan a todo el grupo de investigación nuevas posibilidades técnicas y de funcionalidad que no habían sido consideradas.

**Diseño simple** Se debe diseñar la solución más simple que pueda funcionar y ser implementada en un momento determinado del proyecto.

**Reestructuración** Es una actividad constante de reestructuración del código con el objetivo de remover duplicación de código, mejorar su legibilidad, simplificarlo y hacerlo más flexible para facilitar los posteriores cambios. Se mejora la estructura interna del código sin alterar su comportamiento externo.

**Programación en parejas** Toda la producción de código debe realizarse con trabajo en parejas de programadores.

**Propiedad colectiva del código** Cualquier programador puede cambiar cualquier parte del código en cualquier momento.

**Integración continua** Cada pieza de código es integrada en el sistema una vez que esté lista. Así, el sistema puede llegar a ser integrado y construido varias veces en un mismo día.

**Usuarios *in-situ*** Los usuarios deben estar presentes y disponibles todo el tiempo para los programadores. Éste es uno de los principales factores de éxito del proyecto XP. Los usuarios conducen constantemente el trabajo hacia lo que aportará mayor valor al proyecto de investigación y los programadores pueden resolver de manera inmediata cualquier duda asociada. La comunicación oral es más efectiva que la escrita.

**Estándares de programación** XP enfatiza que la comunicación de los programadores es través del código, con lo cual es indispensable que se sigan ciertos estándares de programación para mantener el código legible.

### 3.1.1. Diagramas UML

Se utiliza diagramas de clases para todas las aplicaciones y cuando gran parte de la aplicación esta basada en interacción con el usuario se utilizan casos de uso.

### 3.1.2. Estándares de Programación

#### Extensiones

#### Número y Longitud de las Líneas

Los archivos de más de 2000 líneas son difíciles de leer y deberán ser evitados.

Evitar las líneas con más de 80 caracteres, dado que no son bien manejadas por las muchas terminales y herramientas, y son difíciles de leer.

**Información de Control**

Cada archivo fuente debe tener al principio la siguiente información de control:

```
Filename:  Menu.cpp
Author:    carlosp
Created:   31/12/1999
Description: Este archivo define un menu, que luego puede
.          asociarse con una BarraMenu.
```

Date	Author	Description
01/01/2000	carlosp	Adicioné la funcionalidad de íconos para el menú y traduje los textos de los menús.

Las fechas están escritas en formato DD/MM/AAAA. Después del primer **Description** se pone una línea en blanco y se ubica el control de cambios, en el que **Date** ocupa 12 espacios, **Author** 12 espacios, y **Description** el resto de la línea. En caso de necesitar más de una línea, alinear con el inicio de **Description** como en el ejemplo anterior.

**3.2. Metodología - Perspectiva pedagógica**

Se presenta la metodología de investigación pedagógica y la de área técnica en forma separada, sin embargo es conveniente enfatizar que estas son complementarias y se desarrollan de manera colaborativa y paralela. Se establece para asegurar un desarrollo coordinado y conjunto del proyecto, que apunte hacia el logro de los objetivos.

**3.2.1. Investigación Pedagógica**

En lo referente al proyecto de “Telepresencia y Realidad Virtual Aplicada a La Educación Superior”, nuestro objeto de estudio es el proceso de enseñanza - aprendizaje empleando nuevas tecnologías tales como la telepresencia y la Realidad Virtual, utilizando el enfoque pedagógico “Enseñanza para la Comprensión”, que potencia dichos procesos y permite, a la vez, la evaluación de los participantes desde la perspectiva de la comprensión (flexibilidad en los procesos de pensamiento) y sus dimensiones. El avance en la comprensión de los participantes en el estudio, se realiza desde el enfoque experimental cualitativo, enfoque que se caracteriza por el estudio interno de las descripciones de los acontecimientos y la interpretación de los significados

El modelo de investigación experimental cualitativa trata de comprender el ambiente de aprendizaje que se genera al introducir, como un elemento esencial, la telepresencia y la realidad virtual, juzgando no solamente los resultados obtenidos en relación con los recursos con los que se cuenta, sino también los fines que se propone, su organización, su funcionamiento interno y los impactos que produce en el alumno y en el entorno. Este tipo de investigación está orientada a determinar más el significado del fenómeno que su cuantificación.

Nuestro enfoque se aproxima a lo expresado por Santos Guerra (1988) en los siguientes términos:

“Se investiga para comprender la naturaleza de los programas, para mejorar a través del análisis y de los resultados de lo que se hace y lo que se pretende hacer y para generar y reforzar teorías interpretativas de la realidad. La investigación evaluativa que se propone no tiene solamente la pretensión de etiquetar un programa como bueno/malo, ni siquiera la de facilitar la toma racional de las decisiones sobre otros programas o la continuidad o mejora del que se ha evaluado, sino que se convierte en un instrumento, en un proceso permanente entre la racionalidad teórica y la racionalidad práctica”

Con este enfoque se asocian en forma natural metodologías de recolección y análisis de información tanto cuantitativas como cualitativas; de hecho, la fuerza del modelo elegido se apoya en el uso de múltiples fuentes de información, con énfasis en la observación directa, observación participante, análisis de protocolos verbales, diario de procesos, grabaciones de video, etc. La triangulación entre varias fuentes, pasa a ser una técnica imprescindible al ser empleada en la evaluación de desempeños de los alumnos, a través del marco teórico de la EpC

Se da importancia metodológica a:

- La observación participante: la que llevan a cabo los docentes (investigadores en este caso) y los alumnos, que participan en la experiencia y son expresamente instruidos para el registro de información. Se describe, se analiza, se interpreta y se registran situaciones de los grupos durante el desarrollo de la investigación. La observación se realiza a través de la comparación y análisis de semejanzas y diferencias, en las variables elegidas para la investigación.
- El Diario de Procesos es el formato utilizado para la recolección de la información, al emplear el enfoque pedagógico de Enseñanza para la Comprensión, se pretende estudiar a profundidad la comprensión de los conceptos esenciales del área evaluada, verificando que para los participantes “el conocimiento sea una herramienta para explicar, reinterpretar y operar en el mundo”.
- El Portafolio, o carpeta de producción del alumno, en la que va consignando todas sus producciones y hay registro de los procesos de cada grupo, en la realización de sus trabajos. A través de la realización del portafolio se pretende conocer, el desarrollo de habilidades necesarias para profundizar en dicha comprensión, reafirmando que “cuando la comprensión deja de ser información acumulada en la mente de los alumnos y se convierte en un permiso para la acción, deben ser tomados en cuenta nuevos aspectos de la comprensión”
- El análisis de resultados cognitivos se basa en un estudio experimental diseño de grupo control y grupo caso, con aplicación de pre y postest.
- Como variables se definieron las categorías del marco teórico pedagógico que se aplica: “Enseñanza para la Comprensión, en concreto, se analizan los resultados de los estudiantes en las cuatro dimensiones del marco de la comprensión -understanding frame-: Conocimientos, Métodos, Propósitos y Forma (ver adelante descripción detallada en Análisis de resultados)

La investigación cualitativa es especialmente útil cuando se está interesado en la estructura de los acontecimientos antes que en su distribución general, cuando los significados y el punto de vista de los participantes son importantes, cuando la experimentación es poco práctica y cuando se desea encontrar nuevos vínculos, aún no descubiertos por la investigación experimental

### 3.2.2. Observaciones durante la experiencia

Para el desarrollo del proyecto “Telepresencia aplicada a la Educación Superior”, se tomó como muestra dos grupos de estudiantes de Ingeniería de Sistemas de la Universidad EAFIT que estaban cursando la materia computación gráfica. La primera experiencia se realizó con los alumnos que matricularon la materia el segundo semestre del año 2003 y la segunda con los alumnos que la matricularon el primer semestre del año 2004. Cada grupo se dividió en dos, un grupo experimental y un grupo control. Para la primera experiencia el número de alumnos fue cuatro para cada grupo, mientras que en la segunda experiencia el número de alumnos para el grupo experimental fueron cinco y cuatro para el grupo de control.

Los alumnos que esta experiencia presentaban las características típicas de la población estudiantil: egresados hace 2 ó 3 años del bachillerato, de colegios privados, de nivel socio económico medio alto o alto.

Se observó gran interés por parte de los estudiantes, estuvieron dispuestos a realizar las actividades y colaborar en el proceso; además manifestaron el agrado constante por participar en la investigación

como medio para el mejoramiento de su aprendizaje. Con respecto al manejo técnico, durante el desarrollo de las experiencias, se observó que generaron diversas expectativas en los estudiantes, debido a que eran novedosas y generaban un ambiente diferente de clase en el cual ellos sentían que podían participar e interactuar más y mejor con sus compañeros y con el profesor, además sentían que este tipo de experiencia les aportaría en su proceso de aprendizaje, tenían plena confianza en que la utilización de estas nuevas tecnologías les ayudaría entender mejor los contenidos de la clase y así tener mejores desempeños

El grupo control continuó con el proceso de normal dentro de su clase, manejando algunas herramientas (Java 3D, open GL) para el trabajo de los contenidos de la materia de computación gráfica, pero sin hacer mayores cambios en la metodología y los apoyos empleados en el aula de clase.

El grupo experimental, trabajó bajo la modalidad propuesta por el proyecto para esta primera fase: los estudiantes elegidos recibían su clase utilizando los medios de la telepresencia y la Realidad Virtual. El profesor dictaba su clase utilizando una herramienta que le permitía ver y escuchar en la pantalla de su computador a sus alumnos, con quienes se simulaba la distancia física, la experiencia se llevó a cabo en el campus de la Universidad Eafit. El grupo de estudiantes había estado trabajando bajo condiciones normales durante ocho (8) semanas, cuando comenzó la experiencia se dividieron los grupos en control y experimental, los cuales estuvieron seis semanas simulando las condiciones necesarias para llevar a cabo la investigación.

En la figura 3.1 se ilustra el espacio de trabajo del profesor. El profesor dispone de los siguientes recursos:

- Computador, el cual debe tener instalado: Java, Java Media Framework y la API de comunicaciones de Java.
- WebCam
- Micrófono
- Sensor electromagnético de posición para la interacción con los objetos virtuales.

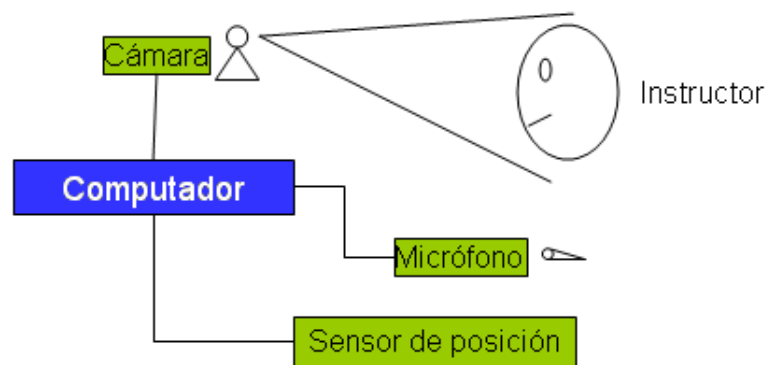


Figura 3.1: Configuración del espacio de trabajo del profesor

Así mismo el aula donde se encuentran los estudiantes debe estar dotada con los siguientes recursos:

- Computador, el cual debe tener instalado: Java, Java Media Framework y la API de comunicaciones de Java.
- WebCam

- Micrófono
- Proyector
- Pantalla de proyección

La figura 3.2 se muestra la configuración del aula de los estudiantes. La interacción de los estudiantes con los objetos virtuales se hace utilizando el mouse.

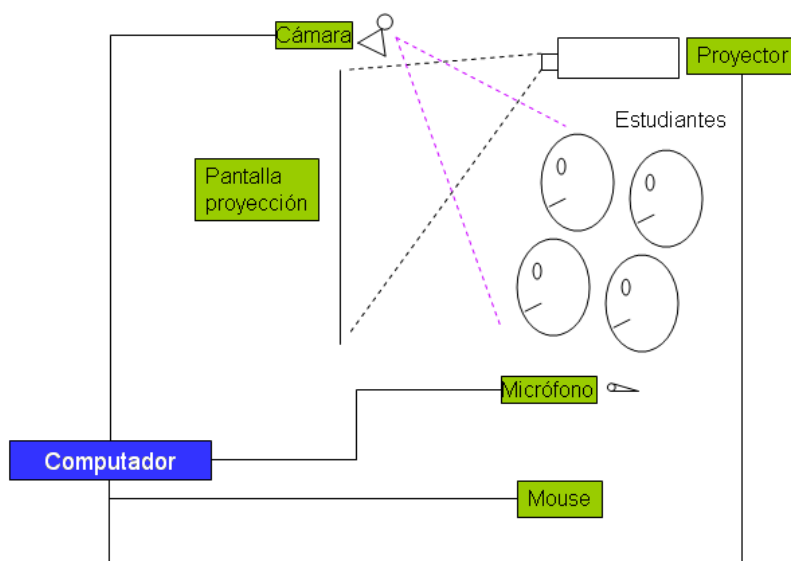


Figura 3.2: Configuración del espacio de trabajo de los estudiantes

Durante el desarrollo de las clases, el docente a cargo de la materia de computación gráfica (investigador principal), dictaba los contenidos de la unidad a través de la herramienta de telepresencia y se apoyaba en la ventana de contenidos, para reforzar en los alumnos los temas trabajados. De igual manera se permitió a los alumnos interactuar con la herramienta de realidad virtual, y así reforzar los conocimientos adquiridos durante la sesión de clase y despejar algunas dudas de los estudiantes al realizar algunos desempeños en los diferentes temas tratados en la unidad de 3D.

Ambos grupos recibieron un entrenamiento básico en el enfoque de Enseñanza para la Comprensión, dado que el proyecto final del curso, que los alumnos deberían presentar, estaba diseñado con dicho enfoque. Cada grupo debía elegir un tema a desarrollar con los contenidos vistos durante la experiencia de investigación, los proyectos apuntaban al desarrollo de la comprensión sobre un contenido de interés para los estudiantes, participantes en la experiencia.

En el primer semestre del año 2004 se tuvo la oportunidad de entrar en contacto con la escuela de ciencias básicas de la Universidad Eafit, se propuso la realización de una experiencia investigación en la materia de “Electricidad y Magnetismo”, la cual es tomada por estudiantes de diferentes carreras y diversos semestres. Al igual que en la materia de computación gráfica, se diseñó una de las unidades del curso con el enfoque de la EpC (ver contenidos), para el trabajo del proyecto final del curso con dicha metodología y se desarrollaron los contenidos para ser trabajados por los alumnos con la herramienta de realidad virtual.

## Capítulo 4

# Productos

En este capítulo se describen las creaciones realizadas por el grupo durante el tiempo de desarrollo. Desde el punto de vista pedagógico, se describe en la sección 4.1 cómo se diseñó cada uno de los cursos al marco de la Enseñanza para la comprensión. Desde el punto de vista técnico, el producto es la plataforma computacional desarrollada, descrita en detalle en la sección 4.2. Finalmente, en la sección 4.3, se presentan los contenidos de los cursos en la plataforma.

### 4.1. Productos - Perspectiva Pedagógica

Con miras a validar la utilidad pedagógica de la herramienta construida, se realizó la experiencia pedagógica descrita en detalle en la sección 3.2. En cada experiencia, se dividió el grupo de estudiantes en dos grupos: el grupo experimental recibió la clase utilizando la herramienta, mientras que el grupo de control recibió la clase con la metodología normal. En ambos casos, se adoptó el marco pedagógico de la Enseñanza para la Comprensión (EpC). Las experiencias tuvieron una duración de 6 semanas aproximadamente, lo cual equivale aproximadamente a un 30% de la duración de las clases en la universidad EAFIT.

En vista de que se utilizó la Enseñanza para la Comprensión como marco teórico de las experiencias, se adaptaron las partes correspondientes del curso al marco de la EpC.

Las experiencias se llevaron a cabo en la materia de Computación Gráfica, semestres 2003–1 y 2004–1 y la materia Electricidad y Magnetismo, en el semestre 2004–1.

#### 4.1.1. Curso de Computación Gráfica

A continuación se transcribe el diseño del currículo del curso de Computación Gráfica en términos del modelo Enseñanza para la Comprensión<sup>1</sup>. Este currículo fue creado utilizando la herramienta “ccdt” (Collaborative Curriculum Design Tool). Esta herramienta está disponible como una aplicación web para permitir que personas de diferentes partes del mundo creen un currículo de manera colaborativa. La dirección de la aplicación es:

<http://learnweb.harvard.edu/ccdt/index.cfm>

#### Tópico Generativo

¿Qué problemas de la vida real puedo resolver utilizando gráficas 3D?

#### Hilos Conductores

- *Pensamiento formal*

---

<sup>1</sup>Los elementos de la EpC están descritos en la sección 2.1

Los estudiantes desarrollarán la habilidad de expresar, en términos matemáticos, el conocimiento intuitivo acerca de cómo se ven los objetos en una escena 3D.

- *Resolución de Problemas* Los estudiantes desarrollarán la habilidad de resolver problemas (bien sea relacionados con la industria o la academia) utilizando las herramientas algorítmicas desarrolladas en el curso.
- *Realismo Visual* Los estudiantes comprenderán cómo las diferentes técnicas pueden ser utilizadas para desplegar objetos que se semejan en alta medida a los objetos en la realidad.

### Metas de Comprensión por Unidad

- *Elementos básicos* Los estudiantes comprenderán como los puntos, las líneas y los polígonos se combinan para construir objetos 3D.
- *Curvas Paramétricas* Los estudiantes comprenderán cómo especificar una curva en el espacio, con base en varios puntos de control.
- *Superficies Paramétricas* Los estudiantes comprenderán cómo definir una superficie en el espacio con base en varios puntos de control que puede mover el usuario.
- *Transformaciones* Los estudiantes comprenderán cómo operan las transformaciones básicas de puntos y objetos en 3D: traslación, escalamiento y rotación.
- *Iluminación* Los estudiantes comprenderán cómo interactúan los materiales del objeto con las propiedades de las fuentes de luz para producir imágenes con un grado aceptable de realismo visual.
- *Texturas* Los estudiantes comprenderán cómo envolver un objeto 3D con una imagen que se aplica como textura.

### 4.1.2. Curso de Electricidad y Magentismo

A continuación se transcribe el diseño del currículo del curso de Electricidad y Magnetismo en términos del modelo Enseñanza para la Comprensión.

#### Tópico Generativo

La electricidad

#### Hilos Conductores

1. Mediante la utilización de herramientas computacionales de virtualidad se puedan desarrollar niveles de abstracción que les permitan generar una imagen de los fenómenos en los cuales se encuentra la presencia de carga eléctrica.
2. Los estudiantes relacionarán la fuerza eléctrica, el campo eléctrico, la energía potencial y el potencial eléctrico como variables asociadas con la presencia de carga en el espacio.
3. Los alumnos comprenderán como se produce la energía eléctrica

### Metas de Comprensión

1. El estudiante debe identificar los procesos mediante los cuales se genera diferencia de carga eléctrica.
2. Mediante el uso de la historia establecer cuales fueron las diversas posturas que dieron origen a nuestra concepción actual de electricidad.
3. El estudiante utilizará sus conocimientos en la identificación y explicación de algunas aplicaciones de la electrostática.
4. Mediante la utilización de la Ley de Coulomb resolver ejercicios que permitan desarrollar su destreza matemática, de tal manera que se les facilite la explicación del fenómeno electrostático elegido
5. Es necesario que los alumnos comprendan que el campo eléctrico producido por distribuciones de carga es tridimensional.
6. Los estudiantes comprenderán como aplicar el concepto de flujo y la ley de Gauss para hallar el campo eléctrico en un punto debido a diferentes distribuciones de carga.
7. El estudiante utilizará adecuadamente un programa de realidad virtual interactivo, que le permita comprender fenómenos eléctricos, como por ejemplo situaciones en las cuales se produzcan diferencias de carga.

## 4.2. Plataforma Telepresencia

Se desarrolló una herramienta compuesta por 3 ambientes: un ambiente de multimedia (audio y video), un ambiente de realidad virtual y un ambiente para presentación de diapositivas.

### Ambiente Multimedia

El ambiente de multimedia implementa la captura y visualización del video local y remoto, así como la captura de audio. Se desarrolló apoyados en la API de Java, JMF (Java Media Framework).

En la figura 4.1 se observan dos paneles, en el primero se visualiza el video local y en el segundo el video remoto. En la parte superior de cada video se encuentran los controles del audio y del video, el usuario puede cambiar los parámetros.

**Ambiente Diapositivas** Este ambiente permite utilizar ayudas visuales tipo diapositivas para apoyar el desarrollo de la sesión.

La presentación es guardada como una secuencia de imágenes en formato JPG, luego se crea un archivo de texto con el listado de las imágenes en el orden en que estas deben ser mostradas. La aplicación lee el archivo de texto para identificar la imagen que debe mostrar.

Los controles para el manejo de las diapositivas solo están presentes en la aplicación que corre el profesor. En la parte inferior de la figura 4.2 se observan los controles para moverse a través de las diapositivas, se puede abrir una presentación, ir a la siguiente diapositiva, a la diapositiva anterior, a la primera diapositiva o al final de la presentación.

El ambiente de diapositivas y el ambiente de Realidad Virtual comparten el mismo panel y son mutuamente excluyentes, es decir, cuando el ambiente de diapositivas está activo el ambiente de Realidad Virtual no y viceversa. El profesor es único que puede cambiar de un panel a otro.



Figura 4.1: Ambiente Multimedia

**Ambiente Realidad Virtual** Este es el espacio para visualizar con ayuda de la Realidad Virtual los contenidos del curso elegido. Se han desarrollado 9 contenidos para el curso de computación gráfica y 5 contenidos para Electricidad y Magnetismo, en las secciones 4.3.1 y 4.3.2 se hace una descripción para cada contenido.

En este ambiente está disponible la interacción con el sensor de posición electromagnético (Figura 4.3) y con el mouse. Los contenidos visuales se deben personalizar dependiendo de la materia que se desee dictar con la herramienta.

Además de los contenidos, como se mencionó anteriormente este ambiente define la interacción del usuario con los objetos virtuales, utilizando del sensor de posición, para el caso del profesor y el mouse, para el estudiante. Las interacciones posibles con ambas interfaces permiten la creación de objetos tridimensionales y la modificación de los objetos.

Cada contenido consta de dos partes (ver figura 4.4), un panel donde se muestran los objetos 3D (panel de realidad virtual) y otro panel en el cual se despliegan las ecuaciones o expresiones relacionadas con el contenido, o sea, la fundamentación matemática, a este panel se le llama panel de control, también permite modificar algunas propiedades de los objetos virtuales según el contenido.

En la figura 4.5 se observan los ambientes integrados.

#### 4.2.1. Arquitectura General

El sistema presenta las siguientes características:

- Cliente/Servidor
- Punto a Punto

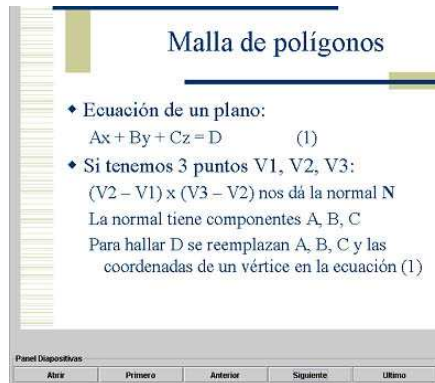


Figura 4.2: Ambiente de Diapositivas



Figura 4.3: Sensor de Posición Electromagnético

Teniendo el rol de cliente por parte del ESTUDIANTE o Grupo de Estudiantes, y el rol de Servidor por parte del PROFESOR.

Los Servicios telemáticos entre las partes son:

1. Transmisión de Audio y Video en Tiempo Real entre las partes
2. Visualización de Diapositivas
3. Visualización y Control de Objetos de Realidad Virtual
4. Control Remota de la Interfaz GUI

La figura 4.7 muestra una relación entre los diferentes servicios del sistema.

### **Transmisión de Audio y Video en Tiempo Real**

La transmisión de Audio y Video se realiza de forma estándar utilizando el protocolo RTP/RTCP (Real-Time Protocol/Real-Time Control Protocol), utilizando el framework de Java JMF (Java Media Framework).

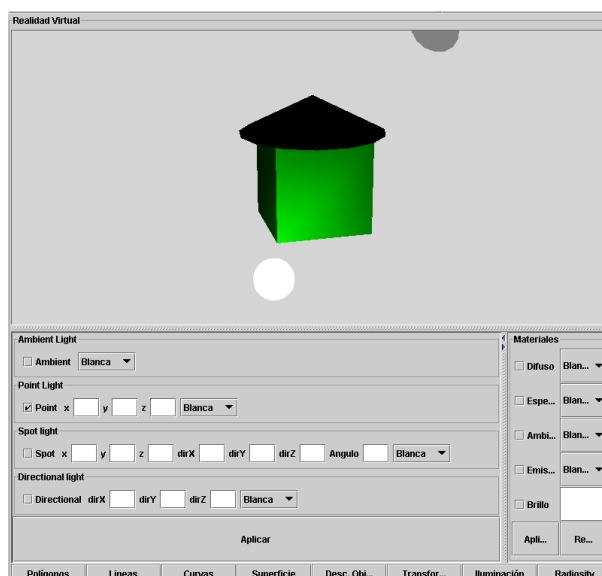


Figura 4.4: Módulo de Realidad Virtual

Igualmente, la transmisión de video y audio utiliza codificadores estándar para el video con MJPEG (Motion JPEG) y H.263 y para el audio con GSM y G.723.1

Inicialmente, se ha definido una resolución para el video de 320x240, que incrusta en la interfaz del usuario de la aplicación, tanto para el video/audio LOCAL como video/audio REMOTO.

Una consideración importante del diseño, es la velocidad requerida en la red para la transmisión de este tipo de medios así como la calidad del servicio que se puede obtener de la red.

Actualmente, se utiliza el servicio de mejor esfuerzo (best-effort), lo que quiere decir que no hay forma de garantizar cierta calidad del servicio para una sesión del sistema. En versiones futuras del sistema, este tema se incluirá, así como la priorización de tráfico.

Los requerimientos de ancho de banda para una sesión de video conferencia se muestran en la tabla 4.1.

Video	Audio
MJPEG = 384 Kbps	GSM = 13 Kbps
H.263 = 64-128Kbps	G.723.1 = 5.6-4.8 Kbps

Cuadro 4.1: Requerimientos de Ancho Banda

La figura 4.8 muestra la Arquitectura Software para la transmisión de video y audio entre las partes basadas en Java Media Framework.

### Visualización Remota de Diapositivas

Como un mecanismo para mejorar el nivel de interacción entre los ESTUDIANTES y el PROFESOR, se ha dispuesto de un servicio para la Visualización Remota de Diapositivas controladas por el profesor, es decir, cuando el profesor determina la conveniencia de utilización de este medio, éste controla la presentación que observa el ESTUDIANTE.

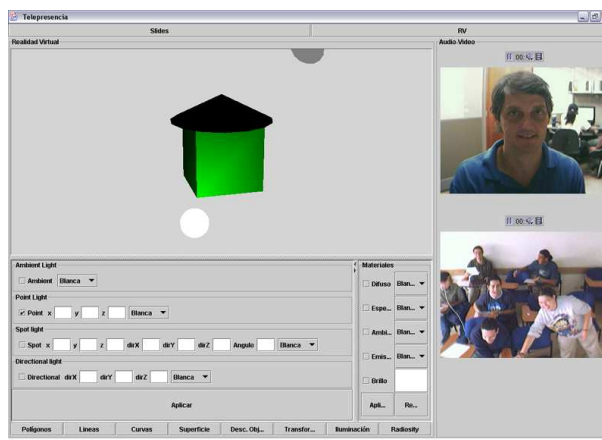


Figura 4.5: Herramienta Telepresencia, con el panel de Realidad Virtual activo

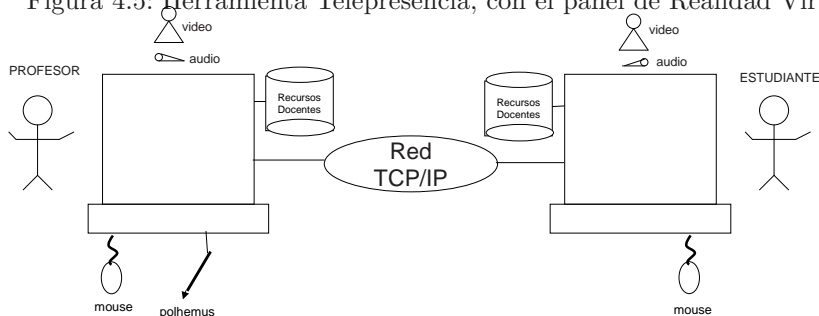


Figura 4.6: Arquitectura General del Sistema

Cada una de las partes, debe contar con la presentación previamente instalada en su máquina (este aspecto se mejorará en la siguiente versión, ya que se pretende que las partes puedan localizar dinámicamente los recursos necesarios para la sesión de un Servidor dispuesto para proveer los diferentes tipos de recursos al sistema) y básicamente la interacción que se realiza en el sistema distribuido para este punto, se refiere a la transmisión de información de control de la presentación como Inicio, Siguiente, Anterior y Última.

Esta información de control es transmitida mediante el protocolo TCP, encapsulado en el objeto de red "TCPClient".

### Control Remoto de la Interfaz GUI

Para la manipulación de los objetos de realidad virtual por ambas partes, se transmiten a través de la red, todos los eventos generados por las interfaces relativos a los movimientos del mouse (en las dimensiones x,y) y los movimientos del sensor de posición o apuntador en 3D (en las dimensiones x,y,z).

Esta información es transmitida a través de una conexión de red no confiable UDP representada por el objeto de red "UnicastClient".

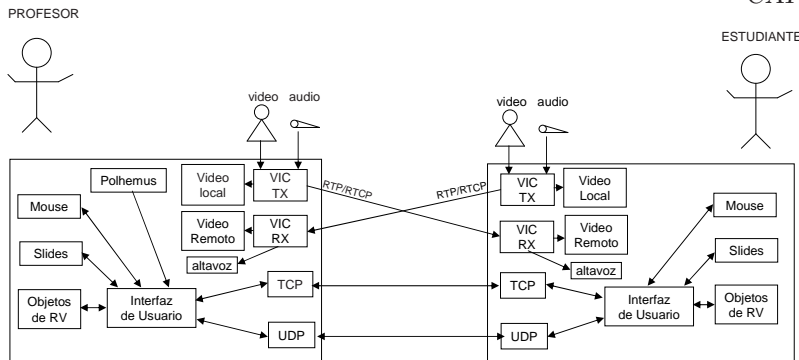


Figura 4.7: Arquitectura Detallada

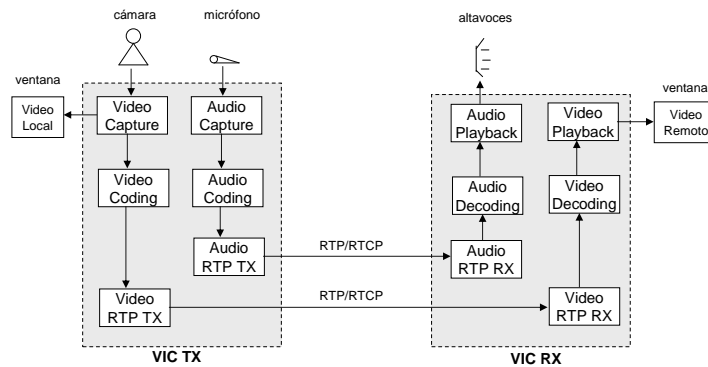


Figura 4.8: Arquitectura Multimedia del Sistema

#### 4.2.2. Protocolos de comunicaciones

Como se mencionó en la sección 4.2.1, son varios los objetos que requieren comunicación entre nodos del sistema. Básicamente la aplicación utiliza tres protocolos:

1. Protocolo RTP/RTCP
2. Protocolo TCP
3. Protocolo UDP

El protocolo RTP/RTCP se utiliza para la transmisión y control de los datos multimedia relacionados con el video y el audio en tiempo real, si bien actualmente la aplicación transmite correctamente el video y el audio, el control directo relacionado con el audio y el video relativo a la información suministrada por el RTCP no es utilizada en esta primera etapa.

La información de RTCP es importante dado que permite conocer el nivel de recepción de los flujos multimedia, para tomar acciones concretas ya sea de priorización de tráfico o alterar requerimientos de Ancho de Banda o relacionados directamente con los medios (cambio de resolución, cambio de codificador, selección de un medio específico - audio o video).

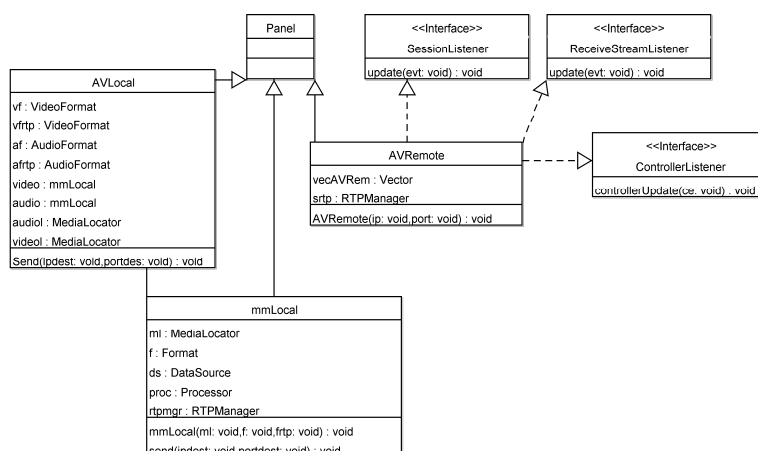


Figura 4.9: Diagrama UML para el módulo de Multimedia

El protocolo RTP/RTCP hace parte de la especificación de Java Media Framework, un marco de trabajo desarrollado bajo la comunidad de Java que permite de una forma integrada manejar los dispositivos de captura y reproducción (cámaras, micrófonos, etc), dispositivos de salida (altavoces, monitor, etc), maneja diferentes codificadores de video y audio y finalmente provee la transmisión de los medios codificados por la red mediante el protocolo RTP/RTCP tanto unicast como multicast (aunque esta primera versión del sistema, solo utiliza tráfico unicast).

El protocolo TCP básicamente se utiliza para la transmisión de información de control entre los nodos distribuidos.

El protocolo UDP se emplea para la transmisión de los eventos del mouse relacionados con la interfaz y en el módulo de diapositivas se utiliza como un señalador.

### Diseño e Implementación de los Objetos Multimedia bajo JMF

Como se mencionó en la parte anterior, los objetos de la aplicación de telepresencia que manejan la parte del audio y el video para proveer las comunicaciones en tiempo real entre el profesor y el alumno, están implementadas en Java Media Framework.

Se implementaron dos objetos que abstraen todos los elementos relacionados con estas comunicaciones, y para la arquitectura general del sistema, se observan como dos componentes que se insertan en la interfaz gráfica de usuario.

Dichos objetos son:

1. AVLocal
2. AVRemote

La figura 4.9 muestra el diagrama UML del diseño e implementación del módulo de multimedia.

Como se puede observar en la figura 4.9 relacionada con el diagrama UML de la parte multimedia, éstas heredan directamente de la clase "Panel", lo que les permite adicionarse a la interfaz gráfica de la aplicación.

### Diseño e Implementación del protocolos de comunicaciones bajo TCP y UDP

Se ha diseñado un conjunto de clases que permite abstraer todas las comunicaciones de los demás objetos de la aplicación, como interfaz gráfica, movimientos del mouse, control de diapositivas, etc.

Se ha definido como clase principal a “Network”, clase que permite recibir y enviar datos hacia y desde la interfaz, así como hacia y desde la red a través del protocolo TCP y UDP. La relación del objeto “Network” con los objetos de interfaz y red puede observarse en el diagrama de clases de la figura 4.10. Puede observarse como para TCP, se ha implementado las clases TCPClient (módulo de transmisión) y TCPReceiver (modulo de recepción). Para UDP, se ha implementado las clases “UnicastClient”(modulo de transmisión) y “UnicastReceiver”(modulo de recepción). Los módulos de recepción se implementaron como clases activas, es decir, que corren bajo su propios hilos de ejecución. Estos, cuando reciben datos, notifican a la clase “Network” quien a su vez notifican a las interfaces interesadas en los eventos particulares. El diagrama de secuencia de la figura 4.11 muestra la interacción entre tales componentes. Obsérvese como un objeto que implemente la interfase “MessageArrayListener” recibe los eventos de la red a través de los métodos “messageArrived()”.Cualquier objeto interesado en recibir mensajes debe implementar tal interfase.

Por otro lado, las clases de interfaz gráfica cuando generan información para ser transmitida por la red, invocan los servicios de transmisión de la clase Network, quien a su vez, invoca la clase particular de protocolo. El objeto de interfase está representado por el primer objeto a la izquierda en el diagrama de secuencias.

Los mensajes que se envían por la red están codificados como texto y tienen el formato que se muestra en la tabla 4.2

TM	SM	Datos
----	----	-------

Cuadro 4.2: Formato Mensaje

Donde,

- TM: Tipo de Mensaje, que está representado por un entero.
- SM: Separador de Mensaje. Es el carácter usado para separar los elementos del mensaje, en este caso se utiliza la coma.
- Datos: Es la información que lleva el mensaje.

Los tipos de mensajes que se envían por la red son los siguientes:

**Telepointer Message** Envía un mensaje con la posición del teleapunador como una matriz de cuatro por cuatro

**Content Creation Message** Especifica que se ha cambiado de contenido enviando el nombre del contenido que debe cargarse.

**Slide Message** Con este tipo de mensaje, se envía el nombre del archivo de la diapositiva que se está mostrando actualmente, sólo el profesor envía mensajes de este tipo, porque él es el único que puede abrir y cambiar de diapositivas.

**Panel Message** Este tipo de mensaje especifica que se ha cambiado del panel de realidad virtual al panel de diapositivas y viceversa. El dato que se envía es la letra “r” para realidad virtual y “s” para diapositivas.

**Content Change Message** Este tipo de mensaje se utiliza para enviar datos correspondientes a los eventos ocurridos en los contenidos.

**Mouse Motion Message** Este tipo de mensaje se utiliza para enviar las coordenadas (x,y) de la posición del apuntador del mouse, estos datos se utilizan en el ambiente de diapositivas para que los estudiantes puedan ver a que parte de la diapositiva está señalando el profesor.

### 4.3. Contenidos de los cursos en la plataforma de Telepresencia

En esta sección se describen los contenidos de los cursos de Computación Gráfica y el de Electricidad y Magnetismo, tal como se implementaron en la plataforma.

#### 4.3.1. Contenidos de Computación Gráfica

##### Segmento paramétrico de recta

Este contenido permite crear una línea a partir de dos puntos. Como se observa en la figura 4.12 el espacio 3D está cubierto por una nube de puntos; utilizando el sensor de posición electromagnético o el mouse, el usuario puede elegir pares de puntos para generar una recta 3D. El programa pinta la línea y despliega la ecuación paramétrica <sup>2</sup> de la recta para cada uno de sus componentes. El usuario también puede deslizar el apuntador (mouse o sensor de posición) sobre la línea y el programa despliega el valor de t.

##### Metas de Comprensión

1. Comprender cómo expresar matemáticamente un *segmento* de recta que tiene inicio, final y dirección.
2. Comprender cómo el segmento y las ecuaciones correspondientes, cambian al cambiar el punto inicial y final.
3. Comprender que hay una ecuación paramétrica por cada dimensión que se esté trabajando.
4. Comprender cómo expresar en lenguaje matemático la intersección de dos segmentos de recta.
5. Comprender cómo el parámetro  $t$  va generando el segmento a medida que toma valores entre 0 y 1.

##### Polígonos

Al igual que en el contenido anterior, en el espacio 3D también hay una nube de puntos. El usuario puede crear un polígono de tres lados seleccionando 3 de estos puntos. A medida que se van seleccionando los puntos se van dibujando las líneas que conforman el polígono y al final se visualiza el polígono completo y su normal como se ve en la figura 4.13. En el panel de control se muestra la coordenada (x,y,z) del último punto seleccionado, la ecuación de la última recta formada, la ecuación del polígono y las componentes (x,y,z) de la normal del plano.

##### Metas de Comprensión

1. Comprender la relación de jerarquía que hay entre puntos, aristas y polígonos.
2. Comprender cómo cambia la ecuación del plano al cambiar los puntos que conforman el polígono.
3. Comprender la relación entre el plano y su normal, y ver la relación íntima entre las ecuaciones de ambos.

---

<sup>2</sup> $P = P_0 + t(P_1 - P_0)$

### Curvas Paramétricas

Este contenido le permite al usuario crear una curva de Bezier seleccionando los puntos a los cuales la curva se debe aproximar, a estos puntos se les llama puntos de control. La curva solo pasa por el punto inicial y el punto final, y se aproxima a los puntos intermedios. En la figura 4.14 la curva (de color rojo), tiene tres puntos de control, el punto inicial y final por donde pasa la curva y un punto intermedio por el que se aproxima. La línea amarilla representa la línea formada por los puntos de control. El usuario puede deslizar el apuntador (mouse, sensor de posición) por la curva y el programa le despliega el valor del parámetro  $t$ . Además en el panel de controles se muestra la ecuación de la curva de Bezier.

### Metas de Comprensión

1. Comprender que una curva de Bresenham pasa por los puntos inicial y final, y se aproxima a los puntos intermedios.
2. Comprender cómo la curva (y las correspondientes ecuaciones) cambian a medida que se mueven los puntos de función.
3. Comprender cómo funcionan las funciones de combinación.
4. Comprender que hay una ecuación por cada dimensión.
5. Comprender cómo el parámetro  $t$  va generando la curva a medida que toma valores entre 0 y 1.
6. Comprender que la resolución, dada por el incremento que el parámetro toma entre 0 y 1 es, en general, diferente del número de control.

### Superficies de Bezier

El concepto de curvas de Bezier se puede extender de usar un parámetro al uso de dos parámetros, formando así superficies en vez de curvas[TAM02]. Para este contenido se construyó una superficie de Bezier (ver figura 4.15). Los puntos de control de la superficie están unidos por la línea roja, el usuario puede seleccionar cualquiera de estos puntos utilizando el apuntador (mouse, sensor de posición) y arrastrarlo en cualquier dirección para ver como se deforma la superficie.

### Metas de Comprensión

1. Comprender cómo generar una superficie a partir de un conjunto de puntos de control que escoge el usuario.
2. Comprender que la superficie de Bresenham pasa por los puntos de las esquinas y se acerca a los demás puntos de control.
3. Comprender por qué es necesario tener dos parámetros  $u$  y  $v$ ; y comprender también cómo se genera la superficie a medida que cambia los valores de  $v$  y  $u$ .
4. Comprender que, con base en las ecuaciones de Bresenham se genera un número finito de polígonos que conforman la superficie.

### Descripción de Objetos 3D

Un objeto se puede describir mediante una malla de polígonos o usando superficies paramétricas como superficies de Bezier. Este contenido le permite al usuario crear un objeto a partir de polígonos seleccionando puntos. En la figura 4.16 se ve una pirámide de base cuadrada, cada cara es un polígono. En el panel de controles se despliega la ecuación de la última línea y el último plano dibujado.

### Metas de Comprensión

Las metas de comprensión de este contenido son las mismas de los contenidos: Segmento paramétrico de la recta y Polígonos.

### Transformaciones 3D

Las transformaciones son la herramienta básica para manipular objetos. Las transformaciones básicas son: rotación, translación y escalamiento, cada una se representa con una matriz y se pueden combinar utilizando operación de matrices como la multiplicación [TAM02]. Este contenido le permite al usuario rotar, escalar y trasladar un objeto virtual, este caso una casa (ver figura 4.17).

En el panel de controles el usuario escoge la transformación que desea aplicarle al objeto, el eje  $(x,y,z)$  de transformación y el valor que se quiere trasladar, rotar o escalar; una vez se haya ingresado la información necesaria se debe presionar el botón “aceptar” para que los cambios sean efectivos.

En la figura 4.18 se muestra el resultado de un escalamiento en el eje  $x$  y una rotación en el eje  $y'$ . En el panel de control también se despliegan las matrices de cada transformación y la matriz compuesta, o sea, la matriz que queda como resultado después de escalar y rotar la casa.

### Metas de Comprensión

1. Comprender que las expresiones matemáticas de la traslación y la rotación se corresponden con los movimientos que hacemos con los objetos reales.
2. Comprender la relación entre el escalamiento y el estirar un objeto flexible.
3. Comprender qué ocurre cuando un objeto se rota o se escala y no está en el origen de coordenadas.
4. Comprender que la composición de transformaciones se corresponde con multiplicación de matrices.
5. Comprender que el orden en el cual se efectúan las transformaciones si es importante.
6. Comprender como componer transformaciones individuales para lograr una transformación arbitraria.
7. Comprender la relación entre las transformaciones geométricas del objeto y las matrices de transformación correspondientes.

### Iluminación y Materiales

Cuando se despliegan imágenes basadas en escenas 3D no solo se desea que sean correctas geométricamente sino que tenga una apariencia visual realista. La apariencia visual se consigue utilizando una combinación de técnicas tales como: La asociación de materiales a las superficies, definición de fuentes de luz, aplicación de texturas, creación de neblina y simulación de transparencia.

Existen cuatro fuentes de luz básicas: luz puntual, luz direccional, luz ambiental y “spotlight”. Además de la iluminación para lograr un efecto realista en la escena, al objeto se le asigna un material que tiene componentes: difusa, especular, ambiental y emisiva.

Para este contenido, la casa (figura 4.19) es el objeto 3D, la esfera y el cono representan la luz puntual y spotlight respectivamente, por teoría, las luces ambiental y direccional no tienen posición, por esta razón no representación en la escena.

El programa permite: encender y apagar cada una de las luces, cambiar la posición (spotlight, spot), cambiar la dirección (direccional) y el color. Además permite cambiar el color a cada una de las componentes del material y aplicarlo al objeto.

### Metas de Comprensión

1. Comprender los conceptos de luz ambiental, difusa y especular.
2. Comprender la relación entre el aspecto visual de un material y los coeficientes  $k_a$ ,  $k_d$  y  $k_s$  y  $n$ .
3. Comprender el efecto visual que resulta de la interacción del color del objeto y el color de la luz.
4. Comprender cómo cambia el aspecto visual a medida que la fuente de luz se mueve con respecto al objeto.

### Texturas

Aplicar una textura es un proceso que modifica la apariencia de una superficie utilizando una imagen. El programa le permite al usuario cambiar las coordenadas de textura para cada vértice con el fin de observar que le sucede al plano (figura 4.20) cuando la coordenada está por encima o por debajo del intervalo  $[0,1]$ . Las opciones “wrap” (envolver) y “clamp” (estirar) cambian la forma como se distribuye la textura cuando las coordenadas de textura están fuera del intervalo,  $u$  representa el eje X y  $v$  el eje Y. Por otro lado, las opciones: *replace* (reemplazar), *decal* (calcomanía), *modulate* y *blend* determinan como se combina la textura con el material del objeto.

### Metas de Comprensión

1. Comprender cómo se puede “mapear” una textura a un polígono.
2. Comprender qué ocurre al “mapear” texturas cuando el área del polígono y del “bitmap” que se utiliza son muy diferentes.
3. Comprender cómo ajustar los diferentes parámetros que se pueden aplicar cuando la forma y el área del polígono y del “bitmap” son diferentes.

### Radiosidad

Radiosidad es una técnica para simular el flujo de luz entre superficies en un ambiente cerrado. Esto es excesivamente costoso computacionalmente pero genera efectos buenos como sombras suaves que le dan realismo a la escena. [LSE01]

La escena 3d para este contenido, como se observa en la figura 4.21, está compuesta por 6 planos que forman un cubo, la geometría de cada cara del cubo está construida a su vez por un conjunto de planos más pequeños.

La aplicación le permite al usuario variar el número de planos por cara, cambiar el color de la cara izquierda y derecha, y aplicar más de una iteración de radiosidad a la escena para optimizar la solución mediante un algoritmo iterativo. Además muestra la ecuación de radiosidad para dos planos.

### Metas de Comprensión

1. Comprender el recorrido de los “rayos” de visión: desde que salen del observador, pasan por la superficie de proyección, se reflejan y/o se refractan con los objetos de la escena.
2. Comprender cómo los rayos van recogiendo los colores de los objetos de la escena

## 4.3.2. Contenidos de Física: Electricidad y Magnetismo

### Ley de Coulomb

“Coulomb estableció la ley fundamental de la fuerza eléctrica entre dos partículas cargadas estacionarias”. [Ser97] Se puede expresar la magnitud de la fuerza eléctrica entre dos cargas como:

$$F = \kappa_e \frac{|q_1| |q_2|}{r^2} \quad (4.1)$$

Cuando las cargas son del mismo signo, la fuerza es repulsiva y cuando las cargas son del signo opuesto la fuerza es atractiva.

La escena del contenido, como se observa en la figura 4.22, consta de dos esferas que representan un par de cargas, cuando se inicia el contenido las esferas son de color gris lo que representa que no están cargadas. En el panel de control el usuario puede cambiar la carga de cada una de las esferas: colocarlas ambas negativas o ambas positivas o de signo contrario. El color azul representa que la esfera está cargada negativamente y el color rojo representa una carga positiva.

Al presionar el botón iniciar se dibuja la fuerza correspondiente a cada carga (la flecha verde) y las esferas se mueven en la dirección hacia a donde apunta la fuerza.

#### **Metas de Comprensión**

- Mediante el uso de la historia establecer cuales fueron las diversas posturas que dieron origen a nuestra concepción actual de electricidad.
- El estudiante utilizará sus conocimientos en la identificación y explicación de algunas aplicaciones de la electrostática.
- El estudiante utilizará adecuadamente un programa de realidad virtual interactivo, que le permita comprender fenómenos eléctricos, como por ejemplo situaciones en las cuales se produzcan diferencias de carga.

#### **Transferencia de Carga**

Las dos formas más comunes para cargar un objeto son: por inducción y por conducción. En la carga por conducción es necesario que haya contacto entre los dos objetos, por el contrario cuando se carga por inducción, el objeto a cargar no necesita estar en contacto con el objeto que induce la carga [Ser97].

Este contenido ilustra el procedimiento de carga por inducción. El escenario 3D para este contenido consta de una esfera que inicialmente es neutra (de color gris) y una barra a la cual se le puede asignar una carga mediante el panel de controles.

En la figura 4.23, la barra está cargada positivamente por lo que los electrones (parte negativa) se acercan a hacia la barra y los protones (parte positiva) emigran al lado opuesto de la esfera. Todo esto se hace mientras el botón del mouse está presionado, una vez se suelta el botón del mouse, la carga de la esfera que estaba hacia el lado de la barra se distribuye en la esfera, quedando así cargada negativamente.

#### **Metas de Comprensión**

- Mediante el uso de la historia establecer cuales fueron las diversas posturas que dieron origen a nuestra concepción actual de electricidad.
- El estudiante utilizará sus conocimientos en la identificación y explicación de algunas aplicaciones de la electrostática.
- El estudiante utilizará adecuadamente un programa de realidad virtual interactivo, que le permita comprender fenómenos eléctricos, como por ejemplo situaciones en las cuales se produzcan diferencias de carga.
- El estudiante debe identificar los procesos mediante los cuales se genera diferencia de carga eléctrica.

### Líneas de Campo

“Una ayuda conveniente para visualizar los patrones de campo eléctrico es dibujar líneas que apunten en la misma dirección que el vector de campo eléctrico en cualquier punto.” [Ser97] Las líneas de campo eléctrico para una carga puntual negativa apuntan radialmente hacia afuera y para una carga puntual positiva apuntan hacia adentro.

Este contenido ilustra que le sucede a una carga de prueba cuando se coloca entre dos cargas. En la figura 4.24 se observan dos cargas cargadas positivamente y sus respectivas líneas de campo, que en este caso apuntan hacia adentro. Entre las dos cargas se colocó una carga de prueba (la carga de prueba se asumen siempre positivas). Las flechas amarillas representan la fuerza que cada carga ejerce sobre la carga de prueba y la flecha verde es la fuerza resultante al sumar las dos fuerzas.

En el panel de control se puede cambiar la polaridad (positiva, negativa) a cada carga, además se despliegan las componentes  $(x,y,z)$  de las fuerzas ejercidas por cada carga a la carga de prueba y la fuerza resultante.

El usuario puede colocar la carga de prueba utilizando el sensor de posición y presionando el click del mouse o desde el panel de control, una vez colocada la carga de prueba, está se comienza a desplazar teniendo en cuenta las fuerzas ejercidas por las otras dos cargas.

### Metas de Comprensión

- Mediante el uso de la historia establecer cuales fueron las diversas posturas que dieron origen a nuestra concepción actual de electricidad.
- El estudiante utilizará sus conocimientos en la identificación y explicación de algunas aplicaciones de la electrostática.
- El estudiante utilizará adecuadamente un programa de realidad virtual interactivo, que le permita comprender fenómenos eléctricos, como por ejemplo situaciones en las cuales se produzcan diferencias de carga.
- Es necesario que los alumnos comprendan que el campo eléctrico producido por distribuciones de carga es tridimensional.

### Movimiento de Partículas Cargadas en un Campo Eléctrico Uniforme

El movimiento de una partícula cargada en un campo eléctrico uniforme es equivalente al de un proyectil que se mueve en un campo gravitacional uniforme.

La escena 3D para este contenido está compuesta de por dos placas alineadas horizontalmente (ver figura 4.25), de nuevo, el color rojo representa que la placa está cargada positivamente y el color azul una carga negativa, las flechas blancas representan el campo eléctrico entre las dos placas. La esfera roja representa la carga que se mueve entre las barras.

En el panel de control el usuario puede especificar: la polaridad para cada una de las placas, si esfera entra o no con velocidad inicial al campo, la polaridad de la carga, la magnitud de la carga y la intensidad del campo. Al presionar el botón “Iniciar” se observa el movimiento de la esfera según la información dada.

### Metas de Comprensión

- Mediante el uso de la historia establecer cuales fueron las diversas posturas que dieron origen a nuestra concepción actual de electricidad.

- El estudiante utilizará sus conocimientos en la identificación y explicación de algunas aplicaciones de la electrostática.
- El estudiante utilizará adecuadamente un programa de realidad virtual interactivo, que le permita comprender fenómenos eléctricos, como por ejemplo situaciones en las cuales se produzcan diferencias de carga.

### Ley de Gauss

La ley de Gauss dice: “El flujo eléctrico neto a través de cualquier superficie cerrada es igual a la carga neta dentro de la superficie dividida por  $\epsilon_0$ ” [Ser97].

En la figura 4.26 se observa una esfera de color rojo que representa una carga positiva, la esfera mas grande que envuelve la carga es la que se denomina superficie gaussiana, la cual se puede cambiar por un cubo en el panel de control.

El programa le permite a al usuario variar la magnitud de la carga y el radio de la superficie gaussiana, además, despliega el valor del campo eléctrico, el valor del área, el flujo eléctrico y el numero de líneas de campo eléctrico.

### Metas de Comprensión

- Mediante el uso de la historia establecer cuales fueron las diversas posturas que dieron origen a nuestra concepción actual de electricidad.
- El estudiante utilizará sus conocimientos en la identificación y explicación de algunas aplicaciones de la electrostática.
- El estudiante utilizará adecuadamente un programa de realidad virtual interactivo, que le permita comprender fenómenos eléctricos, como por ejemplo situaciones en las cuales se produzcan diferencias de carga.
- Los estudiantes comprenderán como aplicar el concepto de flujo y la ley de Gauss para hallar el campo eléctrico en un punto debido a diferentes distribuciones de carga.

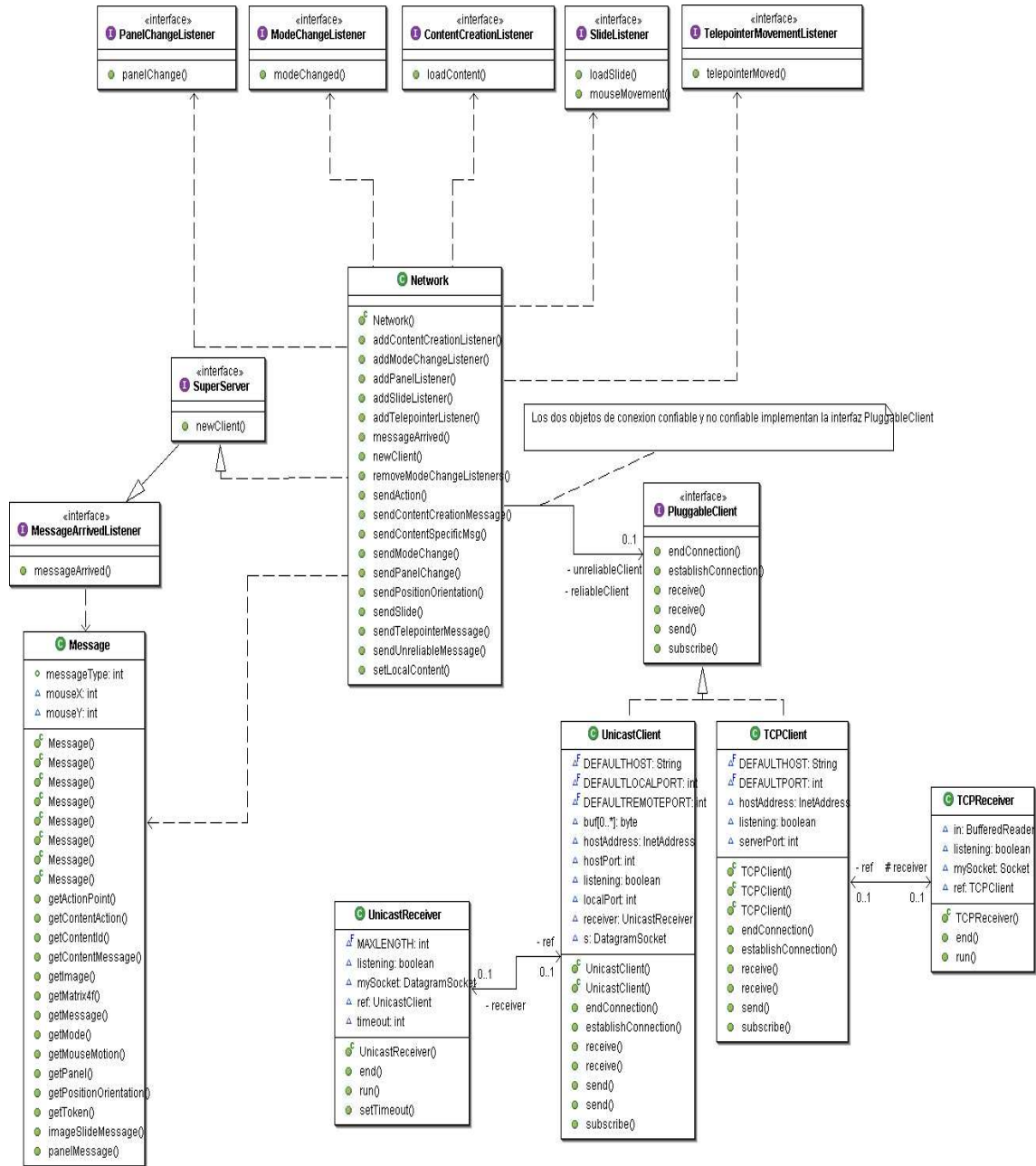


Figura 4.10: Diagrama de Clases

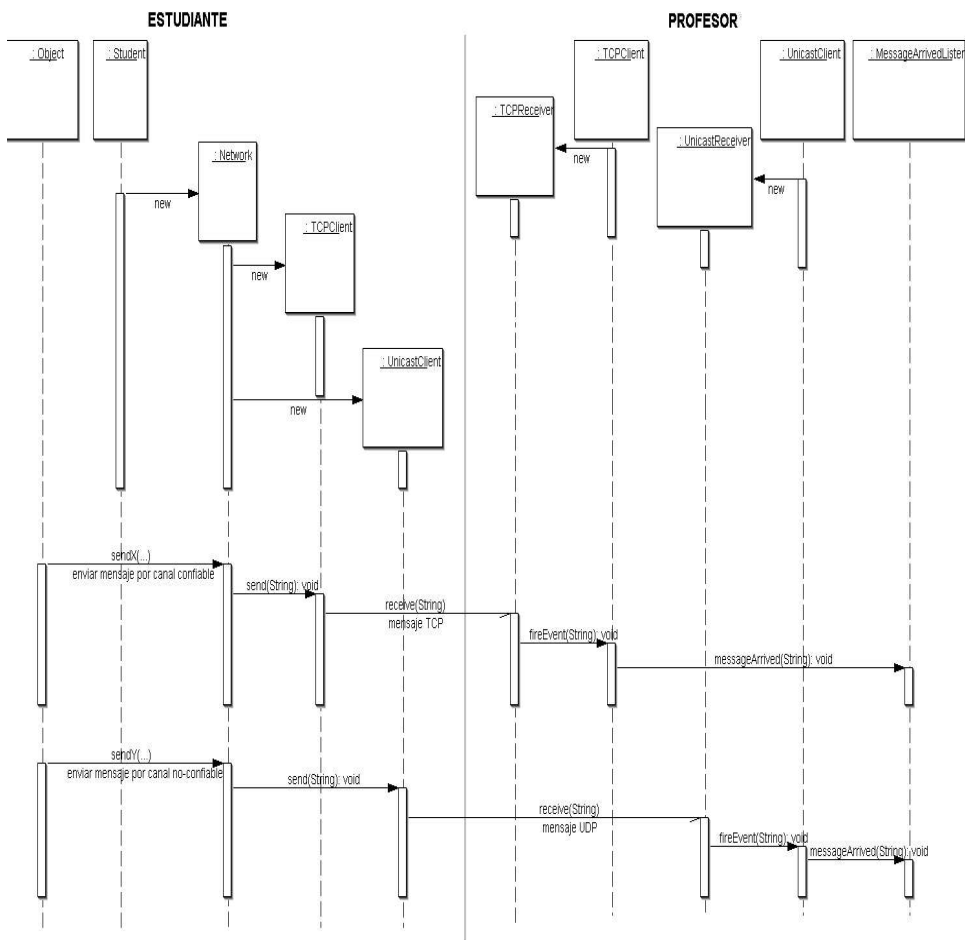


Figura 4.11: Diagrama de secuencia

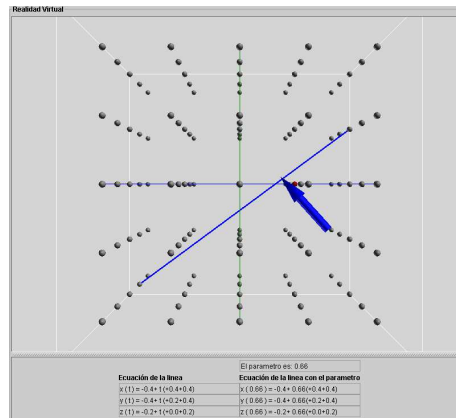


Figura 4.12: Segmento paramétrico de la recta

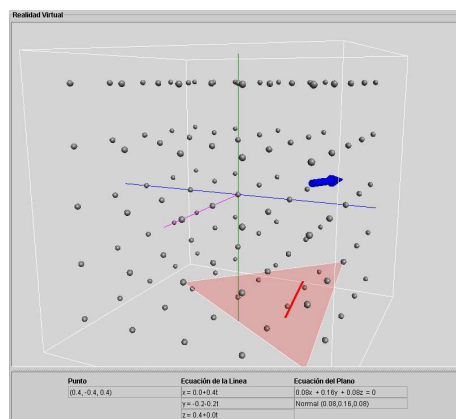


Figura 4.13: Puntos, líneas y Polígonos

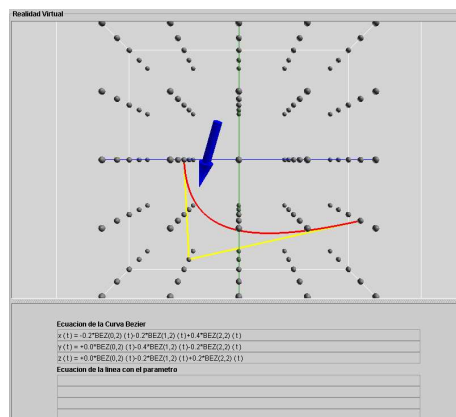


Figura 4.14: Curva de Bezier



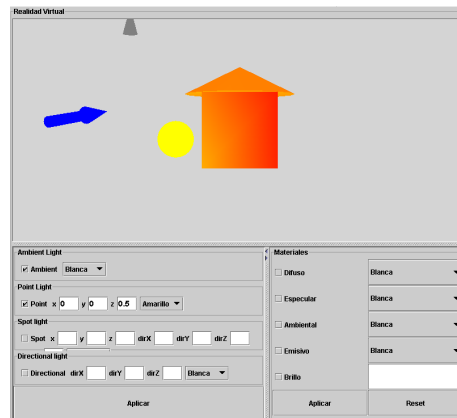


Figura 4.19: Iluminación y Materiales

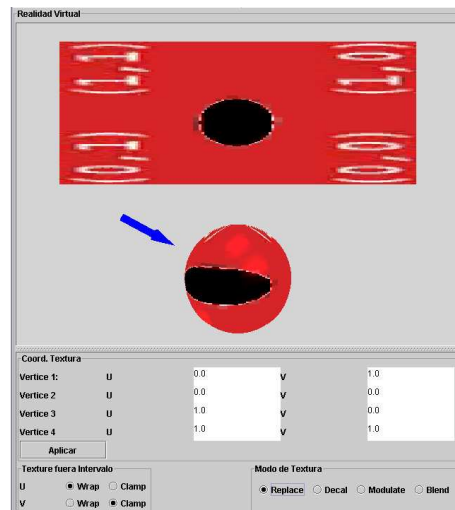


Figura 4.20: Texturas

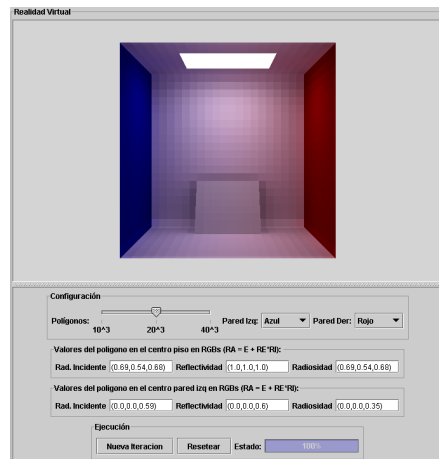


Figura 4.21: Radiosidad

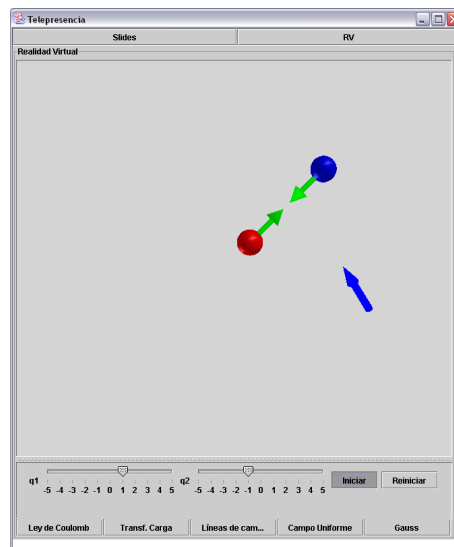


Figura 4.22: Ley de Coulomb

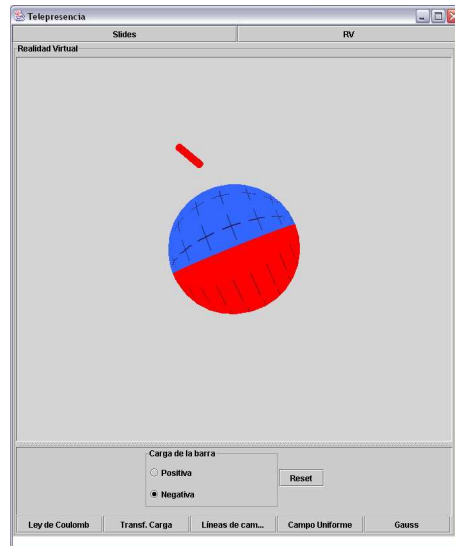


Figura 4.23: Transferencia de Carga

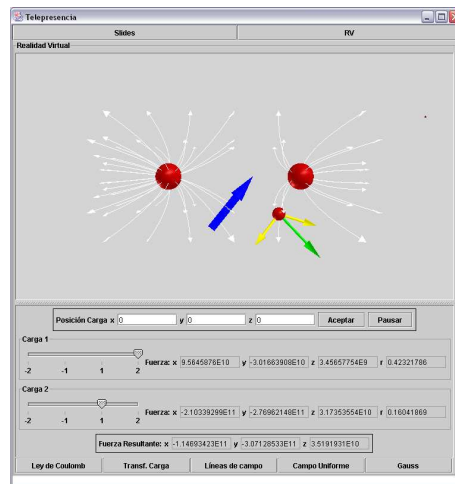


Figura 4.24: Líneas de Campo Electrico

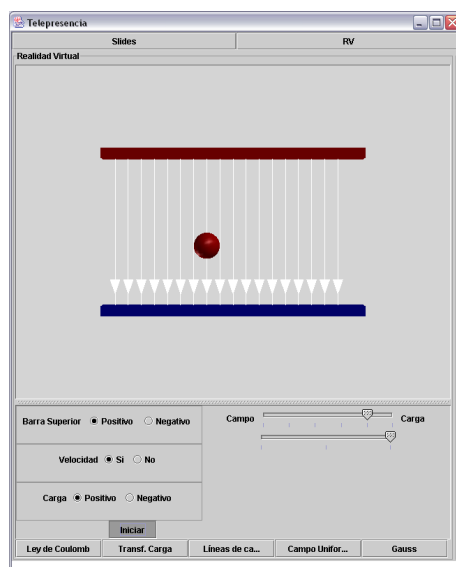


Figura 4.25: Movimiento de partículas cargadas en un campo uniforme

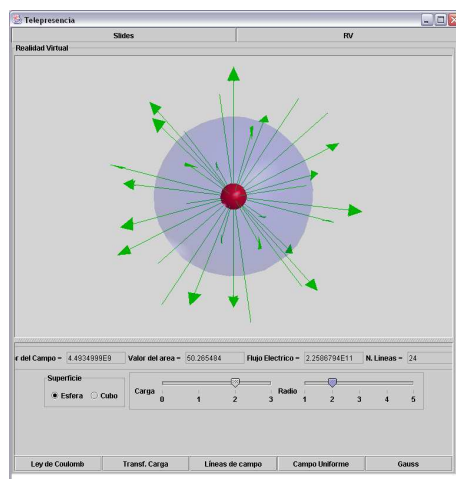


Figura 4.26: Ley de Gauss



# Capítulo 5

## Resultados

En este capítulo se describen los resultados obtenidos con la realización del proyecto.

Desde la perspectiva pedagógica, se comparan los niveles de comprensión alcanzados por los alumnos de los grupos experimentales y de control en cada uno de los tres cursos en los cuales se utilizó la herramienta. El experimento realizado se describe en detalle en el capítulo 3.

Desde la perspectiva técnica, se describen los resultados de correr la aplicación en un ambiente controlado en el cual se puede modificar el ancho de banda.

### 5.1. Resultados Pedagógicos

Tal como se describió en el capítulo 3, la herramienta se utilizó para dictar parte de los cursos de:

- Computación Gráfica – Semestre 2003-2.
- Electricidad y Magnetismo – Semestre 2004-1.
- Computación Gráfica – Semestre 2004-1.

En cada caso, se utilizó la herramienta para dictar las clases durante aproximadamente 6 semanas (los semestres académicos en la universidad Eafit tienen una duración de 16 semanas).

En cada curso se dividió la clase en un dos grupos: El grupo *experimental* recibía las clases “a distancia”, utilizando la herramienta. El grupo *de control* recibía las clases presenciales con la metodología normal. En ambos casos, se utilizó la enseñanza para la comprensión como marco pedagógico.

Tal como sugiere la Enseñanza para la Comprensión, se midió la comprensión de los estudiantes evaluando el *nivel* de comprensión alcanzado por cada grupo en cada una de las *dimensiones* de la comprensión <sup>1</sup>.

Los niveles de comprensión son:

- Ingenuo
- Novato
- Aprendiz
- Experto

Las dimensiones de la comprensión son:

- Contenido

---

<sup>1</sup>Para ver una descripción detallada de los elementos de la Enseñanza para la Comprensión, se sugiere mirar el capítulo 3 o leer [Bly98]

Dimensión	Preguntas
Contenido	c2, p2
Método	d3, c1
Propósito	d1, d2, d4, c3
Forma	p1, p3, p4

Cuadro 5.1: Dimensiones de comprensión de cada pregunta de la matriz de evaluación

Valor Numérico	Nivel de Comprensión
1	Ingenuo
2	Novato
3	Aprendiz
4	Experto

Cuadro 5.2: Valor numérico asignado a cada nivel de comprensión

- Métodos
- Propósito
- Forma

Para asignar los niveles a cada estudiante se definió, en cada curso, una matriz de *rubrics*. Las matrices de rubrics, para cada curso, se describen en el apéndice A.

Cada pregunta de la matriz de rubrics se relacionó con una dimensión de la comprensión, de la manera descrita en la tabla 5.1

A los niveles de comprensión se les asignó un valor numérico de la manera descrita en la tabla 5.2

Al inicio de la experiencia de investigación, tanto los estudiantes del curso de computación gráfica, como los de los grupos elegidos para trabajar en el curso de Electricidad y Magnetismo, mostraron una gran motivación por participar en el proyecto; la selección de los grupos (control y experimental) se realizó al azar, luego de llevar a cabo una sesión, en la cual se les explicó a los estudiantes cual era el objetivo de nuestra investigación y las condiciones de ésta. Posteriormente, se realizó una reunión informativa con todos los participantes (en la primera experiencia participaron ocho alumnos y en la segunda nueve) estos en el caso de computación gráfica, en lo referente a el curso de Electricidad y Magnetismo fueron veinticuatro estudiantes (doce en grupo experimental y doce en el control), con el fin de darles a conocer el modelo de Enseñanza para la Comprensión EpC, tener un mayor y mejor conocimiento de la terminología empleada en la EpC y entender hacia adonde apuntaba nuestra búsqueda: LA COMPRENSIÓN.

Se le entregó a los estudiantes un documento que profundizaba en la explicación de dicho modelo y la definición de los elementos del marco teórico. Cada grupo debió escoger un tema (Tópico Generativo), acorde con la unidad diseñada (ver contenidos). Luego de un estudio de los posibles tópicos generativos que deseaban trabajar en su propuesta, ellos compartían en las diferentes fases de investigación las inquietudes y necesidades que se presentaban durante el desarrollo del trabajo. Los temas elegidos para la realización del trabajo grupal fueron los siguientes:

En la primera experiencia (02 - 2003):

- Experimental
  - GRUPO 1: Juego de roles
  - GRUPO 2: Programa de simulación para uso de contenedores
  - GRUPO 3: Simulador para seguridad (helicóptero)
- Control

- GRUPO 4: Modelo de casa virtual
- GRUPO 5: El diseño de interiores apoyado por la Realidad Virtual
- GRUPO 6: Exploración de la geografía Colombiana a través de un demo de RV

En la segunda experiencia (01-2004):

- Experimental
  - GRUPO 1: Biblioteca Virtual
  - GRUPO 2: Museo de arte virtual
  - GRUPO 3: Reconstrucción volumétrica utilizando conceptos de computación gráfica
- Control
  - GRUPO 4: Juego del laberinto
  - GRUPO 5: Modelo arquitectónico
  - GRUPO 6: Lucha entre agentes autónomos

Inicialmente se presentaron dificultades para entender las condiciones del trabajo propuesto, por los esquemas que los estudiantes tenían previamente establecidos sobre la realización de un trabajo grupal en un curso tradicional, dado que la metodología de trabajo de la EpC implica pensar más en el proceso que en el producto. Se presentaron algunas dificultades respecto a:

- El seguimiento que los alumnos debían realizar a su propio proceso, el entender que era importante hacer un seguimiento puntual a sus avances tanto individual como grupalmente. Los encuentros en las diversas fases de los desempeños, para recibir retroalimentación sobre su trabajo o dar aportes sobre lo realizado por su compañeros, nos mostró lo poco o nada que están acostumbrados nuestros estudiantes de realizar un seguimiento puntual a su proceso de aprendizaje. La metodología de la EpC implica tener una visión investigativa y los alumnos no conocen este tipo de metodología.
- De igual manera la dificultad para entender el tipo de evaluación que se quería llevar a cabo en las sesiones, la cual apuntaba más hacia un valoración propia y grupal de los avances, que hacia un dar cuenta de lo que llevaban y si estaba mal o bien. Los alumnos están acostumbrados a que los pocos espacios de evaluación, se utilizan por parte del profesor para dar cuenta de su avance en función de los contenidos del curso y es el docente quien realiza la evaluación. En el enfoque pedagógico de la EpC la evaluación está más en función de la valoración, el estudiante y su grupo de pares son quienes la realizan. Para la EpC la retroalimentación se convierte en un avance en la comprensión.

Tal y como se describió en metodología, los alumnos del grupo experimental recibían los contenidos de la clase utilizando la herramienta de Telepresencia y se apoyaban en la realidad virtual para reforzar (visualizar) los conceptos trabajados en la sesión. Durante la clase la atención era permanente dada la motivación de los alumnos por aprender el manejo de la herramienta, para una mejor comprensión de los temas. Mostraron gran interés en las sesiones con la herramienta, de manera particular cuando se les permitía interactuar con la realidad virtual y podían poner en práctica los conceptos que el profesor acababa de trabajar con ellos. La interacción grupal se hizo palpable al tomar decisiones entre ellos de manera conjunta, ya fuera para cuestionar lo dicho por el profesor o para ayudarse mutuamente cuando alguno estaba utilizando la herramienta, resolvían los problemas conjuntamente y mostraban al otro otros caminos diferentes para realizar los ejercicios o problemas que el docente ponía.

En el salón donde los alumnos recibían su clase estaba presente una persona encargada por el proyecto para el manejo de la parte técnica (los equipos, el sonido, la herramienta), a la vez de ser apoyo en esta parte aclaraba a los alumnos cuestiones de los contenidos o de la aplicación de los conceptos

y les enseñaba cómo utilizar más eficazmente la herramienta de Realidad Virtual. Esto permitía un acompañamiento más efectivo de los procesos de los alumnos y permitió que los pocos inconvenientes técnicos que se presentaron no fueran obstáculo para que la experiencia fuera muy positiva para los alumnos.

El modelo pedagógico empleado para la evaluación de los alumnos permitió potenciar el trabajo realizado con ellos en las diferentes sesiones, pues se pretendía profundizar en la comprensión, a través de aplicación (en el proyecto) de los conceptos, que ellos trabajaban durante las clases. El modelo de la EpC movilizaba esos conocimientos en los estudiantes, al estimular su capacidad para relacionarlos, extrapolarlos, asociarlos con objetos o situaciones de su vida diaria. A su vez, los alumnos al realizar el proyecto, afianzaban los conocimientos adquiridos durante las sesiones de clase y, de manera particular los del grupo experimental, les ayudaba mucho la posibilidad de haber visualizado los conceptos con la herramienta de realidad virtual.

En este proyecto trabajó un equipo interdisciplinario en el cual participaron profesionales del área de pedagogía y del área de la ingeniería de sistemas, que orientaron el trabajo en los dos aspectos y se apoyaron para realizar la experiencia completa desde ambas perspectivas.

El análisis de los resultados cognitivos se trabajó con el marco teórico propuesto por el enfoque de la Enseñanza para la Comprensión, donde se resaltan las cualidades de la comprensión, a través del análisis de las dimensiones y los niveles que muestran los participantes según su grado entendimiento.

Los trabajos evaluados fueron los siguientes:

El trabajo de los estudiantes se componía de los siguientes aspectos:

- Debían desarrollar un documento sobre el Proyecto realizado en grupo, 2 a 3 estudiantes, en que se consignaba el plan del proyecto, lo realizado y los resultados obtenidos.
- De igual manera, debían trabajar de la mano de un experto que les ayudaba en el dominio del problema elegido y a su vez participaba como evaluador final del proyecto. Buscaban experiencias similares (estado del arte) y daban cuenta de ellas durante las diferentes fases de investigación.
- Llevaban un portafolio con el proceso de investigación de su proyecto y lo presentaban al final de la experiencia en formato digital. El portafolio debía tener el registro de toda la búsqueda realizada por ellos.
- Al final de la experiencia debían realizar una exposición (desempeño final de síntesis) ante personas expertas en el tema trabajado, tanto en la parte de computación gráfica o en conceptos de física, como en el problema que ellos habían elegido y presentaban un producto final (experimento o programa que ellos habían desarrollado) aplicando los conceptos vistos en la clase y que fuera parte de la solución del problema o que les ayudará a ilustrar el mismo.

Cada trabajo fue evaluado por tres expertos a través de unos criterios contenidos en una matriz de evaluación que los estudiantes conocían previa a la realización de la exposición, una vez estudiado y puesto en común el significado de las cuatro dimensiones del marco de comprensión (contenidos, métodos, propósitos y forma), de los cuatro niveles de comprensión (ingenuo, novicio, aprendiz y experto), cada experto calificaba las cuatro dimensiones y sus niveles de comprensión en cada uno de los trabajos del grupo experimental y del grupo control. El nivel de logro de los objetivos de comprensión en el grupo experimental lo consideramos bueno, tanto en los resultados internos como grupo, como comparativamente con el grupo control.

Las gráficas muestran los resultados obtenidos por ambos grupos en las cuatro dimensiones de comprensión. Se revisaron en total las tres pruebas (proyecto escrito, avances, portafolio y desempeño final de síntesis) tanto en el grupo experimental como en el control.

### 5.1.1. Resultados – Curso de Computación Gráfica

En esta sección se describen los resultados de la experiencia en el curso de Computación Gráfica. Inicialmente se hace un análisis cuantitativo basado en la evaluación de los desempeños finales de

Estudiante	Contenido	Método	Propósito	Forma	Promedio
E1	3.16	3.16	3.16	3	3.125
E2	3.16	3.16	3.16	3	3.125
E3	3.67	3.5	3.5	3.11	3.44
E4	2.67	3.33	2.67	2.78	2.86
E5	2.67	3.33	2.67	2.78	2.86
C1	2.67	3.17	2.58	2.77	2.8
C2	2.17	2.17	2	2.44	2.19
C3	2.17	2.17	2.5	2.89	2.43
C4	2.17	2.17	2.5	2.89	2.43

Cuadro 5.3: Curso de Computación Gráfica (2004–1): Niveles de comprensión en cada dimensión para cada estudiante

Rango de valores promedios	Nivel de comprensión
1.49 o inferior:	Ingenuo
Entre 1.5 y 2.49:	Novato
Entre 2.5 y 3.49:	Aprendiz
3.5 o superior:	Experto

Cuadro 5.4: Nivel de comprensión asignado a los rangos de valores promedios

síntesis. Posteriormente se presenta un análisis cualitativo de los niveles de comprensión alcanzados por los diferentes grupos.

### Análisis cuantitativo

La tabla 5.3 describe el resultado de promediar, para cada estudiante, las opiniones de los expertos en cada dimensión.

Para respetar la confidencialidad de los estudiantes, los integrantes del grupo experimental se han nombrado E1, E2, E3, E4, E5; los integrantes del grupo de control se han nombrado C1, C2, C3, C4. Con miras a categorizar el nivel de comprensión alcanzado por cada estudiante en cada dimensión, se estableció la relación entre el valor promedio y los niveles de comprensión descrita en la tabla 5.4

Las gráficas 5.1 y 5.2 describen el resultado de éste análisis. El grupo experimental (los estudiantes que recibieron las clases utilizando la herramienta) alcanzaron niveles de comprensión entre Aprendiz y Experto en cada una de las dimensiones. El grupo de control (los estudiantes que recibieron las clases de manera tradicional), alcanzaron niveles de comprensión entre Novato y Aprendiz.

Si se realiza un test de student comparando los promedios de los valores numéricos asignados a las comprensiones de los grupos experimental y de control (ver tabla 5.3), se puede concluir que, dado que el valor de la prueba (0.0069) es menor que el nivel de significancia escogido (0.05), podemos concluir que existe diferencia significativa entre los niveles de comprensión promedio alcanzados por ambos grupos <sup>2</sup>.

De manera similar, una prueba de Mann-Whitney sobre los mismos datos produce valores de 0 y 20 para  $U_1$  y  $U$  para  $N_1 = 5$  y  $N_2 = 4$ , lo que nos permite llegar a la misma conclusión.

Los resultados son muy alentadores, ya que se puede concluir que, en los cursos evaluados, el uso de la herramienta de telepresencia potencia mayores niveles de comprensión en los estudiantes, a pesar de las dificultades introducidas por la no presencialidad.

<sup>2</sup>Se realizó una prueba de Kolmogorov-Smirnoff para determinar que los datos provienen de una distribución normal

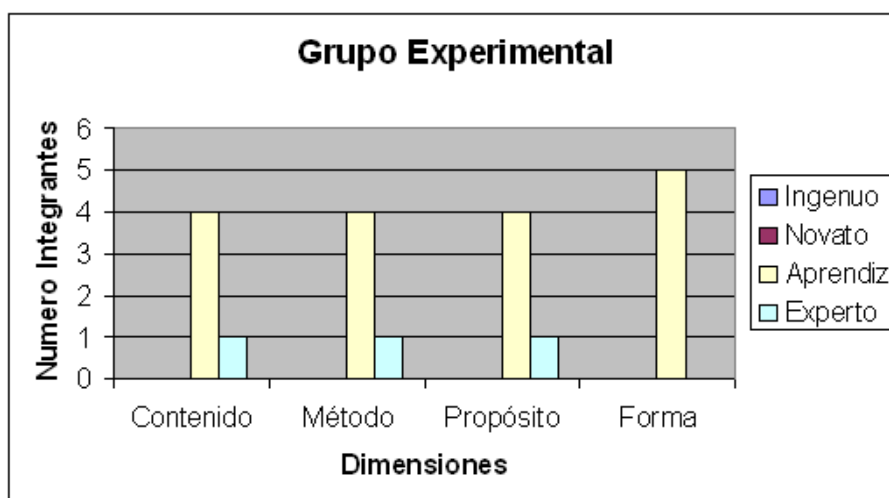


Figura 5.1: Curso de Computación Gráfica (2004–1): Niveles de comprensión alcanzados por el grupo experimental

### Análisis cualitativo

A continuación se describe brevemente algunas características que se observaron en los grupos durante la experiencia de investigación. Estas características se observaron durante diferentes espacios en los cuales se pudo compartir, con los alumnos, tales como: las fases de investigación (para dar cuenta de los desempeños), las clases, las revisiones del portafolio y el desempeño final de síntesis.

**Grupo Control** A pesar de tener estudiantes que estaban en los últimos semestres de universidad, en la carrera de Ingeniería de Sistemas se observó un comportamiento algo dependiente y con poca consciencia de sus procesos. Algunos estudiantes del grupo de control exhibían características como las siguientes:

- Poco compromiso con su aprendizaje y consciencia reducida de estos procesos. Desconocimiento de los propios hábitos de trabajo, y sobre todo de cuáles pueden ser más eficaces para ellos a la hora de entender y aprender.
- Dependencia intelectual (heteronomía), manifiesta en la dificultad para formular preguntas y generar cuestionamientos.
- Poca comprensión de los conceptos trabajados y dificultad para aplicar estos a la vida diaria
- Se observó una motivación positiva inicial por participar en la investigación, pero perdió fuerza en la medida que se desarrolló la experiencia.

**Grupo Experimental** El grupo experimental mostró otras características diferentes al control y se hizo evidente durante el desarrollo de las sesiones:

- Dominio de conceptos con poca relación y aplicabilidad de los mismos
- Desconocimiento de los propios procesos de aprendizaje y de un seguimiento a los procesos, ellos lo que esperaban era el resultado

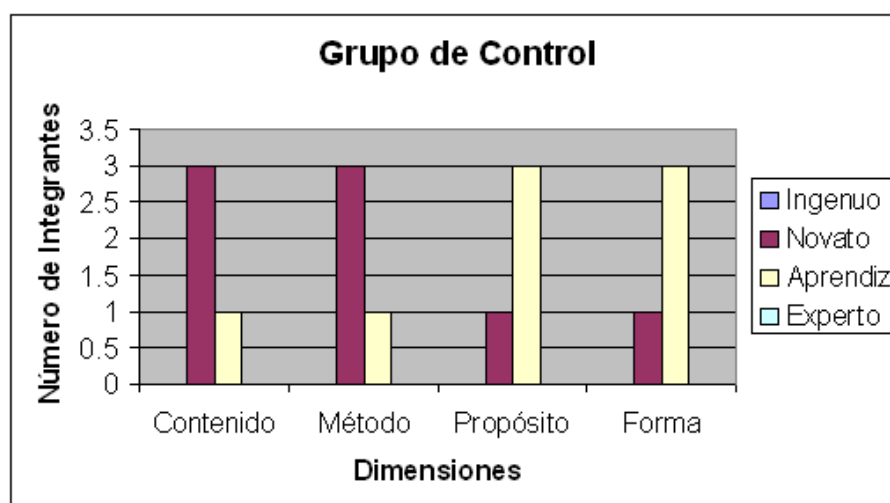


Figura 5.2: Curso de Computación Gráfica (2004–1): Niveles de comprensión alcanzados por el grupo de control

- Dependencia intelectual pero con una variación, el contar con la herramienta y tener la experiencia de investigación, con las condiciones diferentes a la clase tradicional los hizo independizarse más del profesor y sacar recursos propios para solucionar sus problemas.
- En lo referente a la motivación los estudiantes manifestaron interés por el apoyo de las nuevas tecnologías en su proceso de aprendizaje, en especial el empleo de la herramienta de RV.

**Cualidades de la comprensión: Grupo Control** El grupo control mostró, en las diferentes formas de producción (trabajos, informes, portafolios), poco avance y manejo de los contenidos y se notó una conceptualización pobre, prevaleciendo en ellos los conceptos inconexos, se limitaron a dar las definiciones en los diferentes temas. En muchos de los casos del grupo control, se notaba el poco manejo de los conceptos trabajados en el aula de clase, en los proyectos mostraron gran dificultad para aplicar los contenidos trabajados en la materia.

Se puede observar en los diferentes espacios de avance y en el desempeño final de síntesis, su dificultad para argumentar, lo que demuestra un pensamiento regido por creencias intuitivas y falta de teoría que acompañe los procesos de argumentación. De igual manera, los ejemplos que trabajaron para aplicar los conceptos se vieron faltos de conceptos claros y ricos en conexiones.

#### Descripción de los desarrollos en la comprensión de los estudiantes del grupo control

1. **CONTENIDOS: NOVATO** La mayor parte de los estudiantes del grupo control quedaron en categoría Novato, uno en aprendiz. El uso de los términos técnicos por parte de los estudiantes, en general, no fue el correcto, ya que mostraban gran dificultad para definir los conceptos y vincularlos de manera efectiva. Un ejemplo claro de esta afirmación es el estudiante C2 (ver cuadro), confundía el concepto de transformaciones de la cámara virtual dentro del mundo con la transformación de todo el mundo virtual. Se observa como el estudiante le cuesta realizar un análisis profundo sobre los contenidos del curso, mostrando poca o ninguna independencia en sus ideas y desarrollando de manera superflua los contenidos que se le piden analizar.
2. **MÉTODOS: NOVATO** El grupo control en esta dimensión ocupó en su mayoría el nivel de Novato, uno en aprendiz. El grupo control presentó varios vacíos al momento de explicar cómo

se aplicaron los conceptos de la clase en las diferentes aplicaciones. El estudiante C1, por ejemplo, escogió utilizar una herramienta (VRML) que por naturaleza limitó más las posibilidades de la aplicación que si se hubiese escogido una de las herramientas utilizadas en el curso (Java3D o OpenGL). Se pudo observar que con respecto a los métodos, al estudiante elegido como ejemplo, le faltó realizar una investigación previa para conocer la herramienta más efectiva a la hora de realizar su aplicación, su conocimiento parece fraccionado, parece ser que para él ningún método de construcción del conocimiento es evidente más allá del ensayo error.

3. **PROPÓSITOS: APRENDIZ** En esta dimensión la mayor parte de los estudiantes quedaron en categoría Aprendiz, uno en novato. Las aplicaciones creadas por los integrantes del grupo de control funcionaron correctamente. No se llegó a nivel de experto en ningún caso principalmente porque no se demostró la capacidad de extrapolar el uso de las herramientas a otro tipo de problemas. Parece ser que demostraron una mejor capacidad para la aplicabilidad y las consecuencias del uso de ese conocimiento, sin embargo no se observó autonomía en su análisis conceptual.
4. **FORMA: APRENDIZ** La mayor parte de los estudiantes quedaron en categoría Aprendiz, uno en novato. Las presentaciones fueron de un nivel similar a las del grupo experimental, con la excepción del E2, quien hizo solamente la demostración de la herramienta. Sin embargo el lenguaje mostrado por los estudiantes fue sencillo y poco expansivo, se limitaron a definir lo que se les pedía sin hacer una exposición de sus razones.

**Grupo Experimental** El grupo experimental mostró independencia conceptual en la realización de sus trabajos, una buena conceptualización aplicación de los conceptos en los diferentes trabajos evaluados por los expertos y mayor fundamentación y capacidad para argumentar y hacer sustentación de las teorías.

1. **CONTENIDO:APRENDIZ.** La mayor parte de los estudiantes quedaron en categoría Aprendiz, un estudiante quedó en categoría Experto. Como ejemplo se tomó a los estudiantes E1 y E2, los cuales para el desarrollo del proyecto presentado, aprendieron acerca del problema de reconstrucción volumétrica, en el cual se reconstruye un volumen a partir de un conjunto de imágenes planas, por ejemplo, un conjunto de imágenes de tomografía axial. Para esto tuvieron que entender, además, el proceso de segmentación, que permite asignar un rango de tonos de gris a un tipo de tejido. A pesar de que estos temas no se cubrieron en clase, los estudiantes aprendieron el vocabulario relacionado con la aplicación y lo manejaron de manera adecuada. No llegaron a ser expertos porque no demostraron dominar el lenguaje simbólico del área de reconstrucción volumétrica. Con esto se demuestra que los alumnos mostraron redes altamente organizadas de ideas o puntos de vista dentro de un dominio, los ejemplos que presentaron los usaron reflexivamente y crearon además nuevos ejemplos y generalizaciones a partir de su investigación
2. **MÉTODO: APRENDIZ.** La mayor parte de los estudiantes quedaron en categoría Aprendiz, un estudiante quedó en categoría Experto. El estudiante E3, creó una forma de poner el observador en el mundo virtual justo al frente del cuadro, pero sin limitar el movimiento del observador en diferentes partes del museo. En cierta manera generó nuevo conocimiento en el área de navegación en museos virtuales. Lo que demuestra este ejemplo es la capacidad que generó el alumno para usar métodos efectivos y encontrar así nuevos conocimientos.
3. **PROPÓSITO: APRENDIZ.** La mayor parte de los estudiantes quedaron en categoría Aprendiz, un estudiante quedó en categoría Experto. Los estudiantes E1 y E2 encontraron tan útil el tema que trabajaron en el proyecto que están considerando el continuar el trabajo como proyecto de grado. No llegaron a ser expertos porque no proyectaron el uso de la herramienta para resolver otro tipo de problemas.

Estudiante	Contenido	Método	Propósito	Forma	Promedio
E1	2.13	2.25	2.25	3	2.36
E2	2.13	2.25	2.25	3	2.36
E3	2.13	2.25	2.25	3	2.36
E4	2.88	3.00	2.75	3.33	2.99
E5	2.88	3.00	2.75	3.33	2.99
E6	2.88	3.00	2.75	3.33	2.99
E7	3.13	2.75	2.31	2.75	2.73
E8	3.13	2.75	2.31	2.75	2.73
E9	3.13	2.75	2.31	2.75	2.73
E10	3.50	3.50	3.00	3.25	3.31
E11	3.50	3.50	3.00	3.25	3.31
E12	2.63	3.13	2.90	2.90	2.90
C1	1.13	1.13	1.19	1.33	1.93
C2	1.13	1.13	1.19	1.33	1.93
C3	1.13	1.13	1.19	1.33	1.93
C4	2.50	2.75	2.56	2.75	2.64
C5	2.50	2.75	2.56	2.75	2.64
C6	2.50	2.75	2.56	2.75	2.64
C7	2.63	3.00	2.75	2.83	2.80
C8	2.63	3.00	2.75	2.83	2.80
C9	2.63	3.00	2.75	2.83	2.80
C10	3.00	3.13	2.63	3.08	2.95
C11	3.00	3.13	2.63	3.08	2.95
C12	3.00	3.13	2.63	3.08	2.95

Cuadro 5.5: Curso de Electricidad y Magnetismo. Niveles de comprensión en cada dimensión para cada estudiante

4. FORMA: APRENDIZ. Todos los estudiantes del grupo experimental quedaron en la categoría Aprendiz. Los estudiantes del grupo de experimental realizaron presentaciones adecuadas y mantuvieron buen contacto con el público. No llegaron a ser expertos porque las respuestas que mostraron, en general, conocimiento de la aplicación específica mas no del área de conocimiento dentro del cual se enmarca la aplicación.

### 5.1.2. Resultados – Curso de Electricidad y Magnetismo

En esta sección se describen los resultados de la experiencia en el curso de Electricidad y Magnetismo. Se presenta solamente el resultado del análisis cuantitativo dado la dificultad presentada con el docente del curso, quien tuvo una larga incapacidad y ha culminado la experiencia de investigación. En el momento de elaboración del informe no se han producido aún los resultados del análisis cualitativo.

#### Análisis cuantitativo

La tabla 5.5 describe el resultado de promediar, para cada estudiante, las opiniones de los expertos en cada dimensión.

Para respetar la confidencialidad de los estudiantes, los integrantes del grupo experimental se han nombrado E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11, E12; los integrantes del grupo de control se han nombrado C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12.

De nuevo, con miras a categorizar el nivel de comprensión alcanzado por cada estudiante en cada dimensión, se estableció la relación entre el valor promedio y los niveles de comprensión descrita en la

tabla 5.4

Las gráficas 5.3 y 5.4 describen el resultado de éste análisis. El grupo experimental (los estudiantes que recibieron las clases utilizando la herramienta) alcanzaron niveles de comprensión entre Aprendiz y Experto en cada una de las dimensiones. El grupo de control (los estudiantes que recibieron las clases de manera tradicional), alcanzaron niveles de comprensión entre Novato y Aprendiz.

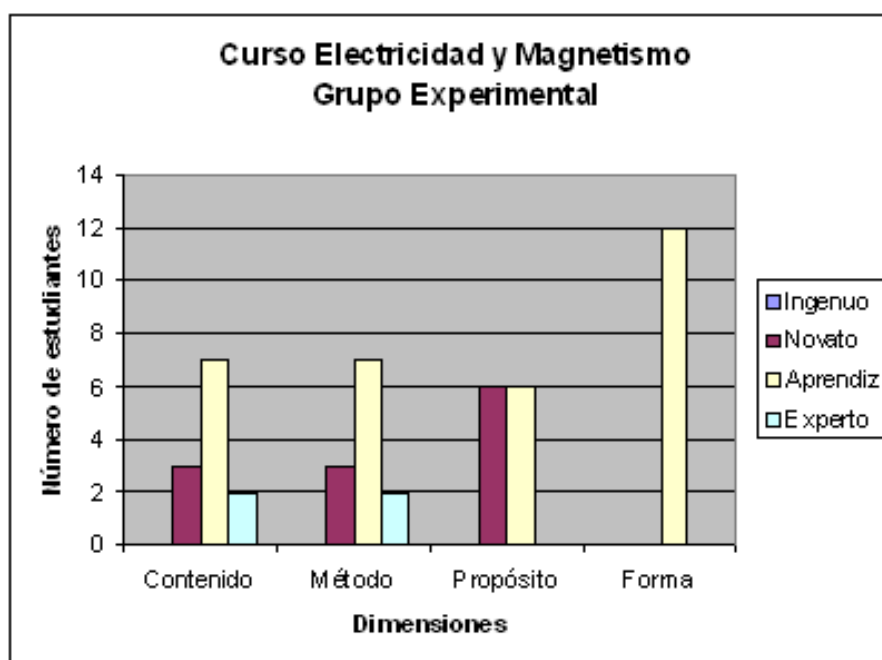


Figura 5.3: Curso de Electricidad y Mangetismo: Niveles de comprensión alcanzados por el grupo experimental

Si se realiza un test de student comparando los promedios de los valores numéricos asignados a las comprensiones de los grupos experimental y de control (ver tabla 5.5), se puede concluir que, dado que el valor de la prueba (0.047) es menor que el nivel de significancia escogido (0.05), podemos concluir que existe diferencia significativa entre los niveles de comprensión promedio alcanzados por ambos grupos <sup>3</sup>.

De manera similar, una prueba de Mann-Whitney sobre los mismos datos produce valores de 48 y 96 para  $U_1$  y  $U$  para  $N_1 = N_2 = 12$ , lo que nos permite llegar a la misma conclusión.

Los resultados son, también en el caso del curso de Electricidad y Magnetismo, muy alentadores, ya que se puede concluir que, el uso de la herramienta de telepresencia potencia mayores niveles de comprensión en los estudiantes, a pesar de las dificultades introducidas por la no presencialidad.

## 5.2. Perfil del Instructor

Encontramos al realizar el proyecto que el uso de este tipo de herramientas y de la propuesta con la Enseñanza para la Comprensión de manera conjunta demandan un conjunto de características del instructor.

En nuestro caso, los instructores de cada curso tuvieron también un papel protagónico en el diseño de los contenidos. Para poder hacer un buen diseño se requiere que el instructor comprenda a cabalidad

<sup>3</sup>Se realizó una prueba de chi-cuadrado para determinar que los datos provienen de una distribución normal

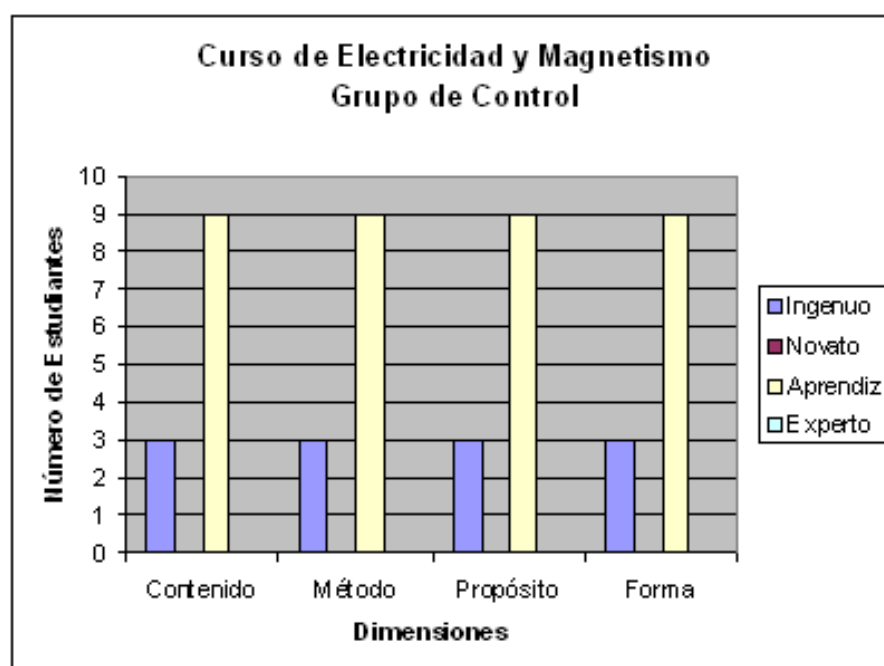


Figura 5.4: Curso de Electricidad y Mangetismo: Niveles de comprensión alcanzados por el grupo de control

las posibilidades de la herramienta. Solamente de esta manera se pueden escoger los temas cuyo aprendizaje resulte potenciado de la mejor manera. Esto implica que, antes de comenzar los diseños del curso, el instructor debe contar con un buen conocimiento de las posibilidades técnicas que ofrece la herramienta. A su vez se requiere, por lo tanto que el instructor tenga un verdadero *interés por la tecnología* involucrada y por el uso de la misma en el aula de clase.

De manera similar, así como el instructor debe estar abierto a la propuesta tecnológica, debe estar abierto a la propuesta pedagógica. La Enseñanza para la Comprensión va mucho más allá que un simple cambio de términos; es una revisión profunda acerca de lo que es pertinente en una asignatura y un cambio bastante radical en la manera de dictarla. Para adoptar esta propuesta el instructor debe estar dispuesto a realizar una reflexión acerca de la asignatura y de su acercamiento a la enseñanza de la misma. Abordar una asignatura bajo esta perspectiva requiere entonces de parte del profesor una *comprensión profunda* acerca de la asignatura y de lo que es esencial en la relación del estudiante frente a la misma. Pero, adicionalmente, se requiere de la capacidad de revisar, con *seriedad, objetividad y humildad*, la manera de dictar la asignatura. En el marco de la EPC se sugiere que se trabaje en grupo en el diseño de las unidades. El estar abierto a los cambios que aparezcan como fruto del trabajo colectivo no siempre es fácil.

Encontramos que el uso adecuado de la herramienta en la clase necesita de algún entrenamiento. El profesor tiene que ser consciente de un retraso de algunas décimas de segundo desde que comienza a hablar hasta que llega la retroalimentación, bien sea en forma de sonido (hay un ligero eco que proviene del micrófono de los estudiantes) o visualización (las respuestas no verbales de los estudiantes a la voz del profesor). En algunos momentos, cuando hay una sobrecarga de eventos del lado del profesor, el sonido se puede interrumpir durante unos instantes. El instructor debe monitorear de manera constante este tipo de situaciones y disminuir la generación de eventos (dejar de mover el apuntador o interrumpir brevemente una frase). Este monitoreo implica una *carga cognitiva adicional* por parte del instructor, que el mismo debe estar dispuesto y en capacidad de manejar.

Por último, pero no por esto de menor importancia, la relación del instructor con los estudiantes es de vital importancia. Así como el instructor debe estar dispuesto a cambiar su acercamiento a la asignatura, la ECP implica también cambios por parte del estudiante. Para ser exitoso en una materia con ECP, el estudiante tiene que tener una participación mucho más activa, tiene que invertir más tiempo, y tiene que reflexionar más para lograr los niveles de comprensión que se buscan. Es indispensable entonces que el instructor tenga suficiente *carisma* y *convencimiento* acerca de los beneficios de la propuesta para involucrar a los estudiantes en un proyecto que demanda más trabajo y tiempo. El profesor también tiene que estar dispuesto a hacer seguimiento constante al proceso y a implementar cualquier correctivo necesario de manera ágil. Esto implica una *apertura* sincera a las necesidades y los sentimientos de los estudiantes.

### 5.3. Resultados Técnicos

En esta sección se describen los resultados de las pruebas realizadas con respecto al tráfico multimedia.

#### 5.3.1. Descripción del experimento

Para realizar una serie de pruebas que permitiera medir el impacto de la red en la aplicación, se realizó un montaje de dos redes LANs interconectadas a través de 2 enrutadores (ver figura 5.5) que permitiesen simular las condiciones reales a las cuales se puede enfrentar la ejecución del proyecto.

A través de los enrutadores se puede simular las condiciones variables de tráfico, controlando las siguientes velocidades entre los enrutadores:

- 56 Kbps
- 128 Kbps
- 500 Kbps
- 1 Mbps
- 2 Mbps

El enlace establecido entre los enrutadores es sincrónico y simétrico.

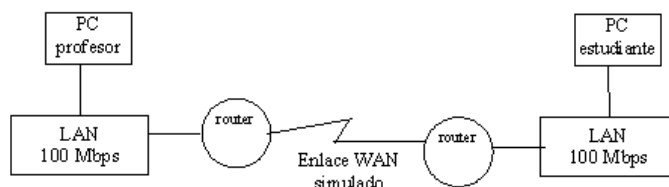


Figura 5.5: Ambiente de Pruebas

Los requerimientos de ancho de banda de los codificadores de video empleados son:

1. Audio

- GSM 6.10 a 13 Kbps (por defecto)
  - G.723.1 a 6.4 Kbps
2. Video

- MJPEG a 384 Kbps. (por defecto)
- H.261 a 128 Kbps

### 5.3.2. Realización de Pruebas

Las pruebas se condujeron mediante la realización de una sesión típica entre el profesor y el estudiante, con una duración de 5 minutos por cada prueba.

Cada prueba se realizó variando la velocidad del enlace WAN entre los enrutadores, con las velocidades establecidas en el anterior numeral y bajo las condiciones de canal exclusivo para las aplicaciones (que simularía una situación en presencia de QoS) y un canal compartido en disciplina de mejor esfuerzo (que simularía una situación sin QoS de red).

En ambas estaciones se colocaron software para la captura y posterior análisis de todo el tráfico generado entre las estaciones.

En total se realizaron 10 experimentos, 5 con canal exclusivo y 5 con canal compartido por otras aplicaciones, y para las 5 ejecuciones se controló la velocidad incrementalmente desde 56 Kbps, 128 Kbps, 500 Kbps, 1 Mbps y 2 Mbps.

### 5.3.3. Análisis de Resultados

Los requerimientos mínimos necesarios para ejecutar eficientemente la aplicación se determinó en 500 Kbps para los codificadores de alta calidad y de 128 Kbps para los codificadores de mínima calidad.

Se demostró que existen otros factores adicionales a la disponibilidad de ancho de banda que afecta la calidad de los datos (multimedia, realidad virtual, gráfica, etc)., por ejemplo, a 1 Mbps que en teoría es suficiente para la transmisión eficiente de la parte multimedia, se degradó la calidad de los medios, llegando a un 15% de pérdida en promedio para el tráfico de audio y video. Esto puede ser debido al procesamiento de la información en cada estación ya que la parte de multimedia y de realidad virtual en conjunto puede ser computacionalmente muy demandante en recursos.

De acuerdo a los datos procesados, a pesar que el video es más demandante en ancho de banda, el medio que se afectó más fue el audio.

No hubo diferencia entre la caracterización de la estación del profesor y la del estudiante y que respecto al tráfico ambos son simétricos, esto es, ambos emiten y reciben video y audio de calidad similar.

Cuando se presenta una reducción del ancho de banda del canal, por debajo de los límites ideales para ambas calidades (500 Kbps, 128 Kbps), todos los medios y tráfico de datos es afectado uniformemente, es decir, a pesar que el audio requiere mucho menos ancho de banda que el video, se afecta en la misma proporción.

La tabla 5.6 muestra las convenciones para las gráficas 5.6, 5.8 y 5.7.

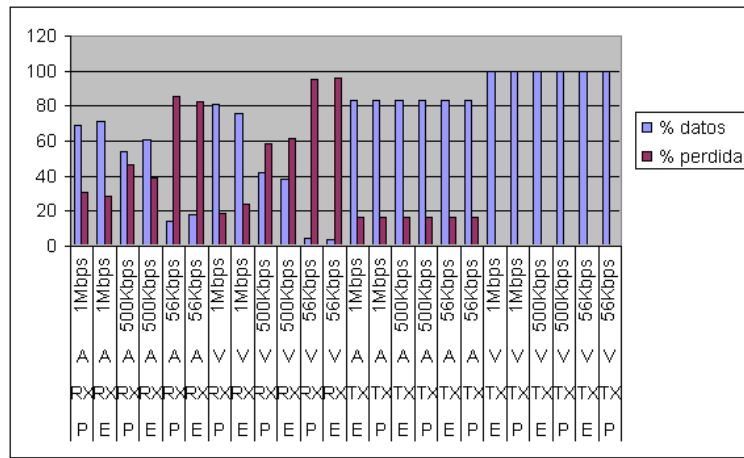


Figura 5.6: Tráfico total de audio y video entre profesor y alumnos a diferentes anchos de banda.

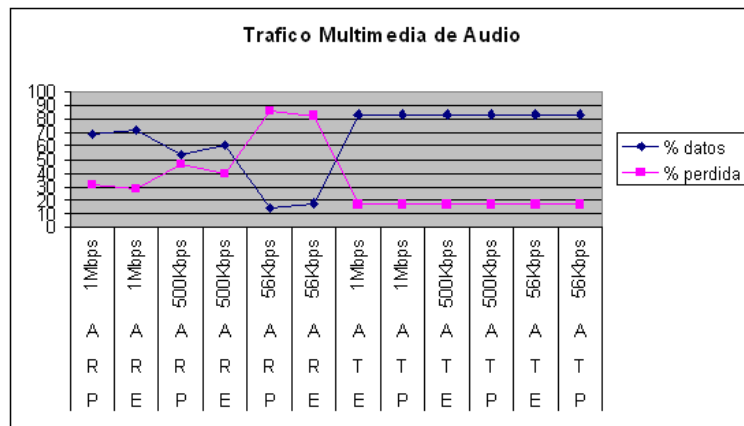


Figura 5.7: Tráfico de audio entre profesor y alumno

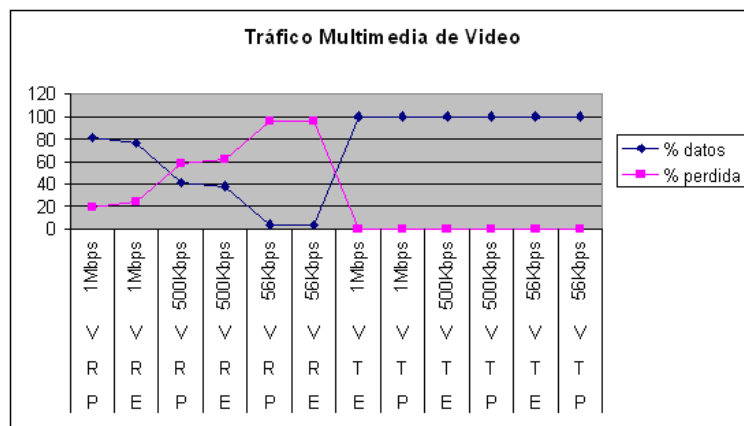


Figura 5.8: Tráfico de video entre profesor y alumno

Convenciones	
V	Video
A	Audio
P	Profesor
E	Estudiante
R	Recepción
T	Transmisión
% datos	Porcentaje de datos efectivos transmitidos o recibidos
% perdida	Porcentaje de paquetes perdidos del total transmitido

Cuadro 5.6: Convenciones

ORIGEN	DESTINO	ESTACION	DIR	MEDIO	VELOCIDAD	MAX DELAY	TOT PKS RTP	ESPERADOS	PKS PERDIDOS	ERROS SEO	% datos	% perdida
ESTUDIANTE	PROFESOR	P	RX	A	1Mbps	0.485086	3763	5457	1694	1325	69	31
PROFESOR	ESTUDIANTE	E	RX	A	1Mbps	0.6828	4069	5884	1615	1280	72	28
ESTUDIANTE	PROFESOR	P	RX	A	500Kbps	0.868346	2783	5185	2402	1487	54	46
PROFESOR	ESTUDIANTE	E	RX	A	500Kbps	0.788819	3522	5785	2263	1490	61	39
ESTUDIANTE	PROFESOR	P	RX	A	56Kbps	3.271272	781	5453	4672	734	14	86
PROFESOR	ESTUDIANTE	E	RX	A	56Kbps	3.877915	1050	5897	4847	924	18	82
ESTUDIANTE	PROFESOR	P	RX	V	1Mbps	0.519942	34722	42828	8110	2559	81	19
PROFESOR	ESTUDIANTE	E	RX	V	1Mbps	0.277538	34104	44944	10840	2695	76	24
ESTUDIANTE	PROFESOR	P	RX	V	500Kbps	0.030469	16129	38593	22464	3946	42	58
PROFESOR	ESTUDIANTE	E	RX	V	500Kbps	0.048518	17142	44957	27815	3841	38	62
ESTUDIANTE	PROFESOR	P	RX	V	56Kbps	0.33664	1824	41689	39862	1413	4	96
PROFESOR	ESTUDIANTE	E	RX	V	56Kbps	1.003841	1856	46734	44878	1726	4	96
ESTUDIANTE	PROFESOR	E	TX	A	1Mbps	0.744588	4445	5333	888	888	83	17
PROFESOR	ESTUDIANTE	P	TX	A	1Mbps	0.644837	4859	5830	971	971	83	17
ESTUDIANTE	PROFESOR	E	TX	A	500Kbps	0.588815	4323	5187	864	864	83	17
PROFESOR	ESTUDIANTE	P	TX	A	500Kbps	0.88507	4843	5811	968	968	83	17
ESTUDIANTE	PROFESOR	E	TX	A	56Kbps	0.327287	4845	5813	968	968	83	17
PROFESOR	ESTUDIANTE	P	TX	A	56Kbps	0.47753	4873	5847	974	974	83	17
ESTUDIANTE	PROFESOR	E	TX	V	1Mbps	0.907779	41805	41805	0	0	100	0
PROFESOR	ESTUDIANTE	P	TX	V	1Mbps	0.691405	46101	46101	0	0	100	0
ESTUDIANTE	PROFESOR	E	TX	V	500Kbps	0.360257	38616	38616	0	0	100	0
PROFESOR	ESTUDIANTE	P	TX	V	500Kbps	0.636049	45178	45178	0	0	100	0
ESTUDIANTE	PROFESOR	E	TX	V	56Kbps	0.283757	44662	44662	0	0	100	0
PROFESOR	ESTUDIANTE	P	TX	V	56Kbps	0.494469	46187	46187	0	0	100	0

Figura 5.9: Datos resumidos del trafico de audio y video entre profesor y estudiante



## Capítulo 6

# Conclusiones

Hemos creado una herramienta de telepresencia que combina tres formas de comunicación sincrónica para apoyar procesos de enseñanza-aprendizaje a distancia. Las formas de comunicación que posibilita la herramienta son:

- Videoconferencia: transmisión bidireccional de audio y video.
- Presentación de diapositivas.
- Interacción en un entorno virtual colaborativo.

Con miras a que la herramienta se pueda utilizar eventualmente de manera masiva en nuestro país, hemos evitado utilizar dispositivos de *hardware* de alto costo o difíciles de conseguir. Por este motivo se utilizan computadores tipo PC con tarjetas graficadoras de rango intermedio, cámaras de video estilo *web cam* y equipos multimedia (micrófonos, parlantes, audífonos) de un rango de precio bajo. El único componente que se utilizó en la experiencia que no se consigue fácilmente en cualquier almacén de computadores, es el *tracker* 3D, que fué utilizado por el profesor para manipular objetos en el entorno virtual colaborativo. Sin embargo, la herramienta fué diseñada de tal forma que los alumnos, utilizando un mouse, pudieran llevar a cabo el mismo tipo de interacción. Por el momento no estamos seguros de que el *tracker* aporte un valor significativo desde la perspectiva de interfaces hombre-máquina.

Los experimentos que se han llevado a cabo en entornos con ancho de banda variable sugieren que la calidad de la recepción se ve afectada por el ancho de banda, como era de esperarse (ver capítulo 5). En estas circunstancias, es necesario controlar mediante el programa el número y la cantidad de mensajes que se envían en cada tipo de flujo (multimedia, realidad virtual o diapositivas), dando mayor prioridad al tipo de flujo que aporte más contenido. Es conveniente continuar el trabajo en esta dirección, involucrando los resultados que hemos obtenido en nuestro grupo en otros proyectos [Tre02] [TMZ03]. *citar el artículo de Andrés Quiroz en Kawai.*

Posiblemente los resultados de mayor impacto en cuanto apropiación social son los obtenidos como fruto de la experiencia pedagógica del proyecto. Estos resultados sugieren que el uso de la herramienta de telepresencia, combinada con un modelo pedagógico apropiado, tal como la Enseñanza para la Comprensión, permite a los estudiantes obtener niveles de comprensión iguales o, en algunos casos superiores, a los obtenidos en educación presencial por medio de recursos tradicionales (tiza y tablero). Estos resultados son muy alentadores y sugieren que sería bueno difundir la herramienta para que pueda ser utilizada por otras instituciones educativas en nuestro país y en el exterior. Estamos considerando convertir la herramienta en un producto que se pueda poner a disposición de la comunidad educativa.

Los cursos que se pueden beneficiar en mayor medida de la herramienta desarrollada son aquellos en los cuales el instructor y los estudiantes puedan manipular objetos en 2 y 3 dimensiones para reforzar los objetivos de aprendizaje del curso. Consideramos que existen numerosos cursos tales como anatomía,

en las ciencias de la salud; diseño de objetos, en programas de ingeniería; o diseño de espacios, en programas de arquitectura; que se pueden beneficiar de la herramienta desarrollada.

## Capítulo 7

# Lecciones Aprendidas

Durante el desarrollo del proyecto, y en los tres cursos que se dictaron utilizando la herramienta, el grupo aprendió un conjunto de lecciones, tanto positivas como negativas, que pueden ser de utilidad para otros grupos que emprendan proyectos similares.

El objetivo de este capítulo es describir esas lecciones de una manera transparente. Nos empuja, en parte, el hecho de que esperamos convertir la herramienta en un producto que se pueda ofrecer a la comunidad educativa, para que pueda ser utilizada en cualquier institución del país en del exterior.

### 7.1. Logística y dispositivos

Así parezca evidente, los problemas de logística pueden afectar la experiencia pedagógica de manera adversa.

Es necesario probar y ajustar numerosos elementos de tipo tecnológico antes de comenzar la primera experiencia. Algunos de los elementos que se deben probar de manera exhaustiva son:

- *Cámaras* Cámaras tipo *web-cam* de costo promedio son suficientes.

La localización de las cámaras es importante para lograr buena comunicación visual en ambos sentidos. Luego de ensayar varias posiciones encontramos que la mejor posición para la cámara de los alumnos es justamente encima del telón sobre el cual se proyecta la salida del computador.

- *Sitio Físico* Es importante que tanto en el sitio donde el profesor dicta la clase como en el sitio donde los alumnos la reciben, esté aislado de ruido externo.

La iluminación de los sitios es un aspecto que se debe controlar. Por un lado, la iluminación debe ser suficiente para que el profesor vea claramente a los alumnos y viceversa. Por otro lado, en el lado de los alumnos, la iluminación del salón, en el sitio del telón de proyección, no debe ser tan intensa que se afecte la calidad de la proyección. Por estos motivos el salón de los alumnos debe contar con mecanismos para controlar la iluminación, tales como cortinas y luces controlables por sectores.

### 7.2. El docente

Encontramos que es muy importante que el profesor reciba formación en Enseñanza para la Comprensión con tiempo suficiente para poder interiorizar este conocimiento. La EpC es más que un cambio de terminología. Es un cambio de filosofía en el momento de enseñar.

El docente debe recibir enternamiento también en el uso de la herramienta y en el uso de los dispositivos. Solamente por medio de la experiencia el docente puede aprender a manejar el tono, la intensidad y la velocidad al hablar para lograr que los estudiantes lo escuchen claramente.

Finalmente, encontramos que el profesor debe observar constantemente los alumnos para detectar y corregir cualquier anomalía. Y es indispensable pedir retroalimentación constante a los alumnos, para lograr mantener una conexión intelectual, ya que es más difícil conectarse emocionalmente con una persona de carne y hueso que con una persona proyectada. La disposición a esta actitud permanente de escucha va de la mano con la personalidad del profesor. Un profesor que dicta clase mirando hacia el tablero y no admite preguntas sino hasta el final, probablemente no será un buen profesor con estos medios.

### **7.3. Los contenidos**

Los contenidos se deben escoger de manera tal que los puntos fuertes de la herramienta, en particular la posibilidad de “manipular” virtualmente objetos virtuales en el espacio de realidad virtual, realmente ofrezcan un valor agregado en el aprendizaje por parte del alumno. A manera de ejemplo, un cadáver virtual es un excelente elemento en una lección de anatomía. Una maqueta virtual es una excelente ayuda en el caso de una lección de diseño arquitectónico. Por el contrario, un curso de filosofía difícilmente se podrá apoyar en la interacción de objetos virtuales.

### **7.4. Los estudiantes**

Los estudiantes, como centro de la propuesta educativa de la EpC, cobran en la experiencia una importancia aún mayor. Es indispensable motivarlos y venderles con antelación la tecnología que se va a utilizar. Es conveniente realizar una o varias sesiones de prueba antes de que comience realmente el proceso de enseñanza-aprendizaje para permitir que los diferentes actores se acomoden a los cambios impuestos por la tecnología.

De manera similar, es importante monitorear constantemente (al final de cada sesión, por ejemplo), la satisfacción y la motivación de los estudiantes. Sus comentarios son la mejor guía para ajustar cualquier inconveniente tan pronto se presente.

## Capítulo 8

# Trabajo Futuro

Los resultados obtenidos hasta el momento son alentadores, y sugieren que continuar trabajando en esta dirección es útil.

Pensamos que el trabajo futuro en el proyecto se podría enfocar en uno o varios de los siguientes frentes:

### 8.1. Ancho de banda reducido

Sería conveniente probar la herramienta en un ambiente en el cual la distancia física implique no contar con un ancho de banda estilo red local.

Se podría utilizar, por ejemplo, el campus de la sede de Rionego. Esta sede está conectada al campus principal de Eafit por medio de dos canales REDSI.

En presencia de un ancho de banda reducido, cobra particular importancia el poder asignar diferentes prioridades a los diferentes tipos de mensajes: video, audio o interacción en el ambiente virtual colaborativo.

### 8.2. Calidad de Servicio

Es claro que la caracterización del tráfico multimedia es en tiempo real y como tal demanda requerimientos de red acordes con esta característica. Actualmente la herramienta ofrece unos servicios de red bajo la política de *mejor esfuerzo*, en la cual no solo no se tiene garantía del ancho de banda, sino que ante una degradación del canal, se afectan de igual manera todos los tipos de datos.

Por lo tanto, a nivel tecnológico, la exploración de los diferentes mecanismos de Calidad del Servicio, tanto en priorización de tráfico como en mecanismos reactivos (feedback) para la habilitación de los diferentes servicios telemáticos entre ambas partes, sería un área importante de trabajo futuro.

### 8.3. Presencialidad versus uso de la plataforma

En el experimento que se llevó a cabo en este proyecto, se comparó un grupo que usaba la herramienta a distancia con un grupo que no la usaba y recibía las clases presenciales. En este experimento hay combinadas dos variables: el uso o no de la herramienta por un lado y la presencialidad o no por el otro. En los resultados obtenidos, están mezclados los efectos de ambas variables.

Sería conveniente realizar un nuevo conjunto de experimentos para tratar de aislar los efectos de cada una de estas variables.

## 8.4. Intefaz Hombre–Máquina

Sería interesante también estudiar los aspectos de interacción hombre–computador al utilizar el ambiente virtual colaborativo.

En los experimentos realizados, por ejemplo, el profesor contaba con un *tracker* tridimensional, mientras que los alumnos usaban un mouse tradicional. Sería bueno determinar si el contar con un tipo de dispositivo u otro afecta la eficacia y/o la eficiencia de los usuarios en el momento de interactuar con la herramienta.

## 8.5. Convertir la herramienta en un producto

Cuando realizamos presentaciones de la herramienta en diferentes auditorios, surgió con frecuencia una pregunta: es posible utilizar esta herramienta en otras instituciones?

Nos gustaría dedicar un buen tiempo a convertir la herramienta desarrollada en un producto con buena documentación, fácil de usar, que se pueda poner en un servidor a disposición de otras instituciones educativas que la quieran utilizar.

## 8.6. Múltiples puntos de conexión para alumnos

En la herramienta actual, todos los alumnos se deben encontrar físicamente en un sitio, ya que la aplicación funciona de manera *punto–a–punto*.

En una posterior implementación se podría explorar la posibilidad de permitir que varios grupos de alumnos se conecten a la aplicación desde diferentes lugares. En el caso extremo, cada alumno podría estar conectado a la aplicación desde su casa.

En este caso aparecerían retos interesantes desde el punto del ancho de banda agregado. Adicionalmente, se debe estudiar el número de alumnos que el instructor puede atender eficientemente de manera simultánea.

# Apéndice A

## Matrices Rubrics

En este apéndice se describen las matrices de *rubrics*, utilizadas por los expertos para calificar cada alumno en un nivel específico de la comprensión a lo largo de las cuatro dimensiones de la comprensión.

### A.1. Curso Computación Gráfica

En los cursos de Computación Gráfica, semestres 2003–2 y 2004–1, se utilizó la matriz de rubrics descrita en las tablas A.1, A.2 y A.3.

### A.2. Curso de Electricidad y Magnetismo

En el curso de Electricidad y Magnetismo, semestre 2004–1, se utilizó la matriz de rubrics descrita en las tablas A.4, A.5 y A.6.

Dominio del problema					
	Pregunta	Ingenuo	Novato	Aprendiz	Experto
d1	<i>Comprensión del problema a resolver</i>	No demuestra comprender el problema ni su importancia.	Demuestra una comprensión leve del problema.	Demuestra una comprensión autónoma del problema.	Comprende a cabalidad el problema y su importancia.
d2	<i>Comparación entre la herramienta propia y otras existentes</i>	No exploró otras soluciones.	Exploró algunas herramientas pero no establece relación con la propia.	Se establece relación entre otras herramientas y la propia.	Exploró otras herramientas y argumenta de manera formal cómo la suya es mejor.
d3	<i>Demostración de la herramienta</i>	La demostración no funciona.	La demostración funciona pero falla con frecuencia.	La demostración funciona en un conjunto amplio de situaciones.	La herramienta funciona a la perfección, se estima que en cualquier situación.
d4	<i>Proyección de la herramienta al futuro en este problema o en otro tipo de problemas. Creación de nuevos productos.</i>	No se plantea trabajo al futuro con la herramienta. No muestra que conoce la relación entre lo que aprendió en la materia y sus posibles usos.	Menciona las mejoras a la herramienta, no proyecta su uso a otras situaciones.	Menciona mejoras a la herramienta y algunos usos de la misma.	Explica con claridad cómo la herramienta puede ser mejorada e incluso utilizada para resolver otro tipo de situaciones.

Cuadro A.1: Matriz de Rubrics – Curso de Computación Gráfica – Dominio del Problema

Computación Gráfica					
	Pregunta	Ingenuo	Novato	Aprendiz	Experto
c1	<i>Aplicación de conceptos de la materia en la construcción de la herramienta</i>	No identifica conceptos de la materia utilizados en la herramienta.	Menciona algunos conceptos utilizados, no explica con claridad como se aplicaron.	Menciona los conceptos y describe cómo fueron aplicados.	Explica cuáles conceptos se usaron y argumenta por qué se usaron esos y no otros.
c2	<i>Dominio de los conceptos utilizados</i>	El conocimiento que demuestra es intuitivo, no es formal. Los conceptos que el estudiante toma no están conectados entre sí ni con el problema.	El estudiante comienza a generar conexiones, pero se nota que son ensayadas previamente.	El estudiante muestra uso flexible de los conceptos de la materia. Muestra creatividad en la escogencia de los conceptos a utilizar.	El estudiante maneja los conceptos formales para validar y crear nuevo conocimiento. Muestra cómo se hizo uso creativo de los conceptos y sus aplicaciones.
c3	<i>Demostración de la herramienta</i>	La demostración no funciona.	La demostración funciona pero falla con frecuencia.	La demostración funciona en un conjunto amplio de situaciones.	La herramienta funciona a la perfección, se estima que en cualquier situación.

Cuadro A.2: Matriz de Rubrics – Curso de Computación Gráfica – Aplicación de conceptos de la materia

Presentación					
	Pregunta	Ingenuo	Novato	Aprendiz	Experto
p1	<i>Presentación oral y uso de los medios</i>	No utiliza medios diferentes al tablero. Usa un tono de voz muy bajo.	Se enreda en el uso de los medios. Lee la presentación al pie de la letra.	Uso adecuado de los medios escogidos. Es capaz de apartarse del guión cuando es necesario.	Completo dominio de los medios utilizados y en qué circunstancia utilizar cuál medio. Tono de voz adecuado. Demuestra seguridad.
p2	<i>Manejo del lenguaje técnico</i>	No usa lenguaje técnico.	Usa términos técnicos pero no siempre de manera correcta.	Usa con propiedad los términos técnicos.	Usa de manera efectiva los sistemas simbólicos de la materia.
p3	<i>Manejo de las preguntas</i>	No responde preguntas o responde de manera equivocada.	En las respuestas no exhibe argumentación.	Las respuestas exhiben argumentación y criterio.	En sus respuestas demuestra dominio del tema.
p4	<i>Interacción con el público</i>	No considera el público en su exposición. No mira al público. No se mueve.	Mira al público de vez en cuando.	Mantiene contacto con el público.	Adapta su exposición para llegarle a los diferentes públicos presentes. Percibe el estado de ánimo del público y se adapta.

Cuadro A.3: Matriz de Rubrics – Curso de Computación Gráfica – Aplicación de conceptos de la materia

Dominio del problema					
	Pregunta	Ingenuo	Novato	Aprendiz	Experto
d1	<i>Explicación del problema</i>	La explicación no es clara. No demuestra que tiene ideas propias respecto al problema.	La explicación es clara pero no demuestra ideas propias frente al problema.	Demuestra ideas propias frente al problema, pero la explicación es deficiente.	Propone una explicación fundada en evidencia. Demuestra ideas propias frente al problema.
d2	<i>Comprensión del problema a resolver</i>	No demuestra comprender el problema ni su importancia.	Demuestra una comprensión leve del problema.	Demuestra una comprensión autónoma del problema.	Comprende a cabalidad el problema y su importancia
d3	<i>Comparación entre su problema y otros existentes</i>	No exploró otros problemas similares	Exploró algunos problemas pero no establece relación con el propio.	Establece relación entre otros problemas y el propio.	Exploró otros problemas y argumenta de manera formal cómo su explicación es mejor.
d4	<i>Proyección de la herramienta al futuro en este problema o en otro tipo de problemas. Creación de nuevos productos.</i>	No se plantea trabajo al futuro con la herramienta. No muestra que conoce la relación entre lo que aprendió en la materia y sus posibles usos.	Menciona las mejoras a la herramienta, no proyecta su uso a otras situaciones.	Menciona mejoras a la herramienta y algunos usos de la misma.	Explica con claridad cómo la herramienta puede ser mejorada e incluso utilizada para resolver otro tipo de situaciones.

Cuadro A.4: Matriz de Rubrics – Curso de Electricidad y Magnetismo – Dominio del Problema

Computación Gráfica					
	Pregunta	Ingenuo	Novato	Aprendiz	Experto
c1	<i>Aplicación de conceptos de la materia</i>	No identifica conceptos de la materia utilizados.	Menciona algunos conceptos utilizados, no explica con claridad como se aplicaron.	Menciona los conceptos y describe cómo fueron aplicados.	Explica cuáles conceptos se usaron y argumenta por qué se usaron esos y no otros.
c2	<i>Dominio de los conceptos utilizados</i>	El conocimiento que demuestra es intuitivo, no es formal. Los conceptos que el estudiante toma no están conectados entre sí ni con el problema.	El estudiante comienza a generar conexiones, pero se nota que son ensayadas previamente.	El estudiante muestra uso flexible de los conceptos de la materia. Muestra creatividad en la escogencia de los conceptos a utilizar.	El estudiante maneja los conceptos formales para validar y crear nuevo conocimiento. Muestra cómo se hizo uso creativo de los conceptos y sus aplicaciones.
c3	<i>Comprensión de la relación entre los conceptos aprendidos en la materia y sus posibles usos</i>	No encuentra la relación. No considera los propósitos ni los usos de lo que aprendió.	Comprende la relación entre los conceptos y el proyecto realizado. Mas no demuestra extrapolar esos usos a su vida profesional.	Muestra que entiende cómo utilizar lo aprendido en su vida profesional.	Muestra que es capaz de generar usos creativos de lo que aprendió en su futura vida profesional, posiblemente generando nuevo conocimiento o nuevas aplicaciones.

Cuadro A.5: Matriz de Rubrics – Curso de Electricidad y Magnetismo – Aplicación de conceptos de la materia

Presentación					
	Pregunta	Ingenuo	Novato	Aprendiz	Experto
p1	<i>Presentación oral y uso de los medios</i>	No utiliza medios diferentes al tablero. Usa un tono de voz muy bajo.	Se enreda en el uso de los medios. Lee la presentación al pie de la letra.	Uso adecuado de los medios escogidos. Es capaz de apartarse del guión cuando es necesario.	Completo dominio de los medios utilizados y en qué circunstancia utilizar cuál medio. Tono de voz adecuado. Demuestra seguridad.
p2	<i>Manejo del lenguaje técnico</i>	No usa lenguaje técnico.	Usa términos técnicos pero no siempre de manera correcta.	Usa con propiedad los términos técnicos.	Usa de manera efectiva los sistemas simbólicos de la materia.
p3	<i>Manejo de las preguntas</i>	No responde preguntas o responde de manera equivocada.	En las respuestas no exhibe argumentación.	Las respuestas exhiben argumentación y criterio.	En sus respuestas demuestra dominio del tema.
p4	<i>Interacción con el público</i>	No considera el público en su exposición. No mira al público. No se mueve.	Mira al público de vez en cuando.	Mantiene contacto con el público.	Adapta su exposición para llegarle a los diferentes públicos presentes. Percibe el estado de ánimo del público y se adapta.

Cuadro A.6: Matriz de Rubrics – Curso de Electricidad y Magnetismo – Aplicación de conceptos de la materia

# Bibliografía

- [AWF91] H. M. Adbel-Wahab and M. A. Feit. Xtv: A framework for sharing x window clients in remote synchronous collaboration. In *IEEE Tricomm '91: Communications for Distributed Applications and Systems*, 1991.
- [BF93] S. Benford and L. Fahlen. A spatial model of interaction in virtual environments. In *Proceedings Third European Conference on Computer Supported Cooperative Work (ECSCW'93)*, 1993.
- [Bly98] Tina Blythe. *La enseñanza para la comprensión: Guía para el Docente*. Paidós, 1998.
- [Bri91] M. Bricken. Virtual reality learning environments: Potentials and challenge. *Computer Graphics*, 25(3):178–184, 1991.
- [Bru99] Peter Brusilovsky. Adaptive and intelligent technologies for web-based education. *KI - Künstliche Intelligenz*, 13(4):19–25, 1999.
- [Cas99] Manuel Castells. *La era de la información: economía, sociedad y cultura.*, volume 1. Alianza Editorial., 1999.
- [CLP03] José H. Canós, Patricio Letelier, and M<sup>a</sup> Carmen Penadés. Metodologías Ágiles en el desarrollo de software, Noviembre 2003.
- [Col98] Betty Collis. *The Virtual Campus: Trends for Higher Education and Training*, chapter New Wine and Old Bottles? Tele-Learning, Telematics and the University of Twente, pages 1–43. Chapman&Hall, 1998.
- [Cor98] Carlos D. Correa. EXcalibur: Motor Gráfico para Ambientes Virtuales Colaborativos. Proyecto de grado, Universidad EAFIT, 1998.
- [CYL03] J. Chen, Y. Yonggao, and B. Loftin. Muvees: a pc-based multi-user virtual environments for learning. In *IEEE Virtual Reality*, 2003.
- [dC] Programa Universidad Virtual. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.virtual.unal.edu.co/>.
- [dN] Fundación Universitaria Católica del Norte. <http://www.ucn.edu.co/>.
- [ea96] H. Schulzrinne et al. RTP: A transport protocol for real-time applications. RFC 1889, 1996.
- [ea03] Juan Quemada et al. Isabel distribution of the madrid global ipv6 summit 2002 over an ipv6 transition network. In *Proc. of the 2003 Symposium on Applications and the Internet Workshops, IEEE*, pages 200–203, 2003.
- [Fal73] Howard Falk. Picturephone and beyond. *IEEE Spectrum*, pages 45–49, 1973.

- [GB95] C. Greenhalgh and S Benford. MASSIVE: a distributed virtual reality system incorporating spatial trading. In IEEE Computer Society., editor, *IEEE 15th International Conference on Distributed Computing Systems (DCS'95)*, June 1995.
- [HS00] M. Deering H. Sowizral, K. Rushforth. *The Java 3D API Specification*. Addison-Wesley Publishing Company, 2000.
- [htt] <http://www.educaweb.com/esp/secciones/seccion.asp?sec=6&op=12>. Educaweb.com: educación, formación y trabajo. la opinión de los expertos.
- [jmf99] *Java Media Framework Application Programming Interface Guide*. Sun Microsystems, Inc, 1999.
- [JRL<sup>+</sup>98] A. Johnson, M. Roussos, J. Leigh, C. Barnes, C. Vasilakis, and T. Moher. The nice project: Learning together in a virtual world. In *VRAIS 98*, March 1998.
- [Lar02] Luis Rodolfo Lara. Análisis de los recursos interactivos en las aulas virtuales, 2002.
- [LD95] L. Berger L. Delgrossi. Internet stream protocol version 2 (st2) protocol specification - version st2+. RFC 1819, 1995.
- [Lóp03] G. López. La sociedad de la información: Una visión desde la educación y la cultura, 2003. Conferencia presentada en el lanzamiento del programa: Especialización de Tecnologías de Información para la Educación.
- [LSE01] Mikael Lindkvist, Andreas Söderlund, and Daniel Evestedt. A distributed radiosity render. Technical report, Uppsala University, February 2001.
- [Álv] Roger Loaiza Álvarez. Facilitacion y capacitacion virtual en america latina. <http://amauta.org/pelf/Loaiza.html>.
- [Mesa] Microsoft Messenger. <http://messenger.msn.com/>.
- [Mesb] Yahoo Messenger. <http://messenger.yahoo.com/>.
- [OARBWM93] Davis T. OpenGL Architecture Review Board. Woo M., Neider J. *OpenGL Programming Guide*. Addison-Wesley Publishing Company, 1993.
- [RB94] S. Shenker R. Braden, D. Clarck. Integrated services in the internet architecture : an overview. RFC 1633, 1994.
- [Ser97] Raymond A. Serway. *Física*, volume 2. Mc Graw Hill, cuarta edition, 1997.
- [SN95] R. Steinmetz and K. Nahrstedt. *Multimedia: Computing, Communications and Applications*. Prentice Hall, 1995.
- [SZ99] S. Singhal and M. Zyda. *Networked Virtual Environments: Design and Implementation*. Addison-Wesley, 1999.
- [TAM02] Eric Haines Tomas Akenine-Möller. *Real-Time Rendering*. A K Peters, second edition, 2002.
- [TCG<sup>+</sup>97] H. Trefttz, C. Correa, M.A. Gonzalez, G. Imbeau, J Restrepo, M.I. Velez, and C. Trefttz. *The Virtual Campus: Trends for Higher Education and Training*, chapter Distance Education and Distributed Virtual Environments. Gedisa, 1997.
- [TMZ03] H. Trefttz, I. Marsic, and M. Zyda. Handling heterogeneity in networked virtual environments. *PRESENCE*, 12(1):37–51, 2003.

- [Tre02] Helmuth Trefftz. *System-wide Constraints and User Preferences in Collaborative Virtual Environments*. PhD thesis, Rutgers University, Department of Electrical and Computer Engineering, 2002.
- [WPS99] Inc. CU-SeeMe Pro: Online Documentation White Pine Software. [http:// support.wpine.com/cuseemepro/doc/default.htm](http://support.wpine.com/cuseemepro/doc/default.htm), 1999.
- [ZAGL99] C. Zea, M. Atuesta, M. González, and C. López. Tecnologías de información y comunicaciones en proyectos de informática educativa, 1999. Documento preparado para curso de verano en la Universidad de Castilla de la Mancha.

# Índice alfabético

audio, 33

AVALON, 1

controles, 33

diapositivas, 33

Enseñanza para la Comprensión, 2  
estudiante, 34

Java Media Framework, 33

JMF, 33

JPG, 33

Módulo de Realidad Virtual, 36

profesor, 34

Realidad Virtual, 34

sensor de posición electromagnético, 34

Telepresencia, 3

video, 33

video local, 33

video remoto, 33