

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY  
CAMPUS ESTADO DE MÉXICO**



**REALIDAD VIRTUAL BASADA EN PERCEPCIÓN**

**TESIS QUE PRESENTA**

**MARISSA DÍAZ PIER**

**DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN  
DCC 03**

**ENERO, 2007**

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY  
CAMPUS ESTADO DE MÉXICO



## **REALIDAD VIRTUAL BASADA EN PERCEPCIÓN**

TESIS QUE PARA OPTAR EL GRADO DE  
DOCTOR EN CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN  
PRESENTA

**MARISSA DÍAZ PIER**

Asesor: DR. ISAAC RUDOMÍN GOLDBERG

Comité de Tesis: DR. RAFAEL ERIC MURRIETA CID  
DR. MIGUEL GONZÁLEZ MENDOZA  
DR. MARIO ARTURO GUTIÉRREZ ALONSO  
DRA. MARÍA ELENA ALGORRI  
DR. ISAAC RUDOMÍN GOLDBERG

Atizapán de Zaragoza, Edo. Méx., Enero 2007

"La finalidad del Arte es dar  
cuerpo a la esencia secreta de  
las cosas, no copiar su  
aparencia"

Aristóteles

A mis padres y a mi  
familia quienes alimentan mi alma  
de sueños con amor y cariño

Si e4 e5 Cf3 Cf6 d3 no hacer b6.  
Va por el rey.

## RESUMEN

Para optimizar la interrelación interfaz usuario en un ensamble de Realidad Virtual o Aumentada, esta tesis propone investigar los fenómenos de la percepción humana estudiando los mecanismos que emplea el cerebro para recibir e interpretar la información que los sentidos le proporcionan. Primeramente, hay que tomar en cuenta que, en realidad, el ser humano no ve con los ojos, ni escucha con los oídos, sino que es el cerebro el que finalmente crea una idea de la “realidad” basándose en información generalmente distorsionada y limitada. En algunas ocasiones, el cerebro complementa los datos disponibles usando la experiencia o esquemas ancestrales (heredados por generaciones<sup>1</sup>), de modo tal que este tipo de condicionamiento puede ser aprovechado en el desarrollo de interfaces.

El trabajo aquí propuesto pretende saltar la barrera de los sentidos para tratar de brindar la posibilidad de un intercambio de información más puro entre la persona y la realidad, sea esta virtual o no. Por medio del análisis de la percepción, se pretende establecer una metodología para la síntesis de interfaces que permitan aprovechar las ventajas de este tipo de planteamiento, de las cuales hablaremos mas adelante, para crear una nueva generación de aparatos de interrelación hombre-maquina y mente-realidad que constituyan interfaces más naturales e intuitivas.

La presente investigación desea contribuir en la generación de una nueva manera de ver las aplicaciones 3D para permitir el diseño de interfaces que realmente unan al usuario con el mundo virtual de una manera natural. De esta manera, este trabajo se enfoca a realizar experimentos sobre la percepción del usuario. Para lograrlo, es imprescindible establecer conexiones entre lo que el usuario siente, ve y percibe entre el mundo real y una realidad virtual. Es necesario el desarrollo de nuevas herramientas para capturar los mensajes entre usuario y maquina, tanto directos como indirectos, y así cubrir la necesidad naciente de una industria donde se requieren dispositivos de interacción que sean precisos y económicos, ya que las aplicaciones se acercan cada vez mas a la realidad pero han fallado al involucrar al usuario como parte del desarrollo de las mismas.

---

<sup>1</sup> Cuando el cerebro humano evolucionó a su estado actual durante aproximadamente unos 30,000 años, se programo para interpretar los objetos de maneras particulares, especialmente para detectar depredadores y posibles peligros.

## PREFACIO

Podemos convertir casi cualquier objeto en parte de una interfaz. Durante mucho tiempo, el objetivo de los diseñadores de software y hardware ha sido el de brindar una forma sencilla para introducir datos al sistema sin ocuparse realmente de otra cosa fuera de exaltar el realismo. La alternativa propuesta pretende dar mayor importancia a la percepción que a la representación<sup>2</sup> de la realidad.

Actualmente, las Ciencias Computacionales enfrentan un reto diferente; las aplicaciones en el área de Graficas Computacionales tienden a ser extremadamente complejas al tratar de alcanzar una perfección que engañe totalmente a los sentidos. Aunque los algoritmos y el hardware gráfico avanzan de manera acelerada, hacen falta nuevas técnicas que aseguren mejores resultados incorporando “la percepción del usuario”<sup>3</sup> como un nuevo componente en este reto. Las actuales aplicaciones tratan de convencer a la persona para hacer creíble la realidad de la aplicación, pero necesitamos darnos cuenta de que se requiere considerar al sujeto, para así poder utilizar técnicas como la bio-retroalimentación (“biofeedback”) y el análisis de la percepción profunda, que permitan una interacción diferente y más completa entre usuario y realidad virtual, entre usuario y esa ilusión sintética, tratando de lograr impresiones mas allá de la simple visualización o de la sensación primaria. Estaríamos ante la posibilidad de experimentar sensaciones como las que produce una pintura de Monet ante el espectador, a diferencia de lo que puede proyectar un cuadro de Leonardo, el cuadro de Leonardo nos permitirá ver y analizar la sutileza del trazo la geometría y los trucos de la profundidad, la perfección de la composición y la expresión del personaje, pero la obra de Monet nos puede llevar mas allá y evocar otras emociones más abstractas al permitir una percepción diferente por medio de colores y luces. Se pretende crear, por lo tanto, una ilusión 3D impresionista más que realista.

---

<sup>2</sup> Representación concebida como el **Diccionario de la Real Academia Española** del latín *representatio*, -ōnis: figura, imagen o idea que sustituye a la realidad, en este caso nos referimos al render como una representación.

<sup>3</sup> Percepción definida como en el **Diccionario de la Real Academia Española** del latín *perceptio*, -ōnis: sensación interior que resulta de una impresión material hecha en nuestros sentidos. Percibir: Comprender o conocer algo.

Una de las cosas que permite la bio-retroalimentación, entre otras, es “relacionar” correctamente las acciones que se realizan en el mundo real con las acciones que se ven reflejadas en el mundo virtual, de manera que, si la interfaz es buena, el usuario puede generar una “conexión virtual” y le permite pensar que realmente está modificando, por medio de sus acciones, la situación de un objeto en el mundo virtual. Este tipo de análisis de las necesidades perceptivas del usuario llevará a la creación de mejores y más simples aplicaciones al no requerir hardware complejo ni un software sofisticado para que el usuario pueda quedar inmerso en una aplicación virtual convincente.

Para el desarrollo de interfaces humano-computadora que realmente se apoyen en la percepción, el primer paso es el de explorar las necesidades del usuario y los mecanismos de percepción inherentes al individuo, de forma que se puedan implementar dispositivos de interrelación más eficientes. Por esta razón, en el primer capítulo de esta tesis se revisan conceptos sobre los procesos de percepción en el ser humano, desde la transducción del entorno por medio de los sentidos, hasta los mecanismos mediante los cuales el cerebro humano lleva a cabo un procesamiento a nivel instintivo de ciertos patrones y secuencias dentro de esta percepción primigenia, ligándolas a conceptos básicos que forman parte de la realidad de cada individuo. También se describe el trabajo realizado en el área de la realidad virtual y como en éstas se ha ido incorporando poco a poco la idea del usuario como parte de la aplicación, mostrando ejemplos sobre aplicaciones de realidad virtual que han sido utilizadas en el mundo del arte para rebasar las barreras puramente visuales y lograr transmitir sensaciones a los usuarios (haciéndoles parte del arte mismo) integrándose entonces a la pieza, sobrepasando los límites tradicionales de las aplicaciones interactivas.

El capítulo segundo comprende las bases de la investigación de esta tesis, las aplicaciones que sirvieron para la comprobación de las hipótesis planteadas y los experimentos que apoyan los resultados obtenidos. A si mismo se puede ver como un conjunto de interfaces directas se emplearon para obtener información sobre la percepción del usuario sobre la realidad. Estas aplicaciones buscan cumplir con el objetivo de mejorar

la interacción directa y permitir tener un marco de referencia para analizar la percepción del usuario dentro de las aplicaciones virtuales.

En el último capítulo se compararán los resultados obtenidos con los deseados y se brinda un punto de vista sustentado sobre la integración de la percepción humana en el desarrollo de interfaces, ventajas, desventajas y retos dentro del área. También se ofrece una reflexión sobre las diferentes aplicaciones que involucran diversas acciones de usuario y damos un marco para catalogarlas por su tipo de interacción en: táctiles, indirectas, directas y por referencia virtual. De esta forma se brinda una idea clara de la diferencia entre estas, de los resultados que se pueden esperar sobre la interacción de cada una de ellas, de cómo diseñarles para obtener tales resultados y de cómo utilizar este conocimiento en futuras aplicaciones que integren la percepción como base de la interacción y exaltación de la Realidad Virtual.

Finalmente, se puede encontrar información sobre las aplicaciones, así como el código y los videos de las pruebas en el CD adjunto.

# CONTENIDO

RESUMEN.....	i
PREFACIO .....	iii
<b>CAPITULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN A LAS INTERFASES .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. LOS SENTIDOS Y LA PERCEPCIÓN.....</b>	<b>11</b>
1.2.1 <i>Perspectiva y visión humana.....</i>	<i>11</i>
1.2.2 <i>Tacto y sensación táctil .....</i>	<i>17</i>
1.2.3 <i>El sentido Auditivo .....</i>	<i>20</i>
1.2.4 <i>El sentido del gusto.....</i>	<i>23</i>
1.2.5 <i>El sentido del olfato .....</i>	<i>25</i>
<b>1.3 PERSPECTIVA PSICOLÓGICA.....</b>	<b>27</b>
1.3.1 <i>Bioretroalimentación y Realidad Virtual.....</i>	<i>27</i>
1.3.2 <i>Plasticidad del Sistema Nervioso Central .....</i>	<i>30</i>
<b>1.4. TRABAJO INVOLUCRANDO REALIDAD VIRTUAL Y LOS SENTIDOS.....</b>	<b>32</b>
1.4.1 <i>Centrándonos en el usuario.....</i>	<i>32</i>
1.4.2 <i>Trabajos previos en captura de geometría y movimiento .....</i>	<i>33</i>
1.4.3 <i>Trabajos previos en sensado y diseño de interfaces .....</i>	<i>34</i>
1.4.4 <i>Trabajos previos en Realidad Virtual y el uso de los sentidos.....</i>	<i>36</i>
<b>1.5. CONCEPTOS GENERALES EN EL DESARROLLO DE SENSORES .....</b>	<b>39</b>
1.5.1 <i>Sistemas Ópticos .....</i>	<i>39</i>
1.5.2 <i>Magnéticos.....</i>	<i>39</i>
1.5.3 <i>Eléctricos .....</i>	<i>40</i>
1.5.4 <i>Piezo resistivos.....</i>	<i>41</i>
<b>1.6. REALISMO Y MEJORAMIENTO DE LA IMAGEN .....</b>	<b>42</b>
1.6.1 <i>Llevando el realismo a la realidad virtual.....</i>	<i>42</i>
1.6.2 <i>Interacción, acción y función .....</i>	<i>44</i>
1.6.3 <i>Apariencia de lo real en lo virtual .....</i>	<i>45</i>
1.6.4 <i>Moviendo lo virtual hacia lo real.....</i>	<i>49</i>
<b>CAPITULO 2.....</b>	<b>51</b>
<b>2.1 IMPLEMENTANDO DISEÑO BASADO EN PERCEPCIÓN.....</b>	<b>56</b>
2.1.1 <i>Aumento de la inmersibilidad con elementos táctiles .....</i>	<i>56</i>
<u>Trabajo Experimental A .....</u>	<u>58</u>
A.1 Descripción general .....	58
A.2 Descripción del juego .....	64
A.3 La Interfaz .....	64
A.4 Construyendo la Interfaz .....	65
A.5 Disponiendo las capacidades colaborativas del ambiente.....	66
A.6 Resultados Experimentales .....	68
<b>2.2 AUMENTO DE LA INMERSIBILIDAD CON ELEMENTOS MÚLTIPLES TÁCTILES.....</b>	<b>69</b>
<u>Trabajo Experimental B.....</u>	<u>69</u>
B.1 Descripción general.....	69
B.2 La Interfaz .....	70
B.3 Sistema de navegación .....	72

B.4 Escenarios.....	73
B.5 Resultados.....	74
<b>2.3 AUMENTO DE LA INMERSIBILIDAD EN BASE A LA PERCEPCIÓN.....</b>	<b>76</b>
<u>Trabajo Experimental C.....</u>	<u>76</u>
<b>2.3.1 Diseño.....</b>	<b>76</b>
C.1. Descripción general.....	76
C.2. Interfases táctiles.....	77
C.3. Interfases Indirectas.....	78
C.4. Interfases Directas.....	79
C.5. Interfases por Referencia Virtual.....	80
<b>2.3.2 Trabajo experimental y diseño con arte.....</b>	<b>83</b>
La visión del artista.....	86
Comunicación.....	86
Inmersión.....	87
Interacción.....	87
Usando el aire como interfase.....	92
<b>2.3.3 Trabajo experimental con trucos visuales ligados a la percepción.....</b>	<b>96</b>
Experimento D.....	98
<b>2.3.4. Filtros dinámicos aplicados a video.....</b>	<b>103</b>
Descripción de la aplicación.....	103
<b>2.4. RETROALIMENTACIÓN AUDITIVA.....</b>	<b>105</b>
<b>2.5 SENSORES UTILIZADOS.....</b>	<b>109</b>
<b>2.6 CATEGORIZACIÓN DEL USUARIO.....</b>	<b>112</b>
2.6.1 Patrones locales de acción.....	113
2.6.2 Aplicación libre implementando los patrones locales.....	117
<b>CAPITULO 3.....</b>	<b>119</b>
<b>3.1 SENTIDOS Y LA REALIDAD VIRTUAL.....</b>	<b>119</b>
<b>3.2 DISEÑO DE INTERFASES BASADAS EN PERCEPCIÓN.....</b>	<b>123</b>
<b>3.2.1 Diseñando aplicaciones para que estas sean utilizadas de la manera en la</b>	
<b>que fueron diseñadas.....</b>	<b>125</b>
<b>3.3 COMPARACIONES DEL MÉTODO Y RECTIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS... ..</b>	<b>127</b>
<b>3.4 RESULTADOS EN ACCIÓN.....</b>	<b>127</b>
<b>3.5 TRABAJO FUTURO.....</b>	<b>131</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>132</b>
<b>TABLA DE IMÁGENES.....</b>	<b>137</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>139</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>147</b>

# CAPÍTULO 1

## 1.1 Introducción a las Interfases

Por definición una interfase es aquello que une dos entidades que están alienadas en uno o más sentidos, es decir la interfase por su naturaleza se vuelve el punto de contacto entre las fronteras de mundos, regiones, sustancias u objetos. La interfase al constituir entonces el punto de unión entre dos mundos diferentes se convierte en la frontera de comunicación entre ambos elementos estableciéndose en esta si es que debe existir una reacción a los estímulos efectuados en cualquiera de los dos extremos.

En el entorno de este trabajo de tesis queremos adentrarnos al diseño de interfases para su uso en aplicaciones avanzadas de realidad virtual, hay que definir primero que nada que en nuestro caso a tratar queremos conectar dos mundos muy diferentes uno biológico y uno lógico, (compuestos el biológico por el usuario y el lógico por los algoritmos definidos en la aplicación) tenemos en uno de los extremos de la interfase a un usuario humano quien tratando de reflejar comandos o acciones se quiere comunicar en y hacia un sistema computacional que se encuentra corriendo una aplicación específica.

En el tipo de aplicaciones de realidad virtual que trataremos en esta investigación tenemos además tratar aspectos de ergonomía, psicología, sociología y diseño que en gran medida marcarán el éxito o fracaso de la comunicación entre el humano y la computadora la cual a su vez se traducirá en la sencillez y eficiencia en el uso de la aplicación y que estará estrechamente ligada al conjunto de herramientas a disposición de la interacción y de la facilidad de uso que estas le presenten al usuario.

Como veremos más adelante para aumentar la sensación de realismo la interfase debe ser un vínculo de transparencia, su presencia debe ser obviada por el usuario y la aplicación debe responder a este de manera natural como si leyera los deseos del mismo de manera automática ya que deseamos crear un vínculo no una separación y deseamos hacer menos aparente el hecho de que nuestros dos mundos virtual y real se encuentran separados. El objetivo real de la interfase de realidad virtual es el de conectar al usuario con la aplicación de manera directa, sencilla y brindar de interacción sin restricción al sistema de forma simple, ser obvia y al mismo tiempo desaparecer ante la

percepción del usuario al ser usada, ser parte del usuario y de la aplicación de una manera en la que se aumente la inmersión del usuario en la realidad digital presentada por la aplicación y que la aplicación obtenga todos los datos necesarios para emular y predecir los movimientos deseos e instrucciones del usuario.

El mundo de las interfaces para aplicaciones gráficas es enorme y para definir como realizar interfaces más eficientes hay que analizar una gran cantidad de factores entre los cuales podemos resaltar: la perspectiva del usuario y su percepción, la comodidad de uso del hardware/software que las soportan, la velocidad de respuesta y el número de variables que se pueden manipular a través de dicha interfase.

Comencemos dando un ejemplo de los diferentes puntos de vista sobre la influencia de la percepción en el proceso de diseño de interfaces que sean mejores para el usuario. Es natural pensar que las interfaces de realidad virtual que aportan una perspectiva más acercada a la realidad deben ser superiores a las propuestas en abstracciones de dos dimensiones, pero este debate 3D vs. 2D no es siempre ganado por las aplicaciones 3D.

En muchas ocasiones el ingenio y un buen diseño de interfase 2D superan por mucho a aplicaciones 3D complejas como es el caso de menús y paneles de control. Como comenta Goebel[1], las técnicas 2D para seleccionar datos o funciones no se aplican bien en ambientes 3D; sin embargo, aplicaciones que involucran operaciones con ambas manos son efectuadas de manera más eficiente en ambientes 3D. Estos ejemplos nos dan un marco de referencia para la creación de interfaces 3D realmente efectivas, en las que se consideren las capacidades del usuario dentro de la interfase y no solamente se busque un diseño complejo o radicalmente diferente que finalmente no sea útil.

Antes de comenzar a diseñar una interfase, es fundamental evaluar si es apropiado realizarla con contenido 3D o 2D. Una vez echo esto, en el caso de las aplicaciones 3D, se debe desarrollar un medio virtual de pruebas para poder realizar experimentos y comparar adecuadamente la respuesta y adaptabilidad del usuario a la herramienta 3D, recordando que una herramienta 3D será siempre más compleja que una 2D y es necesario hacerla fácil de usar, intuitiva y auto explicativa para evitar problemas con los usuarios.

Por otra parte existen aplicaciones que utilizan la realidad como medio de conexión con lo virtual, las aplicaciones de realidad mixta estriban en combinar los mundos real y virtual para crear un efecto de inmersión, [2]. La mayoría de los trabajos de esta área se han enfocado en el aspecto visual de la interfase mientras que otros aspectos importantes para lograr la inmersión se han ignorado. Las interfaces tangibles (donde existe un medio físico tangible<sup>1</sup> por medio del cual el usuario interactúa con la aplicación) han demostrado lograr que el usuario se sienta más conectado con el mundo virtual [3]. El uso de tales interfaces, inclusive en aplicaciones sencillas, ha mostrado ser una forma poderosa de crear una fuerte impresión en el usuario y hacerle creer que esta realmente interactuando trasladando su presencia al mundo virtual.

¿Cuáles son las mejores formas para poder inducir al usuario a que crea en la realidad virtual que le presentamos? ¿Qué herramientas tienen mayor impacto?

Para poder percibir de manera correcta esta conexión virtual entre lo tangible (real) y lo virtual el usuario necesita tener una idea clara de la relación entre los objetos reales y su función en el mundo virtual así como del impacto de sus acciones sobre ellos [4], particularmente cuando el objetivo de la aplicación es representar un objeto virtual con un objeto o alusión real. Estas interfaces tangibles también pueden utilizar elementos naturales como agua, arena, aire y fuego como un refuerzo para la interacción, permitiendo al usuario relacionar ideas claras de la realidad con la aplicación virtual.

La realidad virtual es utilizada actualmente para mejorar la calidad de vida de personas con desordenes psicológicos y físicos, la capacidad de la realidad virtual de proveer simulaciones controladas de la realidad permiten imitar escenarios específicos que permiten a los doctores proveer de las herramientas necesarias a sus pacientes para enfrentar sus fobias.

Por esta misma capacidad de emular al mundo real, la realidad virtual impulsa a la industria para la simulación de construcciones complejas como plantas de energía o plataformas marítimas de las cuales hay que comprobar

---

<sup>1</sup>Un intento de dar forma física a la información digital haciendo los bits directamente manipulables y perceptibles por las personas a través de superficies físicas aumentadas como paredes, mesas, techos, objetos táctiles y objetos naturales como luz, agua, etc.(Definición del MIT Media Lab.)

factibilidad y realizar construcciones que optimicen la producción, al mismo tiempo permite descartar posibles errores de diseño que costarían millones de pesos a la industria aeronáutica y automotriz.

El permitir una mejor interacción entre el humano y su entorno permite entender mejor el mundo que nos rodea y en su caso ayudar a las personas con capacidades limitadas a aumentar su potencial de expresión y movilidad por medio de herramientas virtuales que sean testigos de su percepción y se la comuniquen al mundo.

El objetivo inicial de esta tesis es adentrarse en el problema de la interacción humano computadora y por medio de la incorporación del usuario dentro del diseño de las mismas interfaces obtener métodos para el diseño de vínculos adecuados para los usuarios que promuevan una mejor interacción y que puedan ser utilizados en la realidad virtual y videojuegos brindando mayor inmersión y sensación de realismo.

Esta tesis proporciona una plataforma para desarrollar dispositivos para la captura de los elementos básicos de la interacción, por medio de interfaces directas y por referencia, realizando un estudio preciso sobre el impacto de las mismas sobre el usuario y de manera que los datos capturados por el hardware propuesto permitan el desarrollo de aplicaciones útiles, directas y poco sofisticadas. Durante la generación de prototipos de interacción a lo largo de esta tesis no solamente se logró cubrir el objetivo antes planeado si no también se logró develar el problema subyacente dentro de la interacción humano máquina y atacarlo de manera directa con los últimos experimentos.

Este descubrimiento se explica a detalle en la descripción de las pruebas y resultados, pero mayormente en las conclusiones donde se concreta y define el problema real, se explica como fue atacado y las implicaciones que tiene para el futuro desarrollo de aplicaciones con ambientes virtuales.

Queremos que el usuario experimente una interacción amigable y más natural. Anteriormente mencionamos que Ishii [3] ha probado la efectividad de las interfases tangibles las cuales, además de ser mas adecuadas para el usuario, promueven la bioretroalimentación de lo cual hablaremos a continuación.

Feedback esta definido por la enciclopedia británica como una respuesta dentro de un sistema, molécula, célula, organismo o población que inflencie la actividad o productividad del sistema. Este concepto se ha extendido a otras áreas además de la biología haciendo este concepto más general y extenso. Por otra parte bioretroalimentación es en esencia el control de una reacción biológica por medio de los productos de la reacción. Entendiendo estos productos como la información proveída de manera instantánea acerca de un proceso fisiológico de un individuo a si mismo.

Pero, ¿porqué es útil la bioretroalimentación?, ¿qué la hace ser especialmente interesante para el desarrollo de interfaces? Se ha demostrado que al monitorear datos que reflejan el estado de algunas condiciones físicas de un individuo como la temperatura, presión arterial, pulso, etc. y retroalimentar a la persona por medio de un monitor de nivel, luz o sonido las personas pueden modificar esta actividad a pesar de que éstas sean regidas por el sistema nervioso autónomo. Una persona se puede educar a si misma a modificar de manera voluntaria las reacciones de su cuerpo y ejercer control sobre de ellas. Esta teoría fue desarrollada y probada mediante experimentación por Neal E. Miller<sup>2</sup>, quien usando la bioretroalimentación creó terapias muy efectivas para el tratamiento de gran variedad de enfermedades. Mediante sus experimentos una persona era capaz de monitorear el funcionamiento de su cuerpo durante la realización de alguna actividad o bajo ciertas condiciones, conscientizando a la persona y dándole la capacidad de controlar voluntariamente funciones autónomas del cuerpo.

Una parte de la investigación realizada en esta tesis consta de un experimento sobre la retroalimentación auditiva en el que se demuestra por medio de datos estadísticos que la bioretroalimentación permite al usuario obtener un vínculo con la aplicación virtual y que por medio de la misma se pueden diseñar interfaces que son al punto de vista del usuario más realistas que las que no involucran la respuesta del usuario en su diseño. Los psicólogos utilizando las teorías de Neal E. Miller de las cuales profundizaremos más adelante han establecido que por medio del entrenamiento, las sensaciones pueden ser educadas y, así como el cambio de temperatura corporal, la percepción puede ser alterada.

---

<sup>2</sup> Psicólogo Estadounidense creador del concepto de la bioretroalimentación

En muchos casos las personas se han adaptado a interpretar de manera diferente las señales del mundo externo e inclusive a cambiar su perspectiva sobre el mundo. Alterar la percepción y la perspectiva de una persona es posible con un entrenamiento por bioretroalimentación.

La realidad virtual, mas allá de los sistemas que la generan, consiste en hacer creer al usuario una realidad que no existe representando objetos tridimensionales o bidimensionales de la forma mas apegada posible a la realidad e intentar que el usuario realmente se sienta transportado al interactuar con los objetos virtuales como si estos fueran objetos físicos. Los sistemas estero e inmersivos como el CAVE (Ambiente de alta resolución de video 3D y audio con capacidad de proyectar imágenes para múltiples usuarios en tres, cuatro o cinco de sus paredes) [5], permiten que nos acerquemos a la interacción perfecta eliminando factores de visibilidad y de desplegado que se tenían anteriormente y con el tiempo estos sistemas se han vuelto más accesibles, bajado su precio y aumentando su comercialización de forma tal que en un futuro cercano podremos tener equipos de este tipo en nuestras casas.

Pero realmente ¿los usuarios sienten esta realidad? Las formas convencionales para medir facilidad de uso de una aplicación no son aplicables a los ambientes virtuales debido a que éstos están diseñados para emular un escenario real y para lograrlo es importante darle libertad de acción al usuario; por lo tanto no existen metas que completar o tareas sobre las cuales se pueda medir la eficacia de su cumplimiento por parte de los usuarios. Por esta razón, aunque en el diseño de interfases para Realidad Virtual se ha hecho gran énfasis en presentar imágenes realistas, no se ha logrado medir que tan real le parece al usuario la interacción con el mundo simulado.

Un ejemplo clásico de inmersión se encuentra en los parques de diversiones donde han encontrado un equilibrio entre la percepción y el equipo de despliegue. En México un juego mecánico llamado "Viaje extraordinario" muestra a los usuarios una experiencia inmersiva realmente convincente coordinando audio, video y movimiento. El video esta sincronizado para parecer que los movimientos sincronizados con el sonido son parte del entorno.

El ser humano posee un sentido del equilibrio sofisticado y este puede ser influenciado por vibraciones y sonidos especialmente en el área cercana al oído. Alterando el equilibrio se puede hacer que el usuario crea con mayor

facilidad que el entorno esta cambiando a sus alrededores y llevarle a creer en una aplicación no interactiva que esta modificando el entorno.

Esta tesis está basada en la hipótesis de que la percepción humana es el pilar en el cual se debe basar el diseño de interfaces humano-computadora. Usando la experiencia previa de una persona y los mecanismos del cerebro que le permiten configurar su idea del entorno, se puede influenciar al usuario para que se generen complementos a la realidad virtual, haciéndola más realista que virtual porque está basada en los mismos mecanismos que separan lo verdadero y tangible de lo irreal para dicha persona. Al presentarle al usuario la sensación de las cosas en lugar de una representación de las mismas puede mejorar su interacción con elementos reales y virtuales y así provocar en él un mayor sentido de inmersión y compenetración con el medio.

El ser humano no ve con sus ojos o escucha con sus oídos, es el cerebro el órgano encargado de ensamblar una idea basándose en información muchas veces errónea o incompleta provista por los sentidos en combinación con experiencias, conocimientos, gustos e instintos de la persona. Aunado a todo esto, el cerebro también considera aquellos sentidos no estrictamente definidos como el cinestésico, el del equilibrio y nuestros antecedentes psicológicos. El resultado de este ensamble es en verdad lo que el ser humano percibe como real y es por eso que la percepción como tal se vuelve el elemento primario para distinguir la realidad de la virtualidad.

La realidad virtual es utilizada actualmente para mejorar la calidad de vida de personas con desordenes psicológicos y físicos, la capacidad de la realidad virtual de proveer simulaciones controladas de la realidad permiten imitar escenarios específicos que permiten a los doctores proveer de las herramientas necesarias a sus pacientes para enfrentar sus fobias. Estudios en Universidades Latinoamericanas como los conducidos por el [6], demuestran la efectividad de estos métodos interactivos para servir de vínculo tanto humano-computadora como humano-humano y humano-ambiente brindando a los usuarios con habilidades especiales métodos de interacción específicos para facilitar sus tareas diarias y mejorar los medios de comunicación utilizados por estos usuarios.

Por esta misma capacidad de emular al mundo real, la realidad virtual impulsa a la industria para la simulación de construcciones complejas como plantas de energía o plataformas marítimas de las cuales hay que comprobar factibilidad y realizar construcciones que optimicen la producción, al mismo tiempo permite descartar posibles errores de diseño que costarían millones de pesos a la industria aeronáutica y automotriz. El permitir una mejor interacción entre el humano y su entorno permite entender mejor el mundo que nos rodea y en su caso ayudar a las personas con capacidades limitadas a aumentar su potencial de expresión y movilidad por medio de herramientas virtuales que sean testigos de su percepción y se la comuniquen al mundo.

La percepción es un elemento básico para poder hacer que el usuario realmente se involucre con el mundo virtual y en gran medida determina el éxito de la aplicación. Una persona puede ser entrenada para creer en la realidad virtual y esto se puede hacer de dos formas: directamente o por referencia. Las aplicaciones directas involucran un entrenamiento previo antes del uso directo de la interfase. Por medio de los experimentos realizados a lo largo de esta tesis se quiso demostrar que un usuario puede ser entrenado para ver imágenes en 3D sin necesidad de usar equipo especial, pero durante la aplicación de las pruebas se encontró una manera de realzar la sensación de profundidad y aumentar el realismo de imágenes sin entrenar al usuario sino usando trucos visuales y estímulos perceptibles solamente para el cerebro del observador durante el proceso de abstracción; esto tuvo como resultado la generación de un software de mejoramiento de video. Cabe destacar que la hipótesis planteada inicialmente en esta tesis nunca fue alterada, solamente los medios para probar la idea original fueron modificados.

El cambio efectuado en la experimentación de esta tesis radica en que la información recopilada en el proceso reveló que un logro más importante que el poder entrenar a un usuario a ver imágenes en 3D bajo la técnica tradicional sería lograr que el usuario agregue factores de profundidad y realismo a la escena directamente en su cerebro. Este cambio ataca directamente el problema inicial pero más a profundidad y tomando en cuenta sus verdaderas implicaciones en las aplicaciones de realidad virtual las cuales no eran visibles al inicio de las pruebas pero fueron surgiendo en el desarrollo de las mismas. Aunque con la técnica desarrollada finalmente (el software de mejoramiento de video) no se logra dar un aspecto 3D como el tradicional encontrado en la mayoría de las aplicaciones de realidad virtual, se mejora la experiencia y la

sensación de presencia en el mundo virtual. Empleando resultados obtenidos durante la experimentación con el software de mejoramiento de video deseado en este trabajo y los lentes activos por oclusión se generó una heurística para comparar sus capacidades de uso contra métodos tradicionales de visualización 3D.

Las aplicaciones por referencia involucran objetos ordinarios o que realizan una acción específica en medios de interacción o medios que relacionan una acción en el mundo virtual, [7] esta teoría ha sido probada cambiando elementos como tarjetas, lámparas, lápices y guantes en sistemas interactivos con gran éxito. La interacción del usuario es distinta, ya que la percepción de un usuario cuando usa este tipo de interfaces esta conectada directamente con las acciones que asocia como aquellas que el objeto realiza normalmente. De esta forma para el usuario es más sencillo adaptarse a este tipo de interfase ya que deduce las consecuencias de utilizar ese objeto en el mundo virtual dado a su conocimiento previo y así mismo reconoce sus funciones dentro de la aplicación. Durante la evolución de esta tesis se diseñaron varios dispositivos de interacción analógicos por referencia (mencionados en el capítulo 2) que fueron expuestos a la opinión de público diverso y cuya finalidad fue la de demostrar que la adquisición por medios analógicos es más precisa y económica que la mayoría de las adquisiciones digitales utilizadas actualmente y que permiten que el usuario obtenga retroalimentación directa del medio virtual lo que ayuda a incrementar la inmersión del usuario y trasladar sus sentidos al mundo virtual.

Cada caso de interacción es diferente y es necesario conocer todos los detalles relacionados con cada aplicación para poder desarrollar el hardware adecuado para cada una de ellas. Agregar dispositivos de interacción específicos para cada tarea [4] permite que los usuarios encuentren el sistema simple de usar y de aprender, pudiendo transmitir instrucciones complejas por medio de tareas simples. Otro aspecto importante en el diseño de dispositivos interactivos es la versatilidad y personalización.

El ser humano está acostumbrado a alterar su entorno, no adaptarse a él, y es por esta razón el usuario espera que la interfase pueda responder a sus gustos y características individuales. Aún cuando la mayoría de las personas que han interactuado alguna vez con un sistema computacional han aceptado las restricciones iconográficas que plantean la mayoría de las interfases, en los

ambientes virtuales se necesita descartar dichas abstracciones y llevarlas a la forma más apegada posible a la realidad si queremos que el usuario pierda la capacidad de distinguir entre lo real y lo virtual.

De esta forma la presente investigación se centra en encontrar los medios apropiados y la lógica necesaria para describir una forma apropiada para el desarrollo de interfaces. El trabajo se realizó observando la premisa que para poder obtener un resultado inmersivo y que deje una impresión positiva en el usuario, se requiere el uso de nuevas formas de interacción que involucren las capacidades del usuario, su perspectiva, sus conocimientos y los medios de los que dispone para interactuar con el mundo y que el usuario requiere para interactuar con el mundo virtual. Otros factores importantes incluyen el uso de hardware de interacción que sea preciso, sencillo de utilizar e intuitivo para crear el vínculo entre lo real y lo que queremos que sea percibido como real. Las interfases que el usuario emplee, ya sea directamente o por referencia, para conectarse al mundo virtual deben darle un gran factor inmersivo y mejorar la calidad virtual aumentando la realidad y eliminando las fronteras entre los objetos virtuales y los reales.

## **1.2 Los Sentidos y la percepción**

### **1.2.1 Perspectiva y visión humana**

Toda nuestra percepción esta construida básicamente en 3D porque vivimos en un mundo 3D que posee cualidades analógicas, el concepto de un mundo 2D esta dado por las interpretaciones que hacemos de este mundo y plasmamos en pinturas, dibujos o películas. Esto ocasiona que el mundo de las gráficas computacionales se oriente a la creación de mundos virtuales 3D que sean visualmente realistas y que contengan los elementos de los cuales estamos acostumbrados a que este hecho el mundo tangible: de señales y objetos continuos en tres dimensiones.

El cerebro humano capta el sentido de la tercera dimensión de formas que se han ido descubriendo a través del tiempo; se han experimentado y comprobado varias teorías y se sabe ahora que podemos ver y captar imágenes no solamente con nuestros ojos si no también por medio de la piel y del sonidos. Todas estas revelaciones reafirman el hecho de que vemos básicamente con nuestros cerebros, pero ¿qué información es la que nos hace percibir la profundidad?

Lo primero que podemos analizar es como vemos, como esta constituido nuestro sistema visual con el cual comenzamos a distinguir los datos que nos hacen tener el concepto de la distancia y percibir los planos de profundidad que conforman la manera en la que vemos el mundo. La visión es un proceso extremadamente complejo con un conjunto de restricciones físicas y preceptuales, aún así constituye la fuente principal de información sobre el entorno para la persona promedio. Podemos dividir someramente la percepción visual en dos fases: la captación física del estímulo y la interpretación de dicho estímulo.

La visión empieza con la luz, el ojo constituye el medio para traducir los estímulos luminosos en señales eléctricas. La luz es reflejada en los objetos en nuestro entorno y su imagen es enfocada al revés en la parte posterior del ojo. Los ojos están conectados al cerebro de manera tal que los datos son capturados y distribuidos por conducto del nervio óptico al transformar la imagen recibida en señales eléctricas.

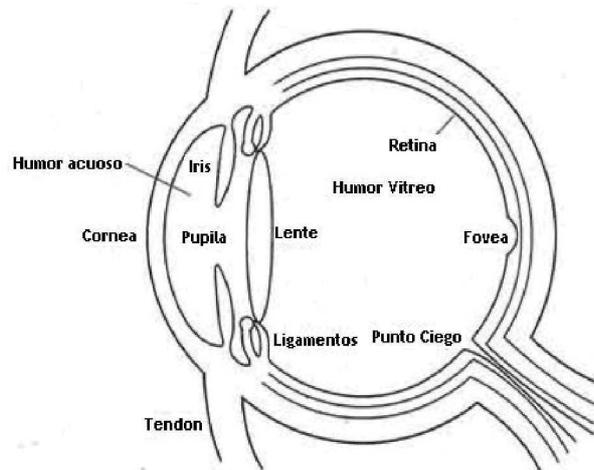


Figura 1: El Ojo Humano.

En la Figura 1 podemos observar los componentes fundamentales del ojo humano así como su disposición. La córnea y lente al frente del ojo enfocan la luz y la proyectan hacia la retina.

En la Figura 2 se puede observar la estructura retinal; la información luminosa es demultiplexada por los conos de la retina que captan los colores rojo, verde, azul y gris transmitiendo posteriormente datos al cerebro los cuales viajan hasta su proyección final en la corteza visual.

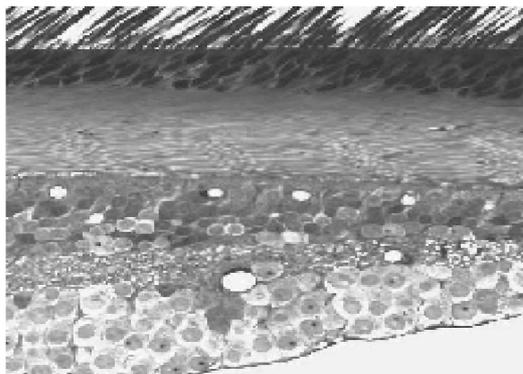


Figura 2: Capas de la retina.

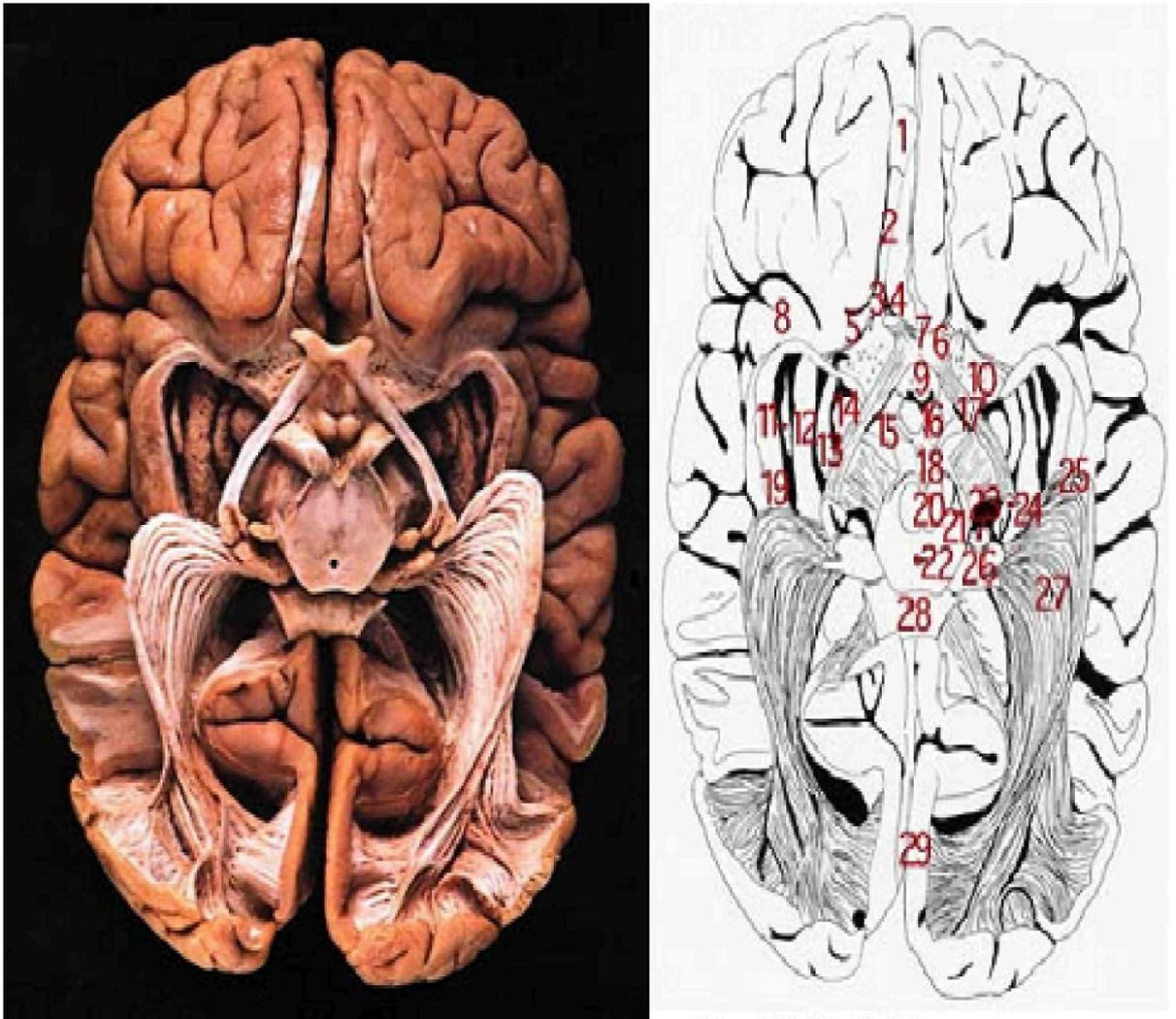


Figura 3: Camino visual del chiasma óptico a los lóbulos occipitales.

En la Figura 3 podemos observar una disección del cerebro, aquí se observa claramente la conexión entre los nervios ópticos y el chiasma óptico<sup>3</sup>.

<sup>3</sup>Por Terence H. Williams, M.D., Ph.D., D.Sc., Nedzad Gluhbegovic, M.D. Ph.D. y Jean Y. Jew, M.D.

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| 1. Olfactory bulb                           | 16. Mamillary body                   |
| 2. Olfactory tract                          | 17. Optic tract                      |
| 3. Olfactory trigone                        | 18. Posterior perforated substance   |
| 4. Medial Olfactory stria                   | 19. Cortex of insula                 |
| 5. Lateral Olfactory stria                  | 20. Superior cerebellar peduncles    |
| 6. Optic nerve                              | 21. Substantia nigra                 |
| 7. Optic chiasma                            | 22. Esencephalic (cerebral) aqueduct |
| 8. Limen insulae                            | 23. Medial geniculate body           |
| 9. Tuber cinereum within fundi-bulum        | 24. Lateral geniculate body          |
| 10. Anterior (rostral) perforated substance | 25. Temporal genu of optic radiation |
| 11. Claustrum                               | 26. Pulvinar of thalamus             |
| 12. Putamen                                 | 27. Sagittal stratum                 |
| 13. Lateral part of globus pallidus         | 28. Splenium of corpus callosum      |
| 14. Medial part of globus pallidus          | 29. Upper lip of calcarine sulcus    |
| 15. Basis pedunculi                         |                                      |

Podemos observar como los tractos ópticos (17) pasan lateralmente, desde su origen entre la superficie perforada (18), el tubo cinereum (9) y el cuerpo mamilar (16) hasta terminar en el cuerpo geniculado lateral (24). Muchos tractos de fibras ópticas proceden en dirección media como el braquio del colliculo superior, que llega al área pretectal y el coliculo superior o craneal. Las fibras de la radiación óptica o proyección geniculocalcarina, emergen de la superficie dorsal del cuerpo geniculado lateral y pueden ser rastreados como parte del estrato sagital (27) de fibras blancas que recorre el lóbulo temporal, también estas fibras se irradian hacia atrás y terminan la región del salcus calcarino(29). Las fibras que se encuentran colocadas dorsalmente se extienden por un camino más directo hacia la corteza visual.

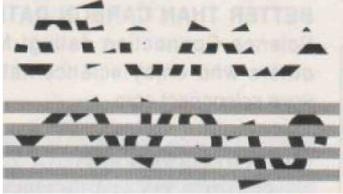
Entender la construcción básica del ojo es fundamental para explicar el mecanismo físico de la visión sin embargo la percepción va mucho más allá que esto. La información recibida por el órgano visual debe ser filtrada y enviada a los elementos de procesamiento que nos permiten reconocer escenas coherentes, distancias relativas y diferenciar colores. Por ejemplo la percepción de tamaño y profundidad empieza desde la captación de la imagen en la retina. El tamaño de una imagen es especificado por un ángulo visual el cual se considera como el ángulo que se generaría entre dos líneas trazadas desde el centro del objeto al frente del ojo hacia su parte superior e inferior.

El ángulo visual es afectado tanto por el tamaño de los objetos como por su separación del ojo. Por lo tanto el ángulo visual indica cuánto del campo visual es ocupado por el objeto.

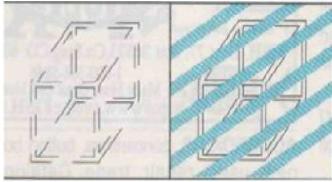
Sin embargo nuestra percepción del tamaño no se basa simplemente en la captación del ángulo visual, ya que si no podría parecernos que un objeto cambia realmente su tamaño al alejarse de nosotros aunque sabemos que perceptualmente el ser humano considera que un objeto en movimiento entre planos de profundidad no cambia de tamaño. La percepción de profundidad nos ayuda a completar nuestra idea del tamaño de los objetos en el espacio. La profundidad se ayuda de la posición que tienen unos objetos con respecto a otros, las sombras y las oclusiones que generan unos sobre otros para formar planos de colocación en nuestro entorno. La diferenciación de tamaños y profundidades en conjunto con la diferenciación de color y la distinción de ambigüedades con respecto a contextos, entre otros factores, nos ayudan a generar una idea clara de lo que las imágenes recibidas por nuestros ojos significan en realidad. A continuación presentare una serie de ejercicios mentales propuestos por Eric Haseltine<sup>4</sup>, que brindan una idea de cómo funciona el cerebro y la manera en la que percibimos el mundo en base a la programación previa (basada en los instintos) que el cerebro posee.



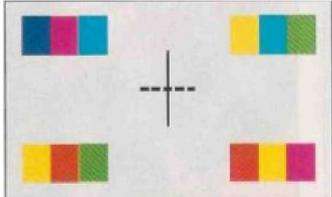
Estas dos mesas son exactamente iguales, pero nuestros cerebros tienden a interpretar la perspectiva de la primera mesa proyectándola en el espacio y haciéndonos creer que es más larga. Esto sucede ya que nuestro cerebro se desarrolló para interpretar objetos 3D, especialmente depredadores, y no imágenes planas.



La información de las dos palabras que se encuentran a la derecha es exactamente la misma, pero es más sencillo leer la que se encuentra en la parte inferior aunque esta rotada 180 grados. Esto sucede ya que el cerebro llena la falta de información gracias a las líneas oscuras.



Igual que en el caso anterior el cubo de la izquierda parece más completo que el cubo de la derecha aunque ambos tienen la misma información. Esto se debe a que el cerebro está acondicionado para percibir mejor lo que se encuentra oculto y completar los datos fragmentados.



El cerebro se centra en lo importante. Si se trata de leer los tres colores de cada una de las líneas en las esquinas sin desviar la atención a la cruz que se encuentra en el centro al intentar leer cada banda las otras tres perderán la atención visual y se verán borrosas..



El cerebro se enfoca en lo que quiere ver y la información de "relleno" o fondo es solamente actualizada cuando algún evento cambia el entorno. Por esa razón podemos ver directamente a las cosas y aun así no verlas.

Figura 4: El cerebro y las ilusiones ópticas.

## 1.2.2 Tacto y sensación táctil

Ya hemos hablado sobre como es que nuestros cerebros ven, pero también hemos incorporado la noción de poder ver a través de la piel, esta es uno de los órganos más complejos y el más grande del cuerpo. El sentido del tacto es el más versátil ya que puede transmitir una gran cantidad de información a nuestro cerebro, temperatura, presión, presencia, sensación de distancia y humedad entre otras sensaciones y por este motivo gran cantidad de datos pueden ser procesados desde la piel.

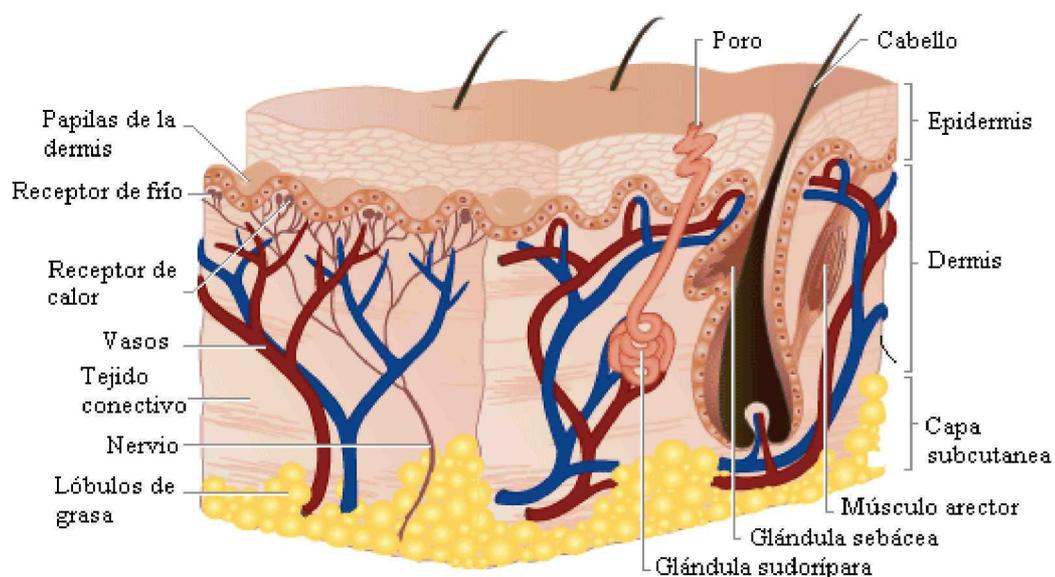


Figura 5: Esquema de la piel. Ilustración de Encarta.

El tacto es el sentido más primitivo (de acuerdo a Tiffany Field, director del Instituto de investigación del tacto en la UMSM), "es el primero que se experimenta desde nuestro desarrollo y el último que perdemos en nuestra muerte, es con el que tenemos una idea primaria del mundo."

La piel tiene aproximadamente unos 50 receptores por cada centímetro cuadrado y más de 5 millones de células sensoriales. La piel contiene tres tipos diferentes de sensores: los termorreceptores responden a los cambios de tem-

peratura, los nociceptores responden a presión intensa, calor y dolor y los mecanoreceptores responden a la presión.

A continuación estudiaremos un poco más el sistema sensorial de la piel. La piel está enervada con más de un millón de nervios de fibras aferentes, la mayoría termina en la cara y en las extremidades donde la sensibilidad es mayor, los nervios cutáneos contienen axones con sus cuerpos celulares ubicados en la raíz dorsal.

El diámetro de estos axones varía entre los 0.2 y los 20  $\mu$ m. El tronco del nervio entra en la grasa sub-dermal, y se divide cada tronco en pequeñas sub-ramas. Grupos de fibras ascienden en forma de abanico acompañadas de vasos sanguíneos para formar una malla de nervios entrelazados en la dermis como se observa en la Figura 5. La mayoría de los axones terminan en la dermis y algunas penetran la base de la membrana pero no viajan hasta la epidermis. Sus puntas sensoriales son de dos tipos principalmente: corpusculares, que tienen elementos no nerviosos y las libres las cuales no los poseen. Los finales corpusculares pueden ser sub divididos en receptores encapsulados que se encuentran en la dermis y no encapsulados ejemplificados por los puntos táctiles de Merkel que son encontrados en la epidermis.

Revisemos brevemente como trabajan estos sensores y que tipo de información pueden percibir dependiendo de su localización y estructura: cada punto de Merkel esta compuesto por un conjunto de células de Merkel que nacen de un axón con capa de mielina. Una célula de Merkel tiene un núcleo lobulado y características granulares, esta embebido en la capa basal de las células de la epidermis con las cuales tiene conexiones desmosomales, contiene filamentos intermedios compuestos por queratina en lugar de proteína de neurofilamento.

El corpúsculo Paciniano, que es uno de los receptores encapsulados, posee una estructura ovoide de aproximadamente 1mm de largo, que es laminada como una cebolla y esta enervada por un axón cubierto de mielina el cual pierde su cubierta al atravesar hacia el centro. El corpúsculo de Golgi-Mazzoni encontrado en el tejido subcutáneo de los dedos humanos esta laminado de manera similar, pero posee una organización mucho más simple, las ultimas dos partes laminadas al final de cada órgano son detectores de vibración de movimiento.

El bulbo de Krause es un encapsulado de fibras mielinadas colocado en las capas superficiales de la dermis. Los corpúsculos de Meissner son característicos de las orillas papilares de la piel glabrosa (piel sin pelo), estos corpúsculos son receptores del tacto, tienen una cápsula laminada de 20-40  $\mu$ m en diámetro y hasta 150  $\mu$ m de largo.

Las terminales de Ruffini en los dígitos humanos tienen muchas terminales expandidas que se ramifican desde una fibra aferente mielinada, estas terminales están relacionadas directamente con los fibrilos de colágeno y son receptores de estiramiento. Finalmente no olvidemos a las terminales libres que parecen derivarse de fibras no mielinadas, aparecen en la dermis superficial y la epidermis; son receptores de dolor, tacto, presión y temperatura. Un segundo aspecto de la percepción háptica o sentido del tacto es el sentido cinestésico mediante el cual estamos conscientes de la posición del cuerpo y nuestras extremidades. Esto se logra por medio de los receptores localizados en las juntas del cuerpo. Existen tres tipos de estos receptores: los de rápida adaptación que responden cuando una extremidad se mueve en alguna dirección, los de lenta adaptación que responden tanto al movimiento como a la posición estática y los receptores posicionales que solamente responden cuando la extremidad se encuentra en una posición fija.

### 1.2.3 El sentido Auditivo

El sentido auditivo es muchas veces considerado secundario al visual pero casi siempre subestimamos la cantidad de información que puede ser recibida por medio de nuestros oídos. La audición así como el equilibrio están ligados al oído. Así como la visión empieza por la luz, la audición comienza por vibraciones en el aire u ondas sonoras.

El oído recibe estas vibraciones y las transmite hacia los nervios auditivos después de pasar por una serie de etapas. El oído se compone de tres partes comúnmente conocidas como el oído exterior, medio e interior. El oído exterior es la parte visible del órgano auditivo que comprende la estructura colocada a los lados de la cabeza y el canal auditivo, a través del cual las ondas sonoras son transmitidas al oído medio. Como se puede observar en la Figura 7 el oído medio es una cavidad pequeña conectada al oído exterior por el tímpano y al oído interior por la cóclea. Dentro de esta cavidad encontramos los huesos más pequeños del cuerpo los cuales son encargados de transmitir las vibraciones del tímpano hacia la cóclea. Esta etapa es fundamental ya que permite aislar la zona expuesta al aire del oído de aquella llena de líquido. Si la transmisión de las vibraciones se hiciera directamente del aire al líquido, tendríamos una sensibilidad muy pobre.

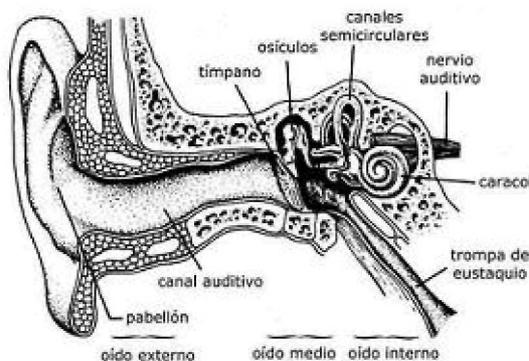


Figura 6: Sistema auditivo.

Usando los huesos del oído medio obtenemos una traducción total y clara de las vibraciones recibidas desde el exterior. Las vibraciones pasan entonces a la cóclea llena de líquido en el oído interior.

Dentro de la cóclea se localizan células en forma de cabellos llamados cilios los cuales se doblan a causa de las vibraciones y despiden un transmisor químico que causa impulsos en el nervio auditivo.

El procesamiento del sonido permite diferenciar la frecuencia del sonido, la amplitud del sonido y el timbre que caracteriza la fuente de emisión de sonido. Usando nuestros dos oídos y determinando las pequeñas diferencias de tiempo que hay entre la recepción de sonido en cada oído y la atenuación que sufre la amplitud de las ondas al rebotar en nuestras cabezas también podemos distinguir la localización de la fuente emisora. Diferentes frecuencias desatan actividad en neuronas de diferentes partes del sistema auditivo lo que provoca la generación de diferentes proporciones de impulsos nerviosos.



Figura 7: Oído medio e interior.

El sistema auditivo realiza un filtraje de los sonidos captados mediante el cual podemos ignorar el sonido de fondo de concentrarnos en información importante.

La ubicación lateral de los pabellones derecho e izquierdo en el ser humano ha hecho casi innecesaria la capacidad de movimiento de los mismos, a diferencia de lo que sucede en muchos otros animales que tienen una amplia capacidad de movimiento de los pabellones, pudiendo enfocarlos en la dirección de proveniencia del sonido. De esta manera se contribuye a la función del pabellón, que es la de concentrar las ondas sonoras en el conducto auditivo externo.

La no linealidad de las funciones de transferencia del oído comienzan ya en el pabellón, ya que por sus características éste tiene una frecuencia de resonancia entre los 4.500 Hz y los 5.000 Hz. El canal auditivo externo tiene unos 2,7 cm de longitud y un diámetro promedio de 0,7 cm. Al comportarse como un tubo cerrado en el que oscila una columna de aire, la frecuencia de resonancia del canal es de alrededor de los 3.200 Hz.

Nuestro oído es muy selectivo, sin embargo a frecuencias y volúmenes muy altos disminuye nuestra capacidad para distinguir cambios en el sonido.

Las vibraciones del medio que oscilen entre 20 y 20 000 Hz son consideradas como audibles, pero ciertas personas pueden distinguir sonidos fuera de estos rangos. El umbral auditivo se mide en decibeles y va de los 0 a los 140 dB, si el ruido es mayor a 140 dB causa daños irreversibles al sobrepasar el umbral del dolor.<sup>4</sup>

Las vibraciones son captadas por el sentido del tacto al mismo tiempo que por el oído pero el tacto solamente nos indica la magnitud de esta vibración y no nos brinda datos sobre el origen ni posición de la fuente del audio.

---

<sup>4</sup> Datos de la Encyclopaedia Britannica y la Escuela Universitaria de Música de Uruguay.

### 1.2.4 El sentido del gusto

El gusto es la habilidad para responder a diferentes moléculas e iones disueltos en la saliva. Existen cinco sensaciones primarias del gusto: salado, ácido, dulce, agrio y umami (la habilidad para distinguir el glutamato monosódico en los alimentos). En el pasado se pensaba que nuestra lengua tenía regiones separadas que podían detectar solamente un sabor primario, sin embargo hoy sabemos que cada área de la lengua contiene entre 50 y 100 células del gusto que contienen receptores de los cinco sabores, aún cuando en algunas células pueden tener concentraciones más grandes de un tipo de receptor y por lo tanto ser más sensibles a dicho sabor. A partir de estas diferencias, se ha construido un mapa de la lengua<sup>8</sup>, en el que se ven las zonas asociadas a la percepción de los cinco gustos puros.

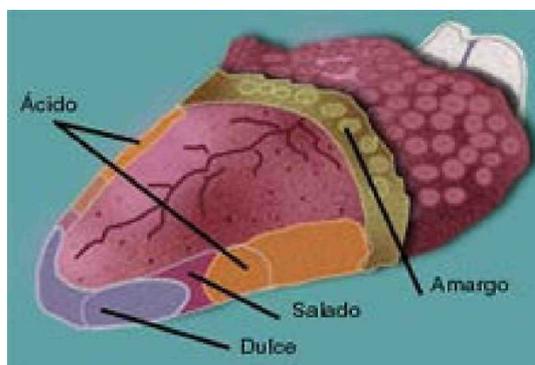


Figura 8: Mapa de la lengua.

Existen cuatro tipos de papilas gustativas: fungiformes, filiformes, foliadas y circunvaliadas, ubicadas en la parte anterior, lateral y posterior de la lengua. También hay papilas en la garganta y en la primera región del esófago.

Algunas células que forman las papilas gustativas son receptoras, mientras que otras cumplen funciones de sostén de la estructura misma del receptor. Estos receptores poseen poros en su parte superior. A través de ellos, las sustancias que comemos (disueltas en la saliva) llegan a las células receptoras. Estas, a su vez, están unidas a neuronas sensoriales que forman luego los nervios que van hacia el cerebro.

Existen tres nervios craneales que llegan a la lengua y llevan la información gustativa al cerebro: el facial, el glossofaríngeo y el vago. El primero inerva los dos tercios anteriores de la lengua, mientras que los otros dos recogen información de la parte posterior. Esa información pasa por centros intermedios como el bulbo raquídeo y el tálamo, donde se integra con la que proviene de los otros sentidos (principalmente del tacto y del olfato) y que también forma parte de la sensación compleja del gusto.

Finalmente, la información integrada llega a la corteza cerebral; en ese momento podemos saber que es lo que estamos comiendo. La información también se dirige al sistema límbico, relacionado entre otras cosas con las emociones. Así es que, a veces, los sabores pueden invocar recuerdos y sentimientos.

Una vez que la información se transmite al cerebro, se activan distintas vías de salida que son importantes para la función digestiva. Por ejemplo, al probar el primer trozo de comida aumenta rápidamente la salivación.

Hiroo Iwata desarrolló un simulador de comida en el que se usaban elementos químicos para emular las sensaciones primarias del gusto, pero el sentido del gusto es aquel que se encuentra más íntimamente ligado a todos los demás sentidos. Gracias a esta unión con el tacto y el olfato podemos tener una idea completa de las características de lo que comemos, desde su textura hasta su temperatura y composición. Es por esto que el gusto es el sentido más difícil de emular e implementar en aplicaciones de realidad virtual.

### **1.2.5. El sentido del olfato**

El olfato es otro sentido basado en la química, muy similar al gusto en cuanto a la forma en la que la información es recibida. Este sentido nos informa sobre los tipos de elementos en el aire que respiramos, nos alerta sobre peligros y nos da direcciones sobre la posición relativa de animales, otras personas e incluso comida. Tenemos una habilidad innata para detectar olores abrasivos así como aquellos atractivos. Esta habilidad se puede usar como advertencia o para reconocimiento, lo que también modifica nuestro ánimo y es la razón por la cual el olfato es el sentido más asociado a experiencias y emociones. También puede modificar nuestro sistema inmunológico y endocrino.

No existen muchas aplicaciones que actualmente emulen el sentido del olfato, pero puede ser usado como un elemento fundamental para alcanzar realismo, especialmente en obras de arte y ambientes virtuales.

Según los especialistas de la Universidad de Cardiff el sentido del olfato humano es 10,000 veces más sensible que cualquier otro de nuestros sentidos y que el reconocimiento del olor es inmediato. Otros sentidos, como el tacto y el gusto deben viajar por el cuerpo a través de las neuronas y la espina dorsal antes de llegar al cerebro, mientras que la respuesta olfatoria es inmediata y se extiende directamente al cerebro.

El proceso del olfato empieza cuando las moléculas del olor en forma de vapor que están flotando en el aire llegan a las fosas nasales y se disuelven en las mucosidades que se ubican en la parte superior de cada fosa nasal, Debajo de estas mucosidades, en el epitelio olfatorio, las células receptoras especializadas, también llamadas neuronas receptoras del olfato, detectan los olores siendo capaces de detectar miles de olores diferentes. Entonces las neuronas receptoras del olfato transmiten la información a los bulbos olfatorios, que se encuentran en la parte de atrás de la nariz.

Los bulbos olfatorios tienen receptores sensoriales que en realidad son parte del cerebro que envían mensajes directamente a los centros más primitivos del cerebro donde se estimulan las emociones y memorias (en las estructuras del sistema límbico) y centros avanzados donde se modifican los pensamientos concientes en la corteza.

Estos centros cerebrales perciben olores y tienen acceso a recuerdos que nos traen a la memoria personas, lugares o situaciones relacionadas con estas sensaciones olfativas. Este es el único lugar donde nuestro sistema nervioso central está directamente expuesto al ambiente, lo cual implica que lo que olemos es inmediatamente procesado y puede afectar las emociones y recuerdos.

### 1.3 Perspectiva Psicológica

Conocemos entonces como funcionan los sentidos primarios como la vista y el tacto ahora podemos utilizar a nuestra ventaja la forma en la que operan, empleando técnicas para alterar la temperatura de un usuario o su perspectiva, entre otras, modificando así su percepción, pero también ha quedado establecido que es el cerebro el que realiza el procesamiento final y determina nuestra idea del mundo.

Para poder diseñar entonces una interfase basada en percepción nos falta analizar como es que el cerebro interpreta la información, pero al ser un proceso tan complejo ni siquiera los expertos en el área están seguros de la forma en la que se lleva a cabo. Por esta razón analizaremos el punto de vista que nos brindan los psicólogos sobre el tema de la percepción.

#### 1.3.1 Bioretroalimentación y Realidad Virtual

Retroalimentación puede ser definida como la respuesta de un sistema, molécula, célula, organismo o población que altera la actividad o productividad del sistema. Para entender este concepto desde el punto de vista biológico, podemos extender este concepto hasta encontrarnos con uno nuevo denominado bioretroalimentación. La bioretroalimentación es en esencia el control de una reacción biológica por medio de la reacción que provoca.

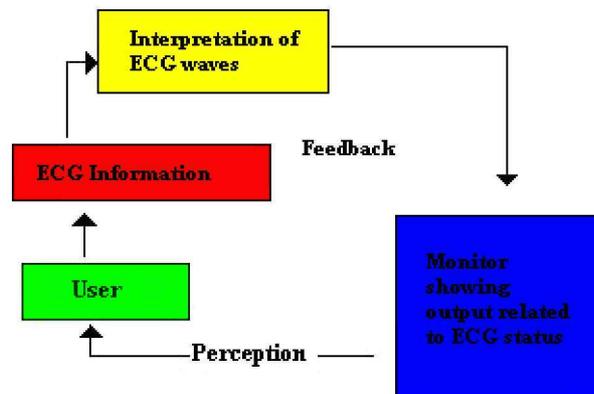


Figura 9: El proceso de bioretroalimentación

Estas reacciones representan información provista instantáneamente al individuo por un proceso fisiológico que sucede en su organismo. Por medio del monitoreo de información que refleja el estado de una condición física en el individuo como puede ser la temperatura, presión y pulso entre muchas otras y mostrándole al individuo la evolución de dicha variable por medio de medidores de nivel, luz o sonido, el individuo puede desarrollar control voluntario sobre la actividad aún cuando dicha actividad sea controlada autónomamente por el sistema nervioso central.

Neal E. Miller, Desarrollo una teoría sobre el control de las funciones involuntarias del cuerpo en los 60s y esta teoría ha sido el pilar para muchos estudios dentro de la psicología moderna. Por lo radical de su teoría, tuvo grandes problemas al convencer al mundo de su validez, pero al comenzar a realizar experimentos ratifico su teoría y su trabajo conocido como biofeedback es ahora considerado como uno de los métodos más efectivos para el tratamiento de la migraña, presión arterial elevada y arritmia. Sus experimentos nos muestran como con la ayuda de una variedad de sensores podemos controlar las respuestas biológicas para sentirnos mejor o para realizar mejor una actividad.

Miller fue presidente de la Asociación de Psicología Americana y enseñó en la Universidad Rockefeller, fue pionero dentro de muchas áreas de la psicología analítica como la motivación y el aprendizaje. El entrenamiento por biofeedback es un tipo de terapia del comportamiento que trata de cambiar las respuestas aprendidas y es uno de los mayores logros de Miller. Esta técnica permite a los investigadores dentro de la psicología realizar terapias para la reducción del estrés y otro tipo de control gracias al desarrollo de sensores que permiten observar en tiempo real variables fisiológicas y modificarlas conscientemente.

Sistemas mas avanzados pero relativamente más invasivos exploran el área de la interacción cerebro-computadora que permite mediciones mas precisas de los cambios en el cerebro presentados al realizar ciertas actividades. Cuando un usuario interactúa con un mundo virtual usando una interfase, él o ella desarrolla un tipo de biofeedback que le permite asociar correctamente las acciones desarrolladas en la realidad con sus consecuencias en la aplicación virtual.

Cuando una interfase es suficientemente buena el usuario puede establecer una conexión virtual con la aplicación, olvidándose de que el medio de interacción es real y asumiendo que él es capaz de manipular directamente los objetos virtuales permitiendo así la retroalimentación.

Actualmente la bioalimentación ha tomado muchos caminos y uno de los más interesantes es la creación de interfaces para el análisis y creación de música usando las señales del cuerpo como guía para determinar el impacto de las secuencias musicales en el organismo. [8] Estos métodos de retroalimentación se pueden utilizar tanto para crear como para conocer el grado en el que un usuario se adapta o no a una interfase. Un concepto muy interesante dentro de los juegos de video es el Affective Gaming [9] o conocimiento del estado de animo del jugador por medio del mismo control de juego.

Esto permite adaptar el contenido del juego dinámicamente, permitiendo la corrección de problemas de contexto y dificultad dependiendo del estado del usuario. Los resultados de este trabajo son obtenidos por medio del control analógico del juego y basándose en la presión galvánica de la piel (GSR) [10] Relax-to-Win) ejercida por el usuario como respuesta en los botones. Esta forma de capturar el estado del usuario es realmente primitiva y se beneficiaría del diseño de sensores especiales, sin embargo los resultados de los experimentos son realmente alentadores dentro del área de diseño de juegos de video. Otros trabajos dentro de esta área han logrado incorporar de manera exitosa estas mediciones psicológicas para obtener mejores interfaces. La mayor parte de estos trabajos están basados en las variaciones brindadas por lecturas de electrocardiogramas al comparar la variabilidad del ritmo cardiaco para reconocer diferentes estados de animo y emociones específicas [11], e inclusive utilizar medidas complejas como la carga mental obtenida mediante una serie de cálculos que involucran el ritmo cardiaco y los resultados de electroencefalogramas [12].

### **1.3.2. Plasticidad del Sistema Nervioso Central**

Al reconocer las habilidades del cerebro humano, la psicología ha buscado formas para modificar los caminos naturalmente creados por el cerebro, el sistema nervioso periférico, el sistema endocrino, etc. generando desviaciones a partir de los caminos originales y como consecuencia encontrando alternativas para el tratamiento de enfermedades y problemas de comportamiento.

El cerebro conoce los caminos para que la información visual sea decodificada en la corteza visual según el aprendizaje que ha llevado a cabo el individuo durante toda su vida. Eso mismo sucede con la información recabada por todos los sentidos en sus regiones correspondientes del cerebro. Sin embargo, ha sido probado que el cerebro es capaz de usar otras vías para obtener la información de los sentidos ya que, una vez traducidos los estímulos del medio a impulsos eléctricos, la información transmitida por los nervios sensores no es diferente a cualquier otra información obtenida por diferentes grupos de neuronas.

Con el entrenamiento adecuado, se puede lograr que el cerebro construya nuevas formas para obtener información; por ejemplo se puede lograr recibir información visual por medio de la piel, lengua y oídos. Estas vías alternativas han sido estudiadas y, por ejemplo, la habilidad para localizar objetos mediante ecos denominada ecolocación fue exhaustivamente analizada por Donald Griffin en 1938[13].

Hasta finales de los 80s uno de los axiomas de la neurociencia dictaba que no existía plasticidad en el sistema nervioso central de los adultos, sin embargo ahora se piensa que es tan maleable como lo es en la juventud. Este argumento implica un gran cambio en la ciencia, llevando al estudio de la posibilidad de que el cerebro genere nuevos caminos para obtener información si así lo necesita. Esto quiere decir que si el camino original de recepción de información de un sentido es dañado, es posible que se entrene al cerebro para recanalizar la información obtenida desde otra fuente y llevarla hacia la región de análisis correspondiente al sentido dañado. Este tema es controversial aún entre neurocientíficos, pero como fue demostrado por Stiles en [14], cuando un ser humano envejece su capacidad para adaptarse efectivamente se reduce por la estabilización del sistema nervioso, pero no se pierde del todo.

Esto ha propiciado algunos experimentos como el de Bach y Rita [15], en el cual se usó la lengua como un medio para introducir al cuerpo información visual continuando así con los estudios de la piel como medio de visión que anteriormente se habían probado en la espalda y el abdomen.. Estos experimentos pueden develar imágenes que los pacientes recuerdan en forma monocromática y en 2D. Sin duda los ojos tienen una gran ventaja sobre otros medios de recepción de información visual gracias a su capacidad de obtener imágenes en estéreo (aún con un solo ojo) lo cual permite a las personas creer que están viendo objetos en 3D. Por otro lado, con una sola imagen se deben usar técnicas de procesamiento para simular el desplazamiento espacial de los objetos en las imágenes, separando el fondo y resaltando las cosas importantes en la imagen como la iluminación, el color, la posición y las dimensiones. Aún así el experimento de Bach y Rita demuestra que la generación de nuevas vías para recibir información visual es posible, aún cuando no se obtengan imágenes con toda la información que los ojos podrían dar sobre el entorno del individuo.



Figura 10: Viendo por la lengua, J Miller Science News, Vol. 160, No. 9, Septiembre 1, 2001, p. 140.

## **1.4. Trabajo involucrando realidad virtual y los sentidos**

### **1.4.1. Centrándonos en el usuario**

Dentro de la realidad virtual, se requiere conocer ciertos aspectos sobre el usuario para poder representar adecuadamente los objetos dentro del mundo virtual. Típicamente los elementos sentidos son: la posición del usuario, la orientación de su cabeza, que parte de la pantalla o proyección esta observando, la posición de sus brazos, etc.; no obstante poco se toma en cuenta lo que realmente es captado e interpretado por nosotros. Como hemos revisado anteriormente lo que vemos es muy diferente a lo que percibimos y nuestra percepción del mundo se basa en la interpretación del cerebro sobre lo que captan nuestros sentidos. Se puede entrenar al cerebro para ver y reconocer diversas cosas y este tipo de educación es la que permite que se controlen respuestas condicionadas. Así, la realidad virtual y la psicología se han juntado para la modificación de la conducta y comportamiento tratando de influenciar la percepción, los miedos, traumas e incluso mejorar el desempeño de personas con capacidades limitadas.

El problema de representar los objetos se basa en la percepción y los resultados que se quieran obtener del modelado. [16] refuerza la hipótesis de que la gente no tiene una idea clara de lo que debe tener mundo 3D virtual, tiene una idea de lo que es experimentar ese mundo 3D y en síntesis dice que el refuerzo y la concordancia es fundamental para tener una referencia espacial adecuada, la cual solamente puede ser posible en un mundo virtual proporcionado que contenga objetos espacialmente correctos. Para poder facilitar la percepción 3D se ha demostrado en el desarrollo previo de interfaces que es muy importante cuidar los siguientes aspectos:

1. Referencias espaciales
2. Retroalimentación kinestésica
3. Interacción con las dos manos (tareas paralelas)
4. Retroalimentación multisensorial
5. Restricciones físicas
6. Técnicas para seguimiento de la posición cabeza.

Debido a que existen muchos trabajos relacionados con el desarrollo de aplicaciones de realidad virtual y de interfaces analizaremos por separado algunos proyectos relevantes.

#### **1.4.2. Trabajos previos en captura de geometría y movimiento**

Existe una gran cantidad de trabajos en esta área, entre los cuales destacan los realizados por Kalyan C. Donepudi[17], los métodos de captura de Yoichi Sato[18] y los siguientes:

1. Takeo Kanade[19] y su proyecto para capturar y modelar un evento 3D que varía. Su método consiste en que un evento sea observado por varias cámaras y de la salida de video se obtiene (de la primera imagen) un mapa de distancias correspondiente a cada cámara y luego un modelo global 3D a partir de los mapas de distancia. De esta forma, pueden obtener los voxels y las representaciones de superficie de forma que tienen un modelo de apariencias dependiente de la vista. Kanade trata de hacer esta representación explícita de un evento para varias aplicaciones como lo son la simulación y la tele presencia pero sobre todo para el entretenimiento, ya que una vez obtenida esta representación es posible la adición, remoción o alteración del evento de tal forma que además se puede observar desde diferentes puntos de vista. Los proyectos que trabajan con este principio son:

- CMU video-rate máquina estéreo para RV
- 3D dome (51 cámaras y algunas reproductoras).
- 3D room completamente digital con un sistema off-line.

2. Canestra patentó un método para formar imágenes electrónicas de objetos cercanos en tres dimensiones que pretende mejorar las capturas 2D realizadas por medio de cámaras de video que perciben imágenes planas del mundo exterior. Canestra llama a su método "electronic perception technology" y con él se puede obtener la distancia del sensor a cada píxel de la imagen en tiempo real. Este método es similar a la obtención de datos por un barrido de láser pero es más complejo ya que se basa en la medición del tiempo requerido por la luz para tocar un objeto en la escena. La tecnología trabaja de la siguiente manera: cada píxel es iluminado y existen varios sensores que toman el dato de esta iluminación desde varios ángulos, estos datos se

transforman para poder medir el tiempo que le toma a la luz llegar a cada píxel y calcular la distancia a la que se encuentra del punto de medición. Con esta técnica se obtiene un mapa de contorno de las superficies en la escena en tres dimensiones pero se requiere la medición del viaje de la luz lo cual implica que su sensor debe medir unidades de tiempo realmente pequeñas. Su patente incorpora la descripción de sensores económicos que pueden medir el tiempo del viaje de la luz.

3. Por otro lado, en mi tesis de maestría Métodos alternativos en la captura de datos para animación digital y cuartos de realidad virtual describo una serie de métodos para la captura de objetos animados e inanimados. En ese trabajo se menciona la forma de realizar capturas a distancia considerando que un mundo 3D con variables en 3D debe ser evaluado con métodos analógicos continuos que permitan exportar datos 3D a un mundo digital 3D sin perder congruencia. Esa teoría llevo al desarrollo de hardware de captura novedoso y económico.

### **1.4.3. Trabajos previos en sensado y diseño de interfaces**

Dentro del mundo de los sensores existe una gran variedad de tendencias, desde los que trabajan con mecánica y presión, pasando por los magnéticos, de campo, eléctricos, de luz, de tiempo de vuelo, ultrasónicos y sónicos hasta los micro-electro-mecánicos y los que trabajan sobre las mismas capas de silicio como neuronas artificiales. El trabajo dentro del desarrollo de nuevos sensores es muy grande ya que abarca gran diversidad de especialidades y se ve afectado por las necesidades de la industria automotriz y de seguridad. Dentro de los trabajos realizados en los últimos años destacan:

1. Rao Yun-Jiang, con su trabajo sobre sensores de fibra óptica, específicamente su sistema para multiplexar fibra óptica el cual permite tener hasta 32 sensores conectados para detectar diversas características como temperatura, presión, distancia, desplazamiento e índice de refracción entre otros. Su sistema se basa en interferometría de baja coherencia de doble longitud de onda, es decir que trabaja con luz blanca en el orden de los 820 a 827 nanómetros.

Los interferómetros permiten la captación de la luz puntual que se transmite a lo largo de la fibra. La fibra óptica puede pensarse como un medio de compresión para la información luminosa, pero en este caso se puede ver como la guía de onda que permite verificar los cambios en fase entre dos señales con ligeras variaciones en su frecuencia base.

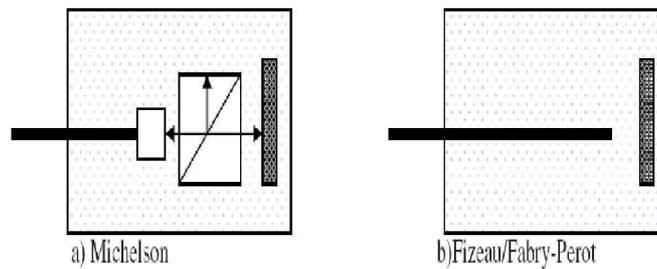


Figura 11: Dos tipos de interferómetros a) tipo Michelson y b) Fizeau/Fabry-Perot

2. Tekscan, elaborando sensores de presión, resistivos y capacitivos a escala comercial.
3. Latoschik, con su proyecto de interacción multimodal para la realidad virtual analizando las interfaces 3D inmersivas con sensores para la captación de voz y gesticulación, añadiendo información cuantitativa y cualitativa dentro de sus sensores y aplicaciones.
4. Mark Mine principalmente con su labor en aplicaciones utilizando sensores y displays para la cabeza utilizadas en atracciones de Disney, quien llega a las siguientes conclusiones sobre diseño de interfaces y aplicaciones:
  - a Las interfaces físicas ayudan a los invitados a introducirse en la experiencia.
  - b Para que el invitado se adapte a los controles estos deben ser sencillos y orientados a las habilidades naturales del invitado.
  - c Teatros inmersivos son herramientas importantes para el diseño virtual.

5. Tanriverdi con sus análisis para el desarrollo de aplicaciones realizó la siguiente categorización sobre las interfaces:

Características	Interfaces Convencionales	Interfaces de realidad virtual
Representación de los objetos	Principalmente 2D	Principalmente 3D
Tipo de objetos	Principalmente objetos virtuales	Objetos virtuales y reales
Comportamiento de los objetos	Principalmente objetos pasivos	Objetos pasivos y activos
Patrones de comunicación	Simples	Complejos
Interacción Humano-computadora	Principalmente explícita	Explícita e implícita

Figura 12: Tabla de las características de las interfaces tradicionales y las de realidad virtual por Tanriverdi.

#### 1.4.4. Trabajos previos en Realidad Virtual y el uso de los sentidos

Dentro de las interfaces de realidad virtual que últimamente se han desarrollado destaca el desarrollo de herramientas que permiten la simulación de algún sentido como lo es el del gusto, tacto, olfato, etc.

- a) Hiroo Iwata[20] de la Universidad de Tsukuba con su simulador de comida que por medio de fuerza en la cavidad bucal y estimulación auditiva y química emula las sensaciones de comer.
- b) El sentido del tacto también puede ser emulado como se demostró en Siggraph 2003 por Hiroyuki Kajimoto[21] con su sistema de realidad aumentada con háptica basada en simulación eléctrica para convertir la información recibida por el tacto, por medio de sensores montados en la piel.
- c) AVANGO de IMK (El instituto Fraunhofer para Comunicación y Medios en Alemania) es un producto que explota los sonidos para aumentar la experiencia virtual por medio de vibraciones, Avango es además un sistema para controlar las simulaciones de realidad virtual que puede manejar varios sistemas incluyendo CAVEs<sup>TM</sup> y es independiente del HW.

Hemos dicho que el problema de las interfases en Realidad Virtual es mayor que el encontrado en el desarrollo de interfases humano-computadora convencionales y que nuestro objetivo es unir dos entidades divididas por su naturaleza. Sin embargo sabemos que el usuario tiene un conjunto limitado de medios para comunicarse con la interfase a diseñar constituido por sus sentidos. También sabemos que el usuario tiene una interfase propia con el entorno, compuesta por la fusión de sentidos y experiencias que le permiten tener una idea del mundo. Por esta razón, para diseñar nuestra interfase con el mundo virtual queremos cambiar, usar y modificar la mezcla de información que llega al usuario para crear una realidad virtual que se comunique con él o ella de la misma forma que lo hace el mundo real.

Una interfase directa trata de evitar la abstracción, representado cada componente en su forma, función y proporciones originales. Para hacer esto de la mejor manera [22] indica que la representación natural de las funciones de un objeto es imperativa en la manipulación directa y que las acciones en el ambiente computacional deben ser coherentes para que la interfase sea intuitiva y no contenga una sintaxis compleja.

En las interfases directas los manipuladores son usados para controlar el desarrollo de eventos en el ambiente virtual. El movimiento, deformación y manipulación de objetos en forma natural son factores clave para definir los límites de acción del usuario en el ambiente simulado.

De acuerdo con [23] el objetivo tecnológico de la inmersión es dar al observador una fuerte impresión de que él o ella se encuentra en el lugar representado por la imagen. Esto requiere que el usuario obtenga información virtual multi-sensorial lo más cercana a la realidad.

No obstante la percepción y la idea de la realidad, quedando establecidas por los parámetros sensoriales particulares de cada persona, son irrepetibles y por esta condición el adaptar un sistema para inducir sensaciones puede producir diferentes resultados dependiendo de las experiencias previas de las personas.

Mulder y Liere nos describen una técnica para crear efectos de profundidad de campo en imágenes usando un algoritmo híbrido que permite

obtener buenos resultados con tiempos de ejecución mucho mas cortos que aquellos provistos por otros algoritmos de DOF que se han generado con anterioridad. Principalmente su algoritmo se basa en procesamiento posterior a la generación de la imagen original y está dividido en dos secciones: una de alta definición y poca velocidad y otra de menor definición pero muy alta velocidad. La combinación de ambas técnicas permite crear un método para generar imágenes con efectos de DOF en los cuales se les da gran importancia a puntos selectos alrededor del círculo de visión que debería presentar el usuario ante la imagen mientras que el resto de la información es procesada rápidamente y de forma no tan precisa, pero que al quedar fuera del círculo principal de visión del usuario genera el efecto deseado sin perder calidad práctica para el interesado.

Esta técnica permite generar el efecto de DOF en imágenes 3D de forma mucho más veloz pero no lo suficiente para ser empleada en aplicaciones de realidad virtual. Además el uso de DOF para realzar lo realista de una imagen generada computacionalmente no toma en cuenta directamente el punto de concentración del usuario, es decir, el efecto DOF proporciona al usuario un increíble efecto de realidad en la escena, pero si el usuario concentra su vista en otro punto que no sea el que originalmente se planteó como centro del área de interés, el usuario verá una imagen borrosa y distorsionada. Esto se debe a que los efectos DOF hasta ahora no contemplan las decisiones del usuario para generar a tiempo real el tratamiento de la imagen. Si se quiere emplear DOF en escenas de realidad aumentada o virtual es imprescindible tomar en cuenta el punto de concentración de la fovea del usuario para evitar que éste visualice la imagen de forma errónea y que, al contrario, se logre en todo sentido una magnificación de la realidad en la escena.

## 1.5. Conceptos generales en el desarrollo de sensores

A continuación resumimos algunos conceptos básicos que fueron utilizados en la tesis como base para diseñar dispositivos interactivos.

### 1.5.1. Sistemas ópticos

Las guías de luz, son materiales transparentes (para un tipo determinado de luz) en la frecuencia del espectro de interés que se utiliza para guiar un flujo de luz reflejándola totalmente a lo largo del camino deseado, los materiales típicos para esto son vidrio, plástico, fibra óptica, fibra óptica líquida, otros tipos de plásticos líquidos, etc.

Debido a la ley de Liouville's el área total de un segmento a través de una guía de luz no puede ser reducida sin pérdida de luz de manera que este principio se quiere utilizar para determinar lugares de fuga al realizar flexiones en la fibra mediante un circuito transmisor-receptor resonante diseñado específicamente para este efecto. Para los cambios de dirección al doblar las guías de luz los radios dependen de la siguiente relación:

$$n^2 - 1 \geq \left(\frac{d}{2r} + 1\right)^2 \quad (1)$$

Donde el  $d$  es el diámetro de la fibra  $r$  es el radio de doblado y  $n$  es el índice refractivo del medio Si esta relación se satisface la reflexión es total y la luz llega sin pérdidas de manera que al ser modificado el radio de doblaje se tiene una relación directa con las pérdidas de luz, las cuales a pesar de ser pequeñas son detectadas por los sensores especiales resonantes y magnificadas gracias a las reducciones a realizar en la fibra cercana a los puntos de juntura.

### 1.5.2. Magnéticos

Para definir [24] el vector campo magnético  $B$  en un punto del espacio se considera el efecto de una carga con una velocidad  $v$  en la proximidad de un imán o de un alambre por el que circula una corriente, en este escenario se puede medir que existe una fuerza  $F$  adicional sobre la

carga que depende del valor y de la dirección de la velocidad de la siguiente manera:

- La fuerza es proporcional al valor de la carga.
- La fuerza es proporcional al módulo de la velocidad  $v$ .
- El valor, la dirección y sentido de  $F$  depende de la dirección y sentido de  $v$ .
- Si la velocidad está dirigida a lo largo de una línea determinada del espacio, la fuerza es cero.
- Si la velocidad no está dirigida según esta línea, existe una fuerza que es perpendicular a  $v$ .
- Si la velocidad forma un ángulo  $\theta$  con esta línea, la fuerza es proporcional al  $\sin\theta$ .
- La fuerza sobre una carga negativa es de sentido opuesto a la ejercida sobre una positiva y de igual velocidad.

Esta fuerza entonces se puede definir con la siguiente ecuación :

$$\vec{F} = q \cdot \vec{v} \times \vec{B} \quad (2)$$

El vector  $B$  denominado vector de inducción magnética es el vector del campo magnético y la fuerza ejercida sobre una carga móvil es el resultado de la interacción de la misma y su dinámica con el campo magnético local.

### 1.5.3. Eléctricos

Cada uno de los cuerpos cargados modifica las propiedades del espacio que lo rodea con su sola presencia[25]. Si solamente está presente la carga  $Q$ , después de haber retirado la carga  $Q$  del punto  $P$ , se dice que la carga  $Q$  crea un campo eléctrico en el punto  $P$ . Al volver a poner la carga  $q$  en el punto  $P$ , la fuerza sobre esta carga la ejerce el campo eléctrico creado por la carga  $Q$ .

El campo Eléctrico  $e$  se puede definir con una magnitud vectorial sobre la unidad de carga con la siguiente ecuación para el módulo:

$$\varepsilon = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} \quad (3)$$

una dirección radial y sentido opuesto hacia el sentido de la carga  $Q$ , si la carga es positiva y hacia la carga si es negativa.

#### 1.5.4. Piezo resistivos

La teoría de resistencia nos dice que la resistencia de contacto  $R_c$  puede ser descrita en términos de la resistividad de la superficie de contacto  $\rho$ , la fuerza aplicada  $F$  y  $K$  la función que describe las propiedades elásticas y de rugosidad de las superficies.

Para caracterizar la sensibilidad de contacto de los sensores resistivos se define  $GF$  como el factor:

$$GF_c = \frac{dS_c}{dF} \alpha \frac{1}{\rho K} \quad (4)$$

Donde  $S_c = 1/R_c$  es la conductancia de contacto. De esta manera con valores bajos en la resistividad de la superficie y valores constantes de  $K$  se pueden obtener valores de sensibilidad altos para el sensor piezo resistivo de contacto. Este efecto se utiliza para la creación de diversos sensores de fuerza.

## **1.6. Realismo y mejoramiento de la imagen**

Es uno de los propósitos de una buena aplicación la de aumentar el realismo y mejorar la cantidad de inmersión para hacer la realidad virtual más creíble y mejorar la simulación de la realidad en cuestión. Esta aseveración implica dos grandes retos, el primero implica tener una idea de la realidad adecuada para ser reproducida y el segundo reto es el de tener una métrica precisa que nos permita medir la mejora en el realismo.

### **1.6.1. Llevando el realismo a la realidad virtual**

Al implementar los ambientes virtuales, según Kraiss[26], nos enfrentamos a una serie de obstáculos ya que para obtener un mundo virtual vivido y realista, existe la necesidad de tener una estructura de datos eficiente, que mantenga un orden correcto de las jerarquías y dependencias entre los objetos.

La estructura de datos más fundamental que es usada con este propósito es llamada grafo de escena, mientras que los grafos de escena mantienen el orden de las cosas en el mundo virtual, no hay una manera estandarizada de interpretar por medio de un grafo similar problemas, jerarquías y dependencias en el mundo real incluyendo la manera de presentar los datos al usuario y los dispositivos de entrada. Para tareas tales como estas, se han generado varias ideas para mantener el control, la mayoría de las herramientas de manejo de estos dispositivos se agrupan para poder solucionar este problema de manera conjunta.

Kuhlen[27] nos menciona que para obtener una interacción completamente natural por parte del usuario dentro del mundo virtual, es importante que la interfase ayude al usuario a diluir las diferencias entre la realidad y la virtualidad. Esto solamente se puede lograr integrando al ambiente virtual aquellos elementos que complementan la percepción del usuario y que se basan en la multisensorialidad. No es suficiente plantear ante el usuario un conjunto de imágenes foto realistas, si no que es indispensable que los elementos virtuales contengan componentes 3D como los tienen en la realidad y que se estimulen todos los sentidos al mismo tiempo para dar la idea de que en realidad el

mundo virtual rodea y envuelve la percepción del usuario.

La cantidad de aplicaciones emergentes en el área de realidad virtual es numeroso. Tenemos aplicaciones de carácter industrial en las que se quiere obtener solamente una visualización mas real de lo que sería un diseño antes de implementarse o iniciar su producción. En otras aplicaciones se involucran usuarios a tiempo real y requieren alta precisión y resultados veloces como lo es el área de medicina quirúrgica. El nivel de inmersión de una aplicación de realidad virtual puede llevar al usuario desde percibir imágenes 2D en su extrapolación 3D dando una idea mas real de la imagen hasta aprender y adquirir habilidades específicas con precisión y evitando riesgos de implementación.

Mulder y Liere[28] nos describen una técnica para crear efectos de profundidad de campo en imágenes usando un algoritmo híbrido que permite obtener buenos resultados con tiempos de ejecución mucho mas cortos que aquellos provistos por otros algoritmos de DOF (profundidad de campo) que se han generado con anterioridad. Principalmente su algoritmo se basa en procesamiento posterior a la generación de la imagen original y está dividido en dos secciones: una de alta definición y poca velocidad y otra de menor definición pero muy alta velocidad.

La combinación de ambas técnicas permite crear un método para generar imágenes con efectos de DOF en los cuales se les da gran importancia a puntos selectos alrededor del círculo de visión que debería presentar el usuario ante la imagen mientras que el resto de la información es procesada rápidamente y de forma no tan precisa, pero que al quedar fuera del círculo principal de visión del usuario genera el efecto deseado sin perder calidad práctica para el interesado.

Esta técnica permite generar el efecto de DOF en imágenes 3D de forma mucho más veloz pero no lo suficiente para ser empleada en aplicaciones de realidad virtual. Además el uso de DOF para realzar lo realista de una imagen generada computacionalmente no toma en cuenta directamente el punto de concentración del usuario, es decir, el efecto DOF proporciona al usuario un increíble efecto de realidad en la escena, pero si el usuario concentra su vista en otro punto que no sea el que originalmente se planteó como centro del área de interés, el

usuario verá una imagen borrosa y distorsionada. Esto se debe a que los efectos DOF hasta ahora no contemplan las decisiones del usuario para generar a tiempo real el tratamiento de la imagen.

Si se quiere emplear DOF en escenas de realidad aumentada o virtual es imprescindible tomar en cuenta el punto de concentración de la fovea del usuario para evitar que éste visualice la imagen de forma errónea y que, al contrario, se logre en todo sentido una magnificación de la realidad en la escena.

### **1.6.2. Interacción, acción y función**

Como anteriormente mencionamos es básico conectar al usuario con el mundo virtual al hacer que los objetos dentro y fuera del mundo virtual estén relacionados a su función y que toda acción relacionada con este objeto sea coherente con su función, forma y características físicas, respetando las mismas de acuerdo con las reglas del mundo virtual en cuestión. Se ha demostrado por medio de varios estudios que el modelado basado en física y en háptica tiene el potencial de mejorar la interacción en la realidad virtual, en nuestra experiencia en particular el mezclar texturas, temperaturas y retroalimentación ha sido especialmente satisfactorio y con resultados excelentes como se pueden ver en nuestras publicaciones con interfases táctiles.

El trabajo de Kuhlen y Steffan[27] titulado "A tool for interactive Assembly Situation in Virtual Environments" al ser analizado por Kraiss[29] dejó ver que los problemas para poder establecer la correlación exacta entre la interacción y el mundo virtual son:

- El modelado correcto de los objetos y escena, la geometría y la física tienen gran impacto sobre la credibilidad de las acciones realizadas en el mundo virtual.
- La tecnología del Hardware, tener dispositivos adecuados para la retroalimentación e interpretación de los movimientos del usuario que sean eficientes, precisos y provean las sensaciones adecuadas al mismo tiempo que retroalimentación kinestésica y provean los datos necesarios para modelar el comportamiento del usuario de manera adecuada.

Para compensar estos problemas ocasionados por el modelado inexacto y el comportamiento errático de los objetos en el mundo virtual así como la inexactitud, lentitud o fallas en el sistema de interfase que conjunta los dispositivos de interacción de la aplicación, Kraiss[29] sugiere brindar al usuario diferentes y nuevos mecanismos para facilitar la manipulación de objetos y el logro de tareas dentro del mundo virtual. Sugiere un mecanismo de soporte llamado mangas de guía (guiding sleeves) que permite tener una idea de la posición de los objetos virtuales con los cuales esta interactuando el usuario durante su traslado de un punto a otro.

También analiza el tener la posición de los objetos con orientación descrita en forma de cuaterniones para poder calcular el camino de movimiento basándose en las diferencias entre las orientaciones del punto de origen y el destino y la orientación origen y la destino.

### **1.6.3. Apariencia de lo real en lo virtual**

La percepción y la idea de la realidad quedando establecidas por los parámetros sensoriales particulares de cada persona son irrepetibles y por esta condición el adaptar un sistema para inducir sensaciones pierde sentido general y se enfoca a utilizar las herramientas perceptuales medibles que tenemos a nuestro alcance, por lo tanto se ha generalizado el uso de sistemas que otorguen una mejora sensorial plausible, en lugar de una mejora perceptiva.

En el área de Gráficas Computacionales es muy común exaltar el foto realismo mediante la optimización de las técnicas de dibujado relegando otros aspectos de la simulación como la reproducción de los fenómenos físicos entre otras exaltando el sombreado, la iluminación etc. para ejemplificar esto, tomemos el congreso SIGGRAPH el cual se destaca entre los demás por su calidad y reputación donde los temas de las pláticas en el 2006 fueron los siguientes:

- Sampling and Ray Tracing
- Image Processing
- Shape Matching and Symmetry

- Shape Modeling and Textures
- Image Manipulation
- Surfaces
- High Dynamic Range (HDR) and Systems
- Appearance Representation
- Matting and Deblurring
- Fluids
- Image Collections
- Motion Capture
- Image Capture
- Precomputed Transfer
- Appearance Modeling
- Meshes
- Light Transport
- Shape Deformation
- Numerical and Geometric Algorithms and Crowds
- Animation
- Non-Photorealistic Rendering

Donde de los 21 diferentes temas 47% son sobre optimización en el dibujado. Revisemos entonces algunos trabajos que se centran en el mejoramiento de la imagen y la exaltación del realismo desde el aspecto visual.

El trabajo de Luft[30], Colditz y Deussen en su paper "Image Enhancement by Unsharp Masking the Depth Buffer" Establecen una relación entre métodos de dibujado tradicionales utilizados por Dali, Picasso, Seurat y Matisse con una técnica separar los objetos que se encuentran a diferentes profundidades al alterar localmente el contraste mejorando así la percepción de profundidad en imágenes computarizadas que contienen información de profundidad. Su trabajo, representa un método de mejorar la calidad de la profundidad que se puede percibir de las

imágenes Imagen 13, como veremos en el capítulo segundo de este trabajo una gran parte de nuestra labor ha sido la de probar y comprobar la efectividad de filtros de mejoramiento de la profundidad de la imagen en videos para mejorar la percepción de la profundidad desde un punto de vista psicológico.

Luft utiliza una mascara que separa las capas de profundidad por medio de un filtro pasa bajos para exaltar las áreas importantes de la escena, basándose en estos datos aumentan el contraste de color y otros parámetros de la imagen localmente logrando mejorar la percepción de escenas complejas dando una idea de mayor profundidad, así como nuestro trabajo esta basado en la fisiología y psicología perceptuales, ellos basan muchos de sus estudios en el arte y la neurología.

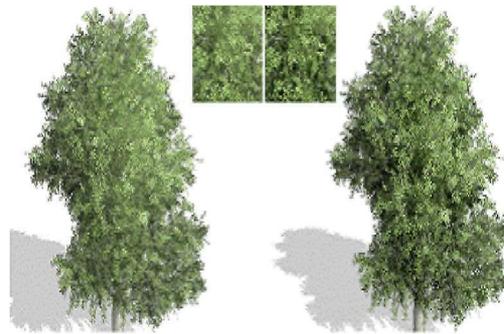


Figura 13: Mejoramiento de la apariencia de profundidad mediante el método de Luft.

Utilizando la importancia global  $\Delta D$  brindada por el buffer de profundidad aplican una mascara para obtener una imagen  $I$  mejorada como se puede ver a continuación en la siguiente ecuación:

$$I_{resultante} = \text{Contraste}_{global}(I) |\Delta D|^\lambda + I(1/|\Delta D|^\lambda). \quad (5)$$

Donde la imagen resultante es obtenida al aplicar una mascara compuesta por el histograma generado para calcular el Contraste global ( $I$ ) y un factor que determina la importancia del brillo en la escena  $A$  para cada canal de color. Esta ecuación la compararemos posteriormente con nuestro filtro de contraste, el cual realmente se enfoca al cambio de

luminosidad en la escena y al cambio de colores primarios de manera automática no como en este caso usando un A introducido por un usuario.

Otro ejemplo de este mejoramiento visual Imagen 14 es el trabajo de Rusinkiewicz, Burns, y DeCarlo en su publicación "Exaggerated Shading for Depicting Shape and Detail" [31], en la cual utilizan un modelo de sombreado inspirado en la cartografía de terreno en la cual dinámicamente ajustan la posición efectiva de la luz para diferentes áreas de la superficie y revela detalles sin importar la orientación de la superficie y al operar en diferentes escalas esta diseñado para agrupar a detalle todas las frecuencias de manera simultanea. Con una suposición sim-

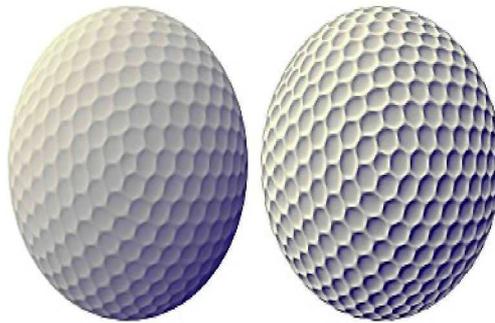


Figura 14: Mejoramiento de la imagen por medio de la exageración del sombreado.

ple sobre el origen de la fuente de iluminación se logra con el método de Rusinkiewicz tener una idea de mayor profundidad y una percepción del detalle aumentada que en casos en los cuales no se requiera un dibujado foto realista puede ser utilizada para mejorar la impresión general de los modelos ya que la iluminación global es preservada en una escala superior y solo obviada en la escala próxima al objeto. Estos efectos de render aunque mejoran la percepción de la profundidad y la calidad visual de los modelos son considerados técnicas no foto realistas ya que aunque contienen información sobre el sombreado general de la escena no cumplen con las reglas físicas adoptadas normalmente para la iluminación de una escena tradicional.

Dentro de los esquemas tradicionales de mejoramiento de la calidad de la escena muchas técnicas se han desarrollado actualmente gracias

al uso de las capacidades de las tarjetas gráficas en el trabajo doctoral realizado por Jan Fischer [32] titulado "Métodos de dibujado para realidad aumentada" (Rendering Methods for Augmented Reality) se puede observar como han mejorado las técnicas de dibujado y la orientación que ha tenido en los últimos años, su opinión es que la realidad aumentada al superponer información gráfica a información del mundo real, la realidad aumentada se ha convertido en una de las áreas más prometedoras y de mayor crecimiento en el área de gráficas, pero al mismo tiempo es una de las que presentan más retos. Los diseños de dispositivos de proyección, pantallas, lentes proyectores, localización del usuario, sistema, interacción con el usuario y dibujado han mejorado considerablemente pero la mayor parte del trabajo en esas áreas se basan en atacar el problema del diseño del sistema mientras la tesis de Fisher se aboca a mejorar los métodos de dibujado al utilizar tramas de video aumentadas por medio de un conjunto de herramientas llamado ARGUS.

Lo más interesante dentro de su análisis es el estudio que realiza sobre la capacidad del usuario para identificar objetos virtuales en una realidad aumentada estilizada, analizando las características psicofísicas de la aplicación. Fisher mejora esta capacidad del usuario para ligar los objetos virtuales a los reales utilizando un algoritmo novedoso de iso-superficies y modelos poligonales para poder representar de manera ilustrativa superficies y las estructuras que se encuentren ocultas por estas.

#### **1.6.4. Moviendo lo virtual hacia lo real**

El modelado basado en física ha sido una tendencia adoptada desde los 80s que se ha convertido en una de las más populares cuando se refiere a mejorar el realismo de las aplicaciones de realidad virtual, hoy día es casi imposible imaginar una simulación sin física y los objetos se deben comportar de manera realista al respetar las reglas físicas que los limitan en la realidad, la dinámica y la cinética por lo tanto han sido utilizadas para emular el movimiento de estos objetos y por lo tanto muchos trabajos se han centrado en resolver los problemas ocasionados al incorporar las leyes de la mecánica en la realidad virtual.

Simular que se tiene contacto físico con algún objeto determina un aumento en la idea de control que tiene el usuario sobre el mundo. Un dispositivo de retroalimentación de fuerza o force-feedback es un dispositivo robótico que permite interactuar brindando una respuesta física al proporcionársele una fuerza o posición como entrada, de forma que genere una acción proporcional a la entrada en forma de oposición o fuerza siendo esta controlada para simular cierto material.

El ambiente virtual puede requerir la simulación de diversos objetos y la interacción del usuario puede ser requerida sobre una gran variedad de superficies de diferentes respuestas físicas al estímulo, estos dispositivos de force-feedback son relativamente costosos y tienen restricciones en cuanto a su forma de operación y a su vez limitan la movilidad al usuario. Aunque mejorar el realismo por medio de la física y en su extremo al simular físicamente esta, pueda parecer prometedor hay que considerar los factores que rodean esta suposición y que el tener al usuario restringido a realizar ciertos movimientos aliena la aplicación virtual.

La percepción del realismo o de la realidad varían dependiendo de las experiencias del usuario, su cultura, su edad y otros factores, por lo tanto el hacer interfases adaptables a la percepción es una tarea difícil, nosotros hemos basado nuestro estudio en los trabajos realizados anteriormente en las áreas de render e interfases y hemos establecido una serie de medidas para registrar los resultados obtenidos en nuestros experimentos, comparando hechos reales y sus experiencias con la realidad virtual, a su vez comparamos nuestros métodos con los métodos existentes más cercanos a nuestras propuestas, evaluando el grado de inmersión que nuestros sistemas brindan y midiendo así su utilidad en aplicaciones de realidad virtual.

## CAPÍTULO 2

En el siguiente capítulo hablaremos sobre el trabajo experimental realizado con el objetivo de probar nuestro planteamiento de la solución propuesta para el problema, es decir validaremos de forma experimental nuestras hipótesis sobre la percepción y la manera en que esta puede llegar a ser afectada si la interfase es concebida como el punto de unión entre la mente del usuario y la aplicación en si utilizando los sentidos como parte integral de la misma interfase logrando una adecuación entre estos sentidos y la aplicación en lugar de forzar los sentidos de manera superficial con mensajes orientados a engañar la sensación y no la percepción. Haciendo que la aplicación envíe mensajes que modifiquen la percepción de la realidad en lugar de avasallar los sentidos con grandes cantidades de información enviando mensajes sutiles a la "mente" del usuario que le permitan sentir una diferencia concreta entre las aplicaciones realizadas con nuestro método y los métodos tradicionales.

En este capítulo también analizaremos las capacidades y limitaciones de los métodos actuales y los materiales empleados actualmente en las aplicaciones de realidad virtual comparándolos en cada caso con nuestras versiones orientadas a percepción para así reconocer las ventajas y problemas de nuestras aplicaciones. Estas aplicaciones en muchos casos dieron resultados que fueron publicados en diversos congresos, libros y revistas. Como condensado de estos mismos experimentos se analizan estas publicaciones y se comentan en secciones separadas las reacciones obtenidas incluyendo las opiniones de usuarios conocedores y no conocedores del área. Por medio de estos logros se quiere probar en esta sección que estimular percepción del usuario es mejor que simplemente atacar los sentidos para lograr inmersión en un ambiente virtual.

Los medidores de usabilidad para un ambiente de realidad virtual no se apegan al ideal de la realidad, definamos pues dos tipos de aplicaciones virtuales:

- a Aplicación basada en metas y navegación
- b Aplicación basada en presencia

Al querer medir la usabilidad de una aplicación computacional tradicional, podemos regirnos por las reglas de la practicidad misma y lograr tener medidas dependientes del tiempo, del número de tareas exitosamente realizadas, se pueden definir las posiciones de los comandos, iconos y medios de interacción en un solo plano.

Al medir una aplicación de realidad virtual hay que reconocer que el primer problema es la navegación, esta puede ser guiada, natural o forzada. La navegación guiada le da oportunidad al usuario de moverse con sensación de libertad al permitirle moverse en cualquier momento a un punto permitido dentro del espacio virtual, en la navegación natural el movimiento puede ser en cualquier dirección y sin limitación siempre y cuando el punto al que se desea ir se encuentre dentro del mundo definido por la aplicación virtual, por otro lado la navegación forzada describe un camino que el usuario debe seguir cortando la libertad del mismo a quedarse en un determinado punto, regresar u explorar fuera de la ruta especificada por la aplicación.

El incluir iconos y comandos en dos dimensiones dentro de la aplicación es una técnica muy usada en museos virtuales y juegos de video que resultan prácticas para la realización de tareas específicas pero alienan al usuario del mundo virtual. Con el tiempo cada vez menos iconos y comandos en dos dimensiones existen en estos mundos y se han reemplazado por objetos tridimensionales que tienen una relación con la acción que se desea realizar (de esto hablaremos posteriormente ya que es el tema de uno de los artículos de congreso descritos en este capítulo titulado "Object, function, action for tangible interface design." [33]).

Medir tareas y los tiempos relacionados con la ejecución exitosa de las mismas es posible en aplicaciones virtuales orientadas a metas y navegación como los juegos virtuales, pero en aplicaciones perceptivas únicamente como aplicaciones de arte o de simulación donde no existe una actividad específica y pueden existir mundos virtuales de navegación forzada pero en otros ni si quiera se debe realizar la acción de la navegación para ser una aplicación exitosa. Por lo anterior nosotros fabricamos un método de evaluación de usabilidad mixto para los ambientes virtuales que involucra en aquéllas aplicaciones que lo permiten tiempos de adecuación y logros de tareas y para aquellas que no utiliza-

mos una rubricas fuera de la usabilidad definida normalmente, la cual nos permite tomar los patrones de la realidad como unidad básica de medición y aunque es una medida abstracta y basada en la sensación del usuario es mesurable por medio de la opinión de los usuarios lo cual nos permite mantener el método de evaluación antes mencionado utilizando valores de medida temporales, por metas, por adecuación y por sensación entendida esta última como la respuesta ponderada a preguntas cerradas a un conjunto de usuarios. Esta métrica nos permitió también tener una escala con la cual medir el grado de inmersibilidad de una aplicación en la que se le da a los usuarios habilidades no realistas en un ambiente realista. Es decir medir como el usuario siente las capacidades de navegar por el cielo virtual, crear vientos que mueven árboles y cambian de colores los edificios sin alienar al usuario de esa realidad particular que queremos sienta cuando use la aplicación.

El principal reto al evaluar la manera en la que se afecta la percepción del usuario es que la percepción al ser única para cada individuo no puede ser medida por parámetros generales y depende de la opinión del usuario, la única manera de conocer si el usuario percibe de forma distinta los objetos en la aplicación es preguntándole de manera directa y en muchos casos el usuario no sabe como responder a la pregunta ya que puede sentirse obligado a contestar guiado por los parámetros normales de apreciación de una aplicación evaluando la velocidad, la calidad de la imagen, el contraste, el tamaño y otras cualidades que no se están juzgando en el estudio, por lo cual es necesario presentarle al usuario una variedad de preguntas que exploren los parámetros clásicos al mismo tiempo que inquieran sobre su forma de ver la aplicación, si le gusto, aunque sea un rubro completamente subjetivo, si apreció una sensación tridimensional mayor, si es más inmersivo, si le parece más o menos realista sin utilizar palabras ni preguntas abiertas que permitan al usuario escapar de la pregunta u hacer aseveraciones que sean no mesurables.

Se propuso el siguiente cuestionario (Anexo 2) que trata de profundizar en la psique del usuario al mismo tiempo que se le deja al usuario libre para expresar su opinión general sobre la aplicación utilizando un rubro específico para determinar el agrado o desagrado a la técnica interactiva utilizada en cada uno de los experimentos.

En ocasiones los usuarios tienden a malinterpretar los comandos y las instrucciones de uso de las aplicaciones, el hecho de que una aplicación sea simple de comprender para la mayoría de los usuarios es una característica deseable en la mayoría de las aplicaciones, pero en aplicaciones de realidad virtual es imperativa, el dar instrucciones y o claves de uso al usuario alienan el contexto y permiten al usuario desentenderse de la realidad virtual provocando que no exista inmersión.

Es necesario que sean aplicaciones completamente intuitivas y que permitan al usuario sentirse libre de reglas, como comentamos anteriormente los métodos más flexibles e indicativos para medir usabilidad no tienen parámetros aplicables para la realidad virtual, el método propuesto por Thimbleby [34] esta orientado a diseñar una interfase con comportamiento perfecto. Esta aseveración es altamente dudosa, pero su método en si propone predecir el comportamiento del usuario, para así ajustar la interfase a sus necesidades, pero como comentamos anteriormente, analiza estadísticamente como un diseño puede ser mejorado al utilizar indicativos para mejorar la interacción con el usuario, pero funciona únicamente con aplicaciones donde existen objetivos definidos y existe un único camino univoco para lograr cada uno de los objetivos. El trabajo de Thimbleby[34] introduce el concepto de "conocimiento previo k" y por medio de esta constante reajusta los valores de los vectores de probabilidad de manera que para el diseñador esa k modele.

La facilidad de uso de la interfase estará directamente relacionada con la dificultad de llegar desde cualquier estado a un estado final objetivo para cada uno de los objetivos alcanzables. Genera una matriz de probabilidad entre transiciones denominada P en la que describe el flujo de la aplicación por pasos donde se introducen las probabilidades de que el usuario utilice esa transición para cambiar de estado. Este método trata de utilizar un sistema matemático que permita a los diseñadores de interfaces predecir que tan fácil o difícil será el uso de su diseño cuando este terminado sin recurrir a los métodos tradicionales que implican pruebas exhaustivas y que no tienen una base concreta con la cual comparar sus niveles de facilidad de uso.

Para un usuario "promedio" se introduce también el concepto de una  $k$  que modela el hecho de que los usuarios se equivocan al utilizar la interfase un número arbitrario de veces.

Para poder modelar una aplicación de esta forma se utilizan dos técnicas, la primera las FSM (o máquinas de estado finitos) utilizadas para el modelado de interfaces de manera muy común y los modelos de Markov que se utilizan en una gran cantidad de aplicaciones entre las cuales destacan la optimización y la adaptación o aprendizaje de sistemas, pero aunque estas rubricas son interesantes para aplicarse en el modelado de interfaces sencillas no utiliza valores de  $k$  negativos los cuales pueden afectar en gran medida los resultados de los experimentos.

Las interfaces modelables requieren tener un número de estados limitados y la interacción humano máquina no puede ser alejada del factor psicológico ya que aunque el sistema llegue a una solución no significa que la persona pueda a la misma velocidad asimilar que ya cumplió con el objetivo un ejemplo claro es la interfase del ábaco contra la de la calculadora, al realizar la pregunta al ábaco, el usuario descubre la respuesta de manera instantánea viendo de manera clara como se llegó al resultado sin embargo en la calculadora el proceso de obtención del resultado esta escondido al usuario y puede costarle más tiempo asimilar la respuesta. Para el trabajo descrito en esta tesis tratamos de modelar la facilidad de uso con un nombre distinto "adaptabilidad" la cual mide el tiempo que requiere al usuario utilizar la aplicación dentro de los parámetros diseñados.

## **2.1. Implementando diseño basado en percepción**

### **2.1.1. Aumento de la inmersibilidad con elementos táctiles**

Como primera aproximación, en nuestra investigación comenzamos utilizando los sentidos como medio para influenciar la percepción del usuario sobre la realidad virtual. Dentro de este medio las interfaces táctiles son las más efectivas y rápidas de implementar como lo muestra Ishii[3] en su trabajo. La influencia de los sentidos en la percepción es grande debido a que, como lo vimos en el capítulo anterior, éstos son el único puente entre la abstracción de la realidad de cada individuo y el mundo real. La suma de la información recabada por los sentidos en unión con las ideas culturales, experiencias y otros factores psicológicos nos darán un perfil de la percepción del usuario. Las interfaces tangibles definidas como "tangible bits and atoms" por Ishii[3] pueden ser utilizadas para discretizar la interacción manual del usuario en datos legibles a la aplicación. El control de la aplicación y la relación de los movimientos del usuario con la modificación de la realidad virtual deben ser transparentes, imperceptibles e inmediatos para poder provocar el efecto de bioretroalimentación en el usuario.

Con el objetivo de mejorar la interacción en aplicaciones de realidad virtual o realidad aumentada se han realizado muchos esfuerzos para incluir elementos táctiles e influenciar al usuario creando una unión entre los objetos virtuales y las acciones realizadas dentro del mundo virtual. Explorando las interfaces táctiles, los juegos interactivos han sido utilizados para introducir estas técnicas a lo largo del tiempo. Con el objetivo de probar nuestras propias interfaces y poder comenzar a probar los resultados en la interactividad al incluir la percepción como centro del diseño de interfases, comenzamos a trabajar con la siguiente teoría: Los juegos colaborativos que utilizan interfaces tangibles utilizando objetos aumentados utilizan estos dispositivos interactivos para expandir las capacidades del usuario a través de la comunicación entre el mismo usuario, el mundo virtual y otros usuarios conectados al mundo virtual. Los juegos virtuales deben crear relaciones causa-efecto relacionadas a la presencia, acción y evolución de cada elemento rela-

cionados con el flujo del juego de manera que el observador perciba de manera clara y sencilla los componentes del juego, creando la ilusión de que las acciones están siendo tomadas dentro del mundo virtual. Esta condición aumentara la virtualidad debido a que el usuario siente que tiene la habilidad de alterar directamente ciertas condiciones y elementos del mundo virtual, aumentando la experiencia real con virtualidad y la virtual con realismo.

Juegos colaborativos como los diseñados por Cheok[35] colocan al usuario en un mundo aumentado que permite al usuario creer y disfrutar una experiencia conjunta de libertad e interacción entre usuarios definida por medio de los sistemas de comunicación, de forma que el éxito de estas aplicaciones depende en gran medida de su velocidad, robustez y precisión de la replicación de los eventos creados por cada usuario en el juego. La interacción remota es un elemento clave en la creación de un "buen juego"; existen muchas formas para interactuar pero para manejar un tipo de eventos aumentados el usuario no solo necesita recibir retroalimentación visual y táctil, Lee Shang Ping[36] si no que también necesita tener un vínculo directo con la infraestructura y las relaciones con otros usuarios, por lo tanto las terminales deben ser parte de una arquitectura bien organizada que permita retroalimentación comunicativa y espacial.

## **Trabajo Experimental A**

### **A.1 Descripción general**

En esta primera aproximación llevamos lo tangible al mundo virtual y creamos en él una forma de interacción completa y al mismo tiempo que fuese natural y simple. Diseñamos un juego de cartas virtual que permitía al usuario interactuar con el entorno virtual de manera directa; el juego consiste en un tablero simple de 3 X 3 cartas en el cual el objetivo es encontrar los pares de los modelos escondidos bajo cada carta y representados en la pantalla. Al girar las cartas, el usuario podía ver como su acción se traduce en la aparición de un modelo virtual en la posición de la carta volteada.

En nuestra aproximación quisimos aprovechar el hecho de que vivimos en una sociedad en la cual se han alienado las personas entre si y cada día son más complicadas las relaciones interpersonales forzándonos a interactuar cada vez menos y durante menor tiempo con otras personas en un ambiente libre. Los juegos multiusuario pueden proveer un ambiente seguro para que el usuario pueda interactuar con otras personas siendo libre para expresarse. Escogimos el juego de memoria ya que es un juego versátil de uno o varios jugadores siendo sencillo y divertido a su vez.

En otros juegos virtuales aumentados, el objetivo es crear un lugar de juego que funcione como punto de referencia para desligar al usuario de sus actividades cotidianas. Nosotros quisimos tomar un acercamiento distinto, sabemos que no todas las personas tienen acceso a equipo costoso o no tienen espacio para jugar, como por ejemplo la gente joven y los niños quienes no pueden gastar tanto en una computadora portátil o que viven en un departamento pequeño, nosotros queríamos crear un mundo amplio, con hardware de interacción económico, un mundo divertido que pudiera estar constituido por las realidades de decenas de jugadores alrededor de un mundo virtual por Internet para permitirles romper las barreras de espacio y lugar.

Los factores a medir en este experimento fueron:

Imersibilidad.- Entendida como el grado de adecuación del usuario dentro del mundo virtual, se midió por medio del tiempo promedio utilizado por el usuario en completar la tarea dada.

Alienación.- Medido como el grado de compenetración del usuario con el medio virtual. Se midió al comparar las reacciones motrices (velocidad de reacción y concentración) entre un juego de memoria normal y el juego de memoria aumentado.

Realismo.- Entendido como la capacidad del usuario para unir las ideas del mundo real con las del mundo virtual. Medido como el tiempo que requiere al usuario dejar de ser sorprendido por el mundo virtual (tiempo de acoplamiento virtual). Parámetros de Medición:

Tiempo de adecuación: tomamos como referencia para nuestro experimento el tiempo que le tomaba al usuario adaptarse al sistema, este tiempo fue medido desde que el usuario comenzaba su primer juego y terminaba cuando este lograba satisfactoriamente terminar tres juegos seguidos. Número de tareas completadas: se cuenta el número de aciertos que tiene el usuario al encontrar parejas seguidas en sus primeros 3 juegos.

Promedio de éxito en la tarea: se divide el número de tareas completadas entre el tiempo de adecuación.

En nuestra aplicación primero el usuario jugaba únicamente contra el tiempo, en la segunda versión, un conjunto de usuarios competían en turnos por completar la mayor cantidad de parejas. Utilizando los parámetros de medición y una encuesta se midieron los factores de interés en 20 usuarios.

Los resultados obtenidos se muestran en el anexo 1, como muestra condensada de estos resultados presentamos el siguiente gráfico correspondiente a la comparación de los resultados usuarios de 10 en 10 :

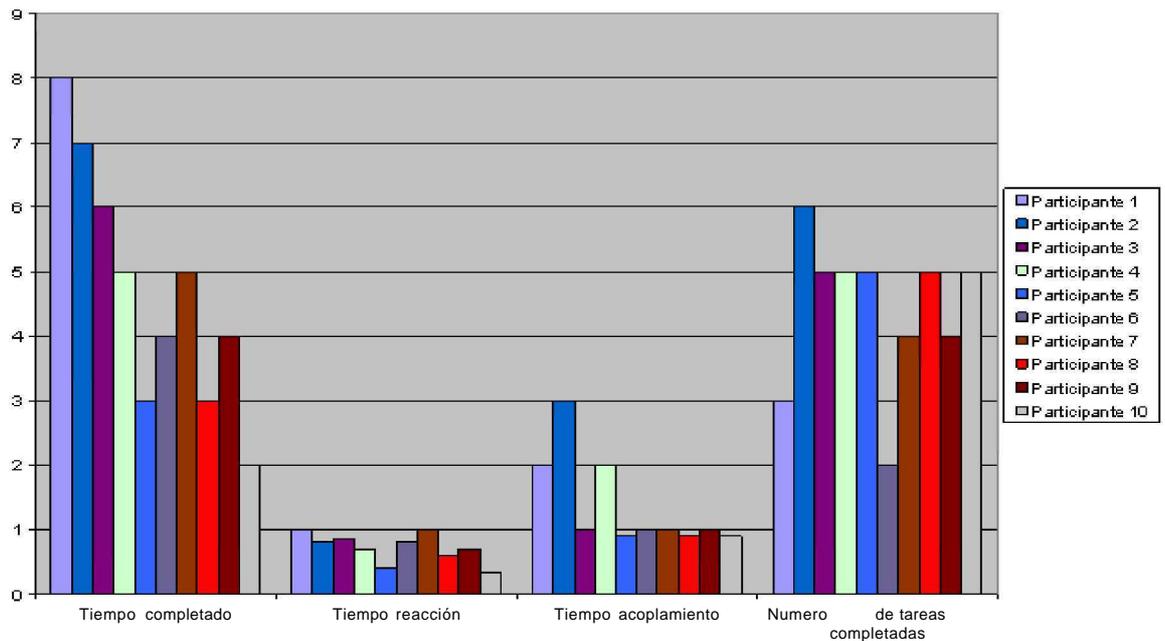


Figura 15: COMPARATIVA 1 RESULTADOS CARTAS.

En el gráfico anterior se comparan la adaptabilidad del juego virtual contra el juego real ,en cuatro usuarios escogidos al azar, para obtener estos valores sumamos el tiempo de acoplamiento y el tiempo de reacción y obtuvimos el radio entre el tiempo completado y se comparó con el tiempo del juego normal utilizando partidas donde el jugador obtuvo el mismo número de tareas completadas.

Muchos esfuerzos se han hecho para mejorar la interacción en aplicaciones de realidad virtual y aumentada usando elementos táctiles para crear una unión entre los objetos virtuales y las acciones del usuario. También es importante agregar colaboración, expandiendo la interacción de un solo usuario a una conexión de múltiples entidades.

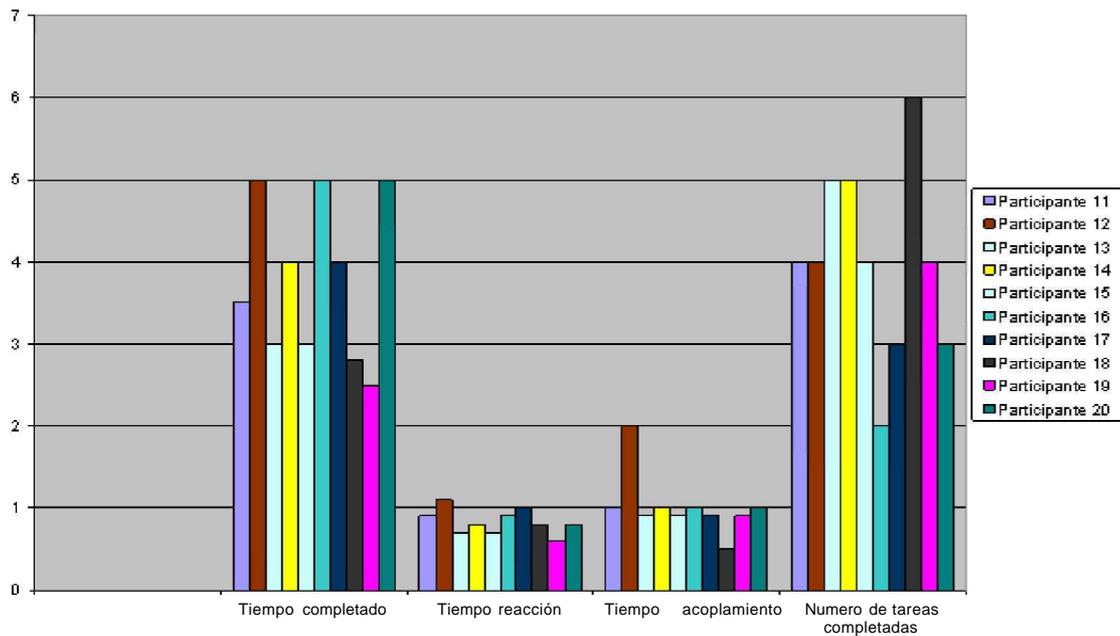


Figura 16: COMPARATIVA 2 RESULTADOS CARTAS.

A continuación describiremos a detalle el juego de cartas virtual para múltiples usuarios basado en un ambiente en red colaborativo. Este juego es una aplicación de realidad aumentada en red que usa un dispositivo tangible muy económico como punto de interacción con el usuario. Puede ser empleado en casas, museos o escuelas. Este juego es fácil de implementar y capaz de soportar varios usuarios remotos en un sistema distribuido. Construimos dos dispositivos para voltear cartas de forma que pudiéramos mostrar resultados experimentales completos con dos computadoras y sus correspondientes interfases de hardware.

Los juegos colaborativos que usan interfases tangibles como unión entre la computadora y el humano con objetos mejorados por computadora, tratan de expandir las capacidades del usuario dentro del ambiente virtual a través de comunicación por Internet.

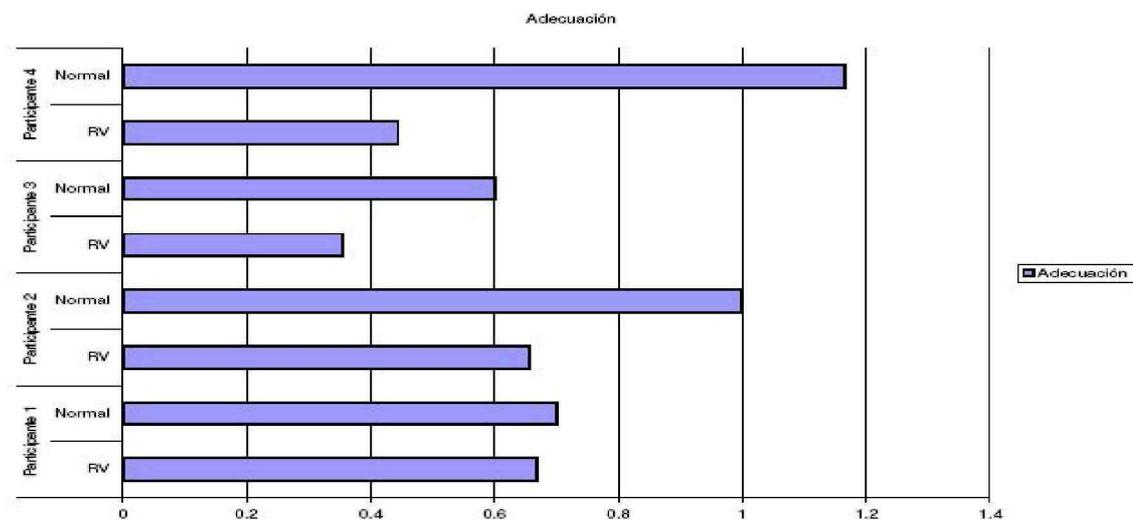


Figura 17: COMPARATIVA ADECUACIÓN.

Los juegos de realidad virtual deben transmitir adecuadamente la relación causa-efecto relacionada a la presencia, acción y evolución de cada elemento. La interacción debe ser clara, de forma que se base en componentes auto-explicativos y debe crear la ilusión de que el lugar donde las acciones son llevadas a cabo es el mundo virtual. El éxito de un juego que tiene interacción entre usuarios depende en gran medida de la velocidad del sistema de comunicación, la robustez y la correcta repetición de eventos para cada jugador en el juego.

Existen varias personas que ya se encuentran trabajando en sistemas colaborativos de realidad aumentada como [37, 38]. La idea principal en este tipo de sistemas es permitir que múltiples usuarios interactúen en un mismo ambiente aumentado. Otros ejemplos de sistemas colaborativos de realidad aumentada usados para diferentes juegos son [39, 40], donde el primero usa pantallas montadas en la cabeza (Head Mounted Displays) y el último usa la pantalla de un teléfono celular, para simular un juego de Tenis [40], este sistema fue desarrollado usando un conjunto de herramientas de realidad aumentada adaptado para teléfonos celulares. En este juego, el campo es real y la pelota es virtual, el teléfono celular es empleado para golpear la pelota. Uno de los teléfonos es el servidor del juego y el otro se conecta al primero como un cliente.

Sin embargo la mayor parte de los ejemplos citados anteriormente usan colaboración cara a cara. Esto significa que los usuarios se encuentran en el mismo ambiente físico, así que no se trata de una colaboración remota. Por otro lado existen muchos ambientes virtuales en red o colaborativos que permiten a múltiples usuarios interactuar y comunicarse en un ambiente virtual común, sin importar la localización geográfica de los usuarios. En otras palabras un Ambiente Virtual en Red es un Ambiente Simulado en 3D para múltiples usuarios donde todos se encuentran ejecutando el mismo software en su computadora, todos se encuentran en el mismo mundo virtual, todos los usuarios pueden colaborar en una o varias tareas y cada participante puede observar la región que elijan del mundo.

En este trabajo creamos un juego de cartas de realidad aumentada por red. La aplicación fue desarrollada en base a un ambiente virtual colaborativo multiplataforma y distribuido con la capacidad de mezclar video real con el ambiente simulado. Cada usuario interactúa físicamente con su propia interfase humano-computadora e interactúa virtualmente a través del mundo simulado colaborativo con otros usuarios remotos, sintiendo como si todos jugaran en el mismo lugar. Las personas alrededor del mundo cada día tienen menos tiempo de interactuar físicamente unas con otras; lo que intentan lograr los juegos multi-usuario es proveer a las personas de un espacio seguro donde se pueda interaccionar con otros y ser libre para expresarse. El juego de cartas de Memoria es un juego típico que puede ser jugado por una o mas personas, es simple pero disfrutable y funciona como un buen ejercicio para el cerebro.

En nuestro juego de cartas construimos una robusta aplicación que se adapte al presupuesto de todos los usuarios potenciales al hacer los componentes de la interfase humano-maquina lo más económicos posible y manteniendo modularidad. La PC usada por cada participante puede tener desde Windows 98 con Pentium II a 1.2 GHz hasta Linux con doble procesador, cada uno a 3.6GHZ, sin dar ventaja a aquellos con una máquina más veloz.

## **A.2 Descripción del juego**

Usamos un conjunto de cartas, que al ser volteadas, alteran el mundo virtual en un juego de memoria. Cada usuario cuenta con un tablero real con un conjunto de cartas, conectado a la computadora. El conjunto de cartas se coloca al frente del usuario, cada una con un dispositivo sensor integrado que permite a la aplicación saber cuando el usuario ha volteado cada carta. Al voltear cada carta, su correspondiente imagen es desplegada, representado un modelo 3D en el tablero virtual. El modelo 3D puede ser visualizado por todos los participantes en sus respectivas computadoras.

El propósito del juego es formar parejas de cartas que contengan modelos iguales. Varios usuarios pueden jugar, cada uno tiene un turno. En el turno de cada participante, dos cartas deben ser volteadas para ver el modelo 3D que les corresponde. Si ambos modelos son iguales el jugador obtiene un punto; si no, el usuario deberá regresar ambas cartas a su posición original para esconder los modelos. El siguiente participante tendrá la misma oportunidad de voltear dos cartas, tratando de recordar en que posición ha visto modelos iguales para obtener parejas. El juego termina cuando todas las parejas de modelos son encontradas y gana el jugador que haya obtenido más puntos a lo largo de la partida. Cada vez que el juego inicia, la aplicación asigna de forma aleatoria la posición de los modelos ocultos en las cartas.

## **A.3 La Interfase**

Queríamos usar una interfase que permitiera que la mayor cantidad posible de usuarios interactuaran remotamente. Por lo tanto necesitábamos de una plataforma simple, confiable y de bajo costo. El propósito principal del juego es descubrir los pares de modelos ocultos en las cartas, por lo que la interfase también debía permitirnos detectar el movimiento del usuario y cuando cada carta fuera volteada.

Este tipo de juegos puede proveer una experiencia muy completa, uniendo las sensaciones de los usuarios en un mismo ambiente. Interactuar en el mismo espacio es una de las características y motivaciones más

grandes en este trabajo. Estos portales interactivos [41] a través de la Internet conforman una aplicación de realidad aumentada muy completa que llega hasta los límites de la realidad aumentada colaborativa en red.

#### **A.4 Construyendo la Interfase**

Decidimos usar switches de efecto hall para sensor cuando las cartas eran volteadas. También empleamos una cámara, pero no quisimos emplearla en la detección de los cambios en el sentido de las cartas porque habríamos usado marcadores para identificar las cartas dentro de la imagen, lo que podría ser usado por los jugadores para recordar más fácilmente la posición de los modelos. Además, requerimos que la interfase reaccione instantáneamente a las acciones del usuario ya que también necesitamos reportar los cambios a todos los demás jugadores y el tiempo de respuesta es un factor clave en este tipo de aplicaciones.

La tecnología de efecto hall nos permite conocer las características de un campo magnético, entre ellas su intensidad, polaridad y dirección. En este caso en particular, solamente empleamos un switch de efecto hall que reaccione cuando un campo magnético de una polaridad dada se encuentre muy cerca (en este caso polaridad sur).

Los switches de efecto hall de INFINEON 3240 y 921 son dispositivos muy estables ante los cambios de temperatura y están diseñados para realizar cambios muy rápidos. Tienen su propio regulador y estabilización por corte, así que pueden operar desde 4.2 hasta 24 Volts de alimentación. Cada switch opera dando una salida baja de colector abierto cuando un campo magnético que se encuentra perpendicular al sensor Hall excede el umbral del punto de operación y consume alrededor de 25mA. En nuestra aplicación hay un switch de efecto hall para cada carta en el tablero; así mismo las cartas están construidas de dos capas de material impreso entre las cuales se coloca un imán. Usualmente las aplicaciones que emplean imanes deben considerar interferencias externas por las características del ambiente, sin embargo en nuestra aplicación no tenemos este problema ya que los switches de efecto hall son sensibles solamente a campos magnéticos muy cercanos

a ellos. Es posible construir tableros de cartas con un arreglo de sensores más grande dependiendo de las capacidades del microcontrolador empleado. En este experimento empleamos un arreglo de 3 por 3 cartas, obteniendo un total de 9, con cuatro pares y una carta sin par. El diseño electrónico es simple y repetible para extender las capacidades de juego. Inicialmente usamos una configuración de switches de dos polos dos tiros, sin embargo obtuvimos una versión más simplificada y eficiente en el consumo de corriente con una configuración que emplea switches de dos polos un tiro. Así mismo perfeccionamos la programación del microcontrolador y finalmente obtuvimos una interfase que cuesta alrededor de los \$35 USD y que puede ser migrada a un sistema que cueste alrededor de los \$15 USD si cambiamos a un microcontrolador programable solamente una vez, adecuado para producción pero no para experimentación.

Usamos una conexión USB para conectar el panel de cartas interactivo a la PC, pero emulamos un puerto serial y empleamos las librerías de comunicaciones de JAVA comm API. Las ventajas de emplear JAVA comm es que nos permite migrar de forma transparente de un sistema operativo a otro. Para que la interacción se lleve a cabo correctamente capturamos datos de nuestra interfase física a 2400 bauds y nuestro microcontrolador envía reportes de cambios cada 1.5ms a la memoria intermedia de comunicaciones, para que las lecturas de USB sean realizadas prácticamente en tiempo real y la información es replicada al resto de los participantes.

## **A.5 Disponiendo las capacidades colaborativas del ambiente**

Ya que queríamos lograr que múltiples usuarios interactuaran y jugarán en el mismo ambiente, integramos la interfase descrita anteriormente a un ambiente virtual colaborativo. Así, cada usuario tiene un tablero con cartas conectado a su computadora y esto es visto como un dispositivo de entrada para el ambiente colaborativo. El ambiente colaborativo que empleamos en esta aplicación está basado en una Arquitectura de Realidad Aumentada Distribuida Orientada a Objetos (OODVR#). OODVR# está diseñada para correr aplicaciones de realidad virtual en un sistema de simulación visual distribuida. El original OODVR#

fue diseñado e implementado para diversas aplicaciones de robótica, especialmente para la enseñanza remota. Esta arquitectura es distribuida, modular y multi-plataforma, por lo que fuimos capaces de integrar nuestro juego de memoria en ella. Bajo nuestro conocimiento, esta es la primera aplicación de realidad aumentada con estas características. La arquitectura fue implementada en Java, usando Java RMI (Invocación a Métodos Remotos) y sockets para la comunicación, JMF (Java Media Framework) para la captura de video, Java 3D para generar los modelos 3D en el ambiente virtual y Java comm para la comunicación con la interfase humano-computadora. Esto nos permitió generar una aplicación multiplataformas que corre en diferentes sistemas operativos.

OODVR# está compuesto por entidades y participantes. Un participante es una nueva instancia del software corriendo en una computadora conectada a la red, usualmente cada participante representa a un usuario. Las entidades son en resto de los objetos que forman el ambiente virtual. la arquitectura está diseñada para tener múltiples entidades en un ambiente virtual distribuido dónde una visualización total puede ser lograda por cada participante en su respectiva computadora. Esto significa que no hay necesidad de tener un servidor central y el sistema no detiene su operación si un participante se desconecta. Cada participante puede agregar una o varias entidades al ambiente.

Para cada entidad existe una copia local y varias entidades remotas denominadas proxies. Una entidad proxy se encarga de generar el objeto virtual que representa a la entidad local. La entidad local se encuentra solamente en el participante que insertó la entidad en el mundo virtual. Para cada participante existe una entidad proxy, incluso en el participante que tiene uno local. Si un participante que tiene solamente una entidad proxy quiere iniciar un movimiento, el proxy le comunica este cambio a la entidad local correspondiente la cual se encarga de iniciar el movimiento en el resto de los proxies.

En el caso de nuestro juego de cartas, cada carta es una entidad, y cuando un usuario gira una de las cartas, el modelo correspondiente a la carta en el mundo virtual también cambia y aparece el modelo 3D asociado a la carta. Cuando un usuario esconde un modelo, todos los participantes también observan al modelo desaparecer. En el sistema

original existía la capacidad de transmitir video de una terminal a las demás computadoras conectadas a la red. En este caso modificamos esta característica para emplear el video capturado en cada computadora como el fondo del tablero virtual. Para observar a detalle la implementación de la arquitectura consultar [42, 43].

## A.6 Resultados Experimentales

Probamos nuestro juego con dos participantes en dos computadoras con su correspondiente interfase humano-computadora. Sin embargo, este juego es escalable y puede ser jugado por múltiples usuarios, dependiendo de la velocidad de la red y los recursos disponibles. A continuación podemos ver en las siguientes imágenes 18 y 19 que muestra cuando un usuario ha volteado dos cartas. Podemos ver los dos modelos en el ambiente virtual mostrados en ambas computadoras.

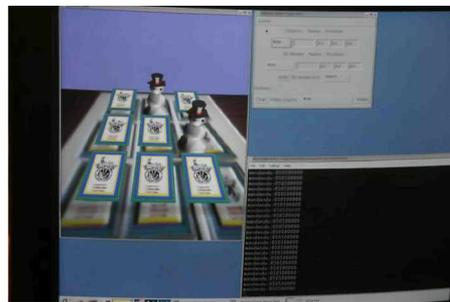


Figura 18: Entorno Virtual.



Figura 19: Interacción con las cartas.

## **2.2. Aumento de la inmersibilidad con elementos múltiples táctiles**

El tacto como hemos mencionado es el más complejo de los sentidos y para poder adentrarnos en la manera en la que se perciben los datos por medio de esta interfase entre la piel y percepción del usuario es necesario explorar una gama amplia de sensaciones a través de la piel. Presión, humedad, temperatura son los fenómenos sensibles por el sentido del tacto más sobresalientes de esta manera utilizando la experiencia previa con interfases táctiles quisimos mejorar los resultados obtenidos investigando la manera en la que afecta la temperatura y humedad a la experiencia inmersiva. El objetivo principal en esta aplicación era el de probar que al combinar múltiples elementos de sensación táctil se podía mejorar la sensación de proximidad al ambiente virtual.

### **Trabajo Experimental B**

A continuación describiremos nuestro trabajo realizado en una obra de arte virtual detallada en el artículo: "**Water, temperature, and proximity sensing for a mixed reality art installation**".

#### **B.1 Descripción general**

Fluids es una obra de arte con realidad mixta que explora las relaciones más cercanas entre lo real y lo virtual. Diariamente interactuamos con dos mundos: nuestro entorno físico y el espacio virtual. En este proyecto diseñamos mecanismos para realizar una navegación sutil y transparente entre y dentro de los diferentes ambientes que presenta la obra. Diseñamos la instalación y los espacios para tomar ventaja de alternativas de bajo costo, accesibles y factibles al día de hoy. Fluids es una obra que mezcla la realidad con la virtualidad empleando agua y aire como interfases. Las interfases de realidad mixta y elementos tangibles han sido propuestas como una forma de cerrar las brechas entre átomos y bits. Nuestra propuesta pretende integrar ambos mundos empleando ondas en el agua y la temperatura del aire como medios de navegación para el usuario.

Creemos que esta propuesta, fuera de aproximarse a lo puramente visual o usar elementos sólidos como puntos de comunicación, es mucho más avanzado ya que combina las experiencias del usuario con lo sensorial resultando en una opción con un futuro muy prometedor como interfase. Cuando interaccionamos con agua percibimos el flujo, textura, temperatura y sonido. El agua permite desarrollar altos grados de inmersión cuando es empleada como una interfase ya que involucra múltiples sentidos. Al involucrar el agua estamos transformado el desértico mundo de los bits en un húmedo y vivido lugar más parecido al mundo real. Al respirar interactuamos muy de cerca con nuestro ambiente. Empleando la respiración del usuario pretendemos dejar atrás el uso de chalecos y artefactos que porten los usuarios; al respirar y medir la temperatura del aire con un tipo de micrófono, el usuario se vuelve uno con el ambiente virtual ya que un proceso biológico natural se vuelve parte de la obra y un medio de navegación e interacción.

## **B.2 La Interfase**

El sentido del tacto es muy complejo ya que incluye presión, temperatura y háptica. Las aplicaciones que usan estos aspectos del sentido son poderosas en la forma de crear uniones ilusorias entre lo que el usuario ve y lo que el usuario puede tocar. Estas referencias táctiles expanden la imaginación del usuario. Al ver cambios y sentir la naturaleza como medio de comunicación es una excelente forma de lograr retroalimentación y se vuelve una interfase muy efectiva. En el caso de tocar el agua, no solamente el estado líquido del agua afecta la percepción del usuario si no también su temperatura, presión, cantidad, sonido y movimiento. En nuestra aplicación un sensor de ondas está adherido a la parte superior de un receptáculo lleno de agua es usado como medio de control sobre la física que describe el agua en un estanque virtual. Este sensor de ondas es un dispositivo diferencial que responde a las alteraciones generadas sobre la superficie del agua y genera una frecuencia proporcional a la amplitud de las ondas producidas en el agua, lo cual se logra con un oscilador retroalimentado a una cierta frecuencia envuelto en un ciclo dependiente de la emisión y recepción de luz que rebota sobre la superficie del agua. Debido a la naturaleza de la dispersión de la luz, la respuesta de este dispositivo no es lineal.

Para obtener esta respuesta, primeramente empleamos un sensor óptico infrarrojo y un emisor con una longitud de onda de alrededor de los 960nm. El uso de este diseño sin embargo, presentó algunas desventajas:

- Algunos emisores de luz de uso común emiten luz infrarroja y causan interferencia con el sistema. Esto no es un problema durante el funcionamiento común pero inhabilita al sistema para que funcione ante cámaras y sistemas multimedia.
- El agua absorbe parte de la luz infrarroja emitida, lo cual hace más difícil la detección de los rebotes de luz.
- Usar solamente un receptor imposibilitaba la captura de toda la luz rebotada debido a la apertura del ángulo de reflexión.

Este sistema fue probado y mejorado de la siguiente forma:

- Se cambió el tipo de luz de infrarroja a azul, la cual ya no es absorbida por el agua.
- Se mejoró el sistema de emisión y recepción de luz teniendo dos receptores a ambos lados del emisor de luz.
- Definimos y restringimos el camino de la luz usando una pieza plástica para asegurar una mejor lectura y evitar interferencias.
- Usamos cable coaxial para asegurar una mejor conectividad.

El diagrama de funcionamiento del sistema mejorado se puede ver a continuación en la imagen 20.

El otro fluido explorado en esta obra es el aire, en particular estudiamos los sutiles efectos que trae la respiración sobre el aire. Primeramente usamos dispositivos piezoeléctricos pero creímos que esta obra requería de la detección de la respiración y no de un soplido. Las alteraciones sufridas por el ambiente virtual ante la presencia de sonidos muy fuertes era muy interesante pero no lo deseado. Así que en vez de usar un micrófono desarrollamos un elemento sensible a la respiración pero inmutable ante el sonido y las vibraciones. Este sensor se basa en la medición de temperatura, y para evitar la calibración se empleó un sensor adicional de temperatura en el interior de la caja central.

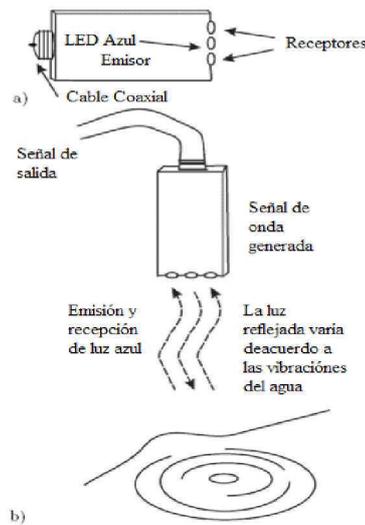


Figura 20: Diagrama funcional del sensor de ondas.

### B.3 Sistema de navegación

La navegación en el sistema es intuitiva y simple, de forma tal que provee interacción sin necesidad de explicar un procedimiento al usuario. Es modular e independiente del sistema de detección de ondas en el agua. Cuatro sensores de proximidad (sensores de capacitancia reflejada) son usados para interpretar los movimientos del usuario dentro del área proyectada sobre el receptáculo de agua y generan información de navegación. Cuando el sensor del frente detecta que el usuario está cerca de tocarlo, la cámara del mundo virtual se mueve hacia el frente. Los otros tres sensores funcionan de la misma manera.

La obra en su totalidad se constituye de la siguiente forma: cuatro sensores de ondas colocados en las esquinas del receptáculo de agua son conectados por medio de un cable coaxial a un módulo central que contiene la electrónica de control sobre el dispositivo y permite la navegación. Así mismo cuatro sensores de proximidad son colocados en la parte exterior del receptáculo para permitir la navegación y son independientes de los sensores de ondas. El módulo central, que concentra las señales de los 8 sensores, se conecta con una computadora por

medio de un cable USB. Finalmente el sistema de detección de temperatura en el aire, unido a unos lentes 3D polarizados es conectado a la computadora directamente por una entrada de audio.



Figura 21: Sensores de ondas y módulo central.

Un económico sistema tipo Geowall de proyección estéreo pasiva que involucra 2 proyectores DLP, una tarjeta para PC de poco costo con 2 salidas, lentes y filtros de polarización circular y una pantalla de plata de 2m x 1.5m fueron montados para la exhibición de la obra.



Figura 22: Previsualización de la instalación y versión final.

#### **B.4 Escenarios**

La obra puede exhibir tres ambientes, el primero consiste en una región de una ciudad nevada, con un edificio. En este ambiente la respiración del usuario controla la velocidad con la que cae la nieve y el sistema de navegación permite la exploración libre, pero cuando se entra al edificio se proyecta el siguiente escenario. Aquí el sensor de agua no es usado. (Figura 23a)

El segundo escenario consiste en un terreno y montañas que no existen en la realidad. En el centro se encuentra un lago rodeado de plantas. Cuando el usuario toca el agua en el receptáculo de la interfase, el agua

en el lago se mueve. La respiración del usuario controla la velocidad de movimiento de las plantas alrededor del lago y cambia los colores de éste último. (Figura 23b)

El tercer escenario consiste en un paisaje formado por gráficas matemáticas. Un ambiente abierto que consiste en un lago y una gran extensión de tierra estéril a lo que le da vida un río y las sombras de las nubes. El sensor de ondas de agua altera el flujo y velocidad del caudal del río, mientras que la respiración del usuario altera la velocidad con la que se mueven las nubes.

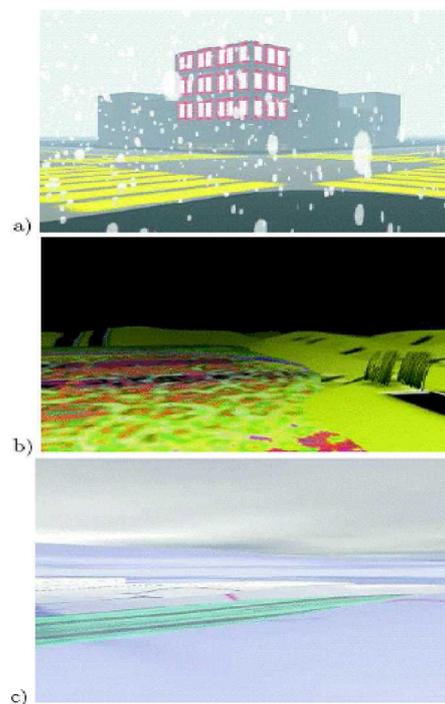


Figura 23: Escenarios de Ciudad Nevada, Lago y Río Nublado.

## B.5 Resultados

La siguiente imagen (24 es una muestra de un video tomado para su transmisión en televisión en un reportaje acerca de la obra.

En esta se muestra una secuencia que demuestra interacción en el escenario con nieve.



Figura 24: Interacción con la ciudad nevada.

Al público le encantó la obra. Los usuarios de todas las edades y antecedentes la denominaron como interactiva en una forma muy noble. La proyección stereo aumentó el efecto inmersivo de forma dramática pero el punto más importante de la obra fueron las interfases.

Exhibir la obra nos permitió observar la interfase en acción con diversos grupos de personas. Esta observación nos deja mejorar la obra para futuras exhibiciones y le da relevancia a nuestra investigación. Las reacciones del público fueron recibidas usando métodos informales y observación de las respuestas generadas durante el uso de la interfase ya que los cuestionarios y entrevistas limitan la expresión del usuario al tratar de definir la experiencia con palabras.

## **2.3. Aumento de la inmersibilidad en base a la percepción**

### **Trabajo Experimental C 2.3.1. Diseño**

En el artículo: "**Object, function, action for tangible interface design**[33]" se resume nuestro trabajo más prominente en el diseño de interfases orientadas al usuario con base perceptiva. Aquí realizamos una catalogación entre interfases directas, indirectas y por referencia.

#### **C.1 Descripción general**

Actualmente es posible transformar casi cualquier cosa en una interfase. Sin embargo lo que uno debe hacer es explorar las necesidades y la perspectiva del usuario para poder crear las metáforas necesarias para mejorar la interacción. A continuación describimos patrones usados para el diseño de interfaces en múltiples aplicaciones que involucran elementos táctiles y virtuales. Las interfases fueron probadas en diferentes contextos que alteran las reacciones del usuario.

A continuación describimos aspectos de las interfaces táctiles que pueden servir como un medio para clasificar interfases de acuerdo con el tipo de interacción usada. En todas se emplean objetos reales como intermediarios para transmitir acciones por parte del usuario al mundo real, pero la interacción es diferente entre ellas:

- Táctil: Tocar un elemento real para afectar entidades virtuales en una pantalla.
- Indirecta: Adquirir la función de otra entidad en el mundo real, alterando de forma diferente un objeto real para impersonar a la entidad real en el mundo virtual.
- Directa: Usar de forma normal objetos reales que afectan de la misma forma entidades equivalentes en el mundo virtual.
- Referencia Virtual: Simular virtualmente acciones que entidades reales no tienen y usarlas para comunicarlas con otras entidades reales.

## Interfases táctiles

En esta sección encontramos el ejemplo de Fluids, una aplicación multisensorial e interactiva que ya fue descrita en párrafos anteriores. El resultado de implementar una interfase táctil compleja como la descrita en Fluids, es una compleja referencia de acción que le permite al usuario sentirse libre, abandonar restricciones e integrarse al entorno virtual 25.

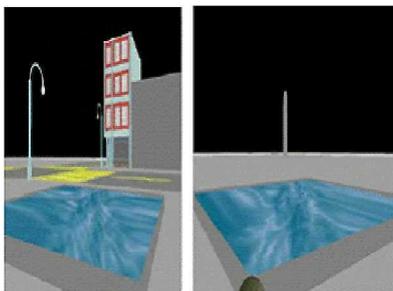


Figura 25: Estanque virtual.

Durante una presentación de la obra en la conferencia ISMAR03, se obtuvo retroalimentación de los usuarios mediante la cual se generó la gráfica mostrada en la Figura 26.

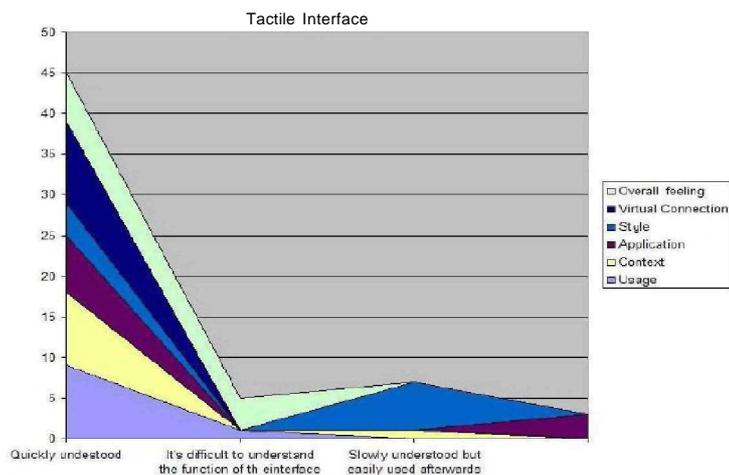


Figura 26: Retroalimentación de los usuarios.

## Interfases Indirectas

El uso de referencias dentro del diseño de la interfase es útil para construir una aplicación coherente con la forma en la que el usuario interactúa naturalmente con los objetos. Sin embargo en estas aplicaciones al usuario se le pide interactuar con entidades reales de forma totalmente diferente a como lo haría en su estado natural. De esta forma se logra que el usuario impersone virtualmente a una entidad real. En esta sección tenemos como ejemplo una aplicación en la que el usuario impersona al viento, soplando a la representación de un árbol real y modificando la intensidad del viento que mueve a un árbol en un ambiente totalmente virtual.



Figura 27: Árbol real (izquierda) y árbol virtual (derecha).

El usuario, al soplar a un objeto intermedio el cual en nuestro caso es un micrófono con forma de árbol, puede interactuar con el árbol real haciendo que se mueva como él o ella guste. El micrófono está disfrazado de árbol para mantener una concordancia visual entre lo real y lo virtual y para permitirle al usuario tomar el papel del viento en un plano conceptual más alto. En ese mundo virtual, se mantienen las leyes físicas normales pero las fuerzas que induce el usuario al soplar se aplican también. Altas y bajas frecuencias son separadas para crear los movimientos en los diferentes niveles de las ramas y en el tronco para obtener un comportamiento más natural.

Esta aplicación es un sencillo ejemplo de interacción con una entidad virtual en un plano conceptual mayor. Su implementación se logró usan-

do una pieza piezoeléctrica adherida a un arreglo libre de tiras de acero que simulan las ramas del árbol. Las vibraciones causadas cuando el usuario sopla se transmiten por las ramas y llegan a la base donde son registradas en forma similar a la que el sonido es capturado por un micrófono. El movimiento del árbol es calculado al agregar al viento simulado en la aplicación el ruido creado por la frecuencia resultante en la señal del circuito de captura relacionando duración y fuerza de las vibraciones.



Figura 28: Árbol sensor.

Las reacciones de los usuarios ante esta aplicación se vieron reflejadas durante el uso y la retroalimentación informal que obtuvimos. El usuario comúnmente soplab a al árbol real y esperaba ver una respuesta fuerte por parte del árbol virtual, sin embargo al ver una respuesta suave y lenta el usuario solía tocar y mover el árbol sensor con la mano. Esto nos indica que algunas veces ante las interfases indirectas el usuario tiene dificultades para impersonar a la entidad virtual ya que no corresponde a su actuar natural. También nos hace pensar que la respuesta del árbol real y el virtual no estaba del todo bien asociada y generaba cierta insensibilidad a la respuesta por parte del usuario.

### **Interfases Directas**

Tocar, mover y descubrir el funcionamiento de los objetos a nuestro alrededor es importante en los juegos virtuales. En juegos de realidad aumentada es importante incluir algo extra que mejore la experiencia y nos presente algo más allá de lo real.

En esta sección encontramos como ejemplo el juego de memoria descrito previamente en la sección A. Este tipo de aplicación relaciona entidades equivalentes en el mundo real y el virtual, motivando en el usuario la interacción completa con la interfase real y el ambiente virtual generado.

### **Interfases por Referencia Virtual**

Este tipo de interfase une objetos reales por medios virtuales mediante una nueva acción en el mundo virtual. No existe una representación gráfica para el mundo virtual pero este espacio provee a las entidades reales de atributos diferentes que le sirven para interactuar de formas nuevas con otras entidades reales. En esta sección podemos encontrar el ejemplo de una planta la cual tiene un sensor de humedad colocado en su maceta. Por software se determina cuando la humedad en la maceta es baja y por lo tanto la planta necesita ser regada. Como consecuencia se envía un e-mail a un usuario o a una lista de usuarios. En este caso una planta real es usada como una referencia virtual para enviar un correo electrónico. Así mismo la planta puede interactuar con los usuarios humanos en una forma totalmente diferente.

En la siguiente figura 29 podemos ver la implementación de la planta real conectada a una PC que envía los correos electrónicos. El sistema envía uno o varios mensajes indicando que su reserva de agua se termina. Desde este punto de vista, el potencial de aplicación de este sistema crece y puede llegar hasta los límites del arte conceptual.

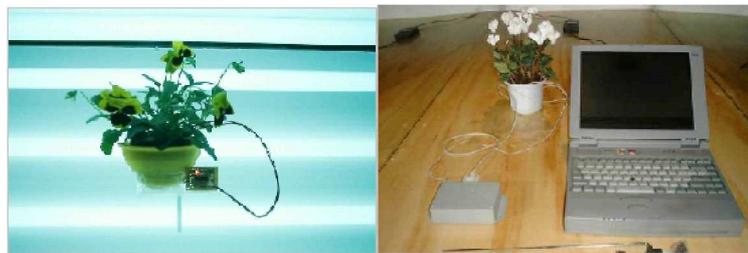


Figura 29: Planta conectada a PC y sensor de humedad.

En respuesta a la implementación de esta aplicación en varias galerías de arte llegamos a las siguientes conclusiones:

- La interacción diaria de los usuarios con los servicios de correo provocó que la pantalla usada para desplegar los mensajes pasara desapercibida por la mayoría de los usuarios.
- El amor y cariño de la planta sobrepasan las barreras que implican aún las computadoras.
- Esta aplicación atrae a muchas personas que generalmente se mantienen al margen de innovaciones tecnológicas y científicas. No existe un abuso de elementos gráficos e imágenes virtuales.
- El usuario, al integrarse a la comunicación, genera una imagen mental de la planta la cual no es restringida ni condicionada por una representación virtual de la misma.

La aplicación fue implementada usando un sensor de humedad muy simple y una caja negra que interpreta los estados detectados en la planta.

Esta obra fue presentada en varias exposiciones y galerías:

- a) Un festival de arte en la Ciudad de México (Marzo 19, 2003)
- b) Una galería de arte en la Ciudad de México (Septiembre 12, 2003)
- c) Una exhibición por red con la planta en la Ciudad de México y una Terminal de recepción en una galería de Bogotá (Noviembre 21, 2003)
- d) La casa de cultura del gobierno de la Ciudad de México (Diciembre 3, 2003 - Enero 20, 2004)

Mediante el uso de retroalimentación informal pudimos ver que todos los participantes se sorprendieron mucho con esta aplicación. La mayoría nos pedía incluir sus correos electrónicos en cuanto se les explicaba el funcionamiento. Los usuarios reaccionaron a la unión y cariño virtual que expresaba la planta por medio de los mensajes electrónicos. Usuarios que tenían conocimiento sobre el arte virtual actuaron más intelectualmente pero todos se relacionaron emocionalmente con la planta.

En este trabajo pudimos observar que interfases basadas en diferentes tipos de interacción se adecuan a las diferentes aplicaciones, alcances, exigencias, límites y potencial de entornos virtuales diversos. Para mejorar la interacción entre las personas y los ambientes virtuales o aplicaciones de realidad aumentada necesitamos romper las barreras que evitan que el usuario experimente sensaciones cercanas a la realidad.

### 2.3.2. Trabajo experimental y diseño con arte

Con la idea del arte transmisora primaria de sensaciones y sentimientos, una etapa lógica era mezclar arte con realidad virtual para poder llevar emoción al mundo virtual.

La imaginación y la creatividad siempre han marcado la pauta en el mundo de la estética; los artistas y diseñadoras, así como otros individuos creativos han encontrado en el mundo de la computación un nuevo lienzo dónde las ilusiones se vuelven realidad, donde se pueden diseñar y explorar nuevos mundos y dónde la imaginación puede superar el control de las leyes de la física. En este ámbito, uno puede hablar del *caber-arte*: éste es un concepto que evoluciona con gran velocidad e involucra la creación de espacios interactivos. Estos espacios, por definición, necesitan de una forma para hacer que el usuario se vuelva parte de la obra de arte, siendo capaces de alterarla en el tiempo. Las técnicas comúnmente usadas para el diseño de interfases humano-computadora no siempre son aplicables a las aplicaciones de arte, ya que cada instalación es única y refleja el punto de vista del autor. A continuación detallaremos los patrones de diseño empleados en la obra de arte *Fluids* la cual ya fue explicada anteriormente.

En las aplicaciones tradicionales de realidad virtual el problema a resolver usualmente está orientado a tareas. En aplicaciones de realidad virtual en usuario se conecta con el mundo virtual de forma directa, apoyándose siempre en los efectos visuales pero difícilmente ponen atención en el diseño de un mundo virtual en particular. En este caso, el diseño de la interfase humano-computadora está centrado en optimizar la eficiencia y usabilidad de la interfase desde un punto de vista puramente operativo.

Las interfases tangibles y de realidad mixta han sido propuestas para llenar los espacios entre los mundos virtuales y lo tangible, el mundo físico. Trabajo muy interesante ha sido desarrollado por Ishii[44], usando interfases tangibles para mejorar la interacción. Sus aplicaciones están orientadas a mejorar la interacción al incorporar los conceptos de bits y átomos tangibles. La idea principal en el trabajo de Ishii es mejorar la interacción por medio de lo tangible.

El sentido del tacto es uno de los primeros que usamos para explorar el mundo y la piel es el órgano más desarrollado de nuestro cuerpo ya que nos permite detectar texturas, temperatura, patrones entre otros. Si usamos elementos tangibles para relacionar los objetos virtuales con las acciones que deberían ser capaces de realizar por analogía, al tocar el dispositivo real podremos conectar la interpretación virtual con las acciones del usuario. Ishii [44] emplea elementos naturales como arena, aire y agua para reforzar la comunicación entre el usuario y el sistema, desarrollando una aproximación por medio de elementos naturales a las interfases humano-computadora.

Existen aplicaciones orientadas a acciones que explotan las relaciones entre objetos funcionales y cómo es que las acciones del usuario los afectan, mejorando la comunicación al representar cada elemento virtual con uno real. Este tipo de interacción puede ser empleado en aplicaciones que usan diferentes elementos para mejorar habilidades y enseñar técnicas con la ayuda de referencias virtuales.

La interacción y realidad virtual vistas desde el punto de vista de las aplicaciones de arte pueden explorar formas más sutiles de incluir al usuario dentro del mundo virtual. Por ejemplo, el trabajo de marcas hecho por Char Davies[45] en arte virtual explota las capacidades inmersivas de los ambientes virtuales para crear un cyber mundo navegado a través de la respiración, empleando equipo de buceo como elemento interactivo. Es claro que los elementos interactivos en esta obra de arte tuvieron que ser diseñados específicamente para los requerimientos de la pieza. En general podemos clasificar a las interfases humano-computadora de la siguiente forma:

- Interfase de aplicación: usada puramente en aplicaciones orientadas a tareas.
- Interfase de realidad virtual tradicional: siguen patrones usualmente visuales.
- Interfase de realidad mixta: usan objetos reales pero se enfocan en la representación de los datos.
- Interfaces tangibles: cuentan con objetos mejorados computacionalmente.

- Interfase de arte específica: representan un reto ya que pretenden incorporar las capacidades naturales del ser humano logrando así una compatibilidad completa entre la tecnología y una expresión artística.

Durante el desarrollo de interfases, una de las preocupaciones principales del diseñador es que la forma física del medio interactivo sea apropiada para la aplicación. En la realidad virtual y el cyber-arte a la imaginación se le da forma y se vuelve tangible. Los artistas luchan por incorporar las piezas de arte a la perspectiva de los espectadores para lograr la ilusión de que los observadores se encuentran inmersos en el espacio de la obra.

Como diseñadores de realidad virtual, tenemos disponibles muchos elementos que pueden ayudar al artista a crear una ilusión: la visión abstracta del artista en conjunto con la imaginación del usuario y los elementos palpables de la realidad que se vuelven medios de interacción, permitiendo al concepto del artista volverse realidad. Todos estos elementos deben ser manejados cuidadosamente a fin de crear el efecto de inmersión el cual solamente es alcanzado cuando existe un equilibrio entre todos los elementos previamente citados.

La inmersión, desde el punto de vista del artista, está centrada en experiencias que involucran uno o dos sentidos a lo más; la mayoría usan simulaciones visuales y auditivas. La inmersión puede ser aumentada en gran medida al extender el lienzo del artista a un mundo virtual, que puede convertirse en un espacio abierto a ser explorado por el observador. El espacio extendido puede cambiar la forma en la que el usuario entrelaza la realidad con su imaginación y con la idea que se quiere transmitir. En nuestra experiencia, los mayores problemas en el diseño de interfaces para aplicaciones de arte con realidad mixta son:

- Entender la visión abstracta del artista
- Lograr una buena comunicación entre el artista y el observador a través de la obra.
- Inmersión
- Interacción

## **La visión del artista**

En un principio, la obra de arte solamente existe como una visión abstracta en la mente del artista. No podemos ver la verdad detrás de ella hasta que esté completa y debido a esto, el artista puede enfrentar grandes obstáculos entre su idea y la realización de la obra. Si el artista quiere transmitir su idea a los ingenieros de gráficas computacionales e interacción, la idea debe ser comunicada por el artista en forma clara y los técnicos deben ser capaces de interpretar como crear los elementos tangibles que le den forma y vuelvan realidad el concepto del artista.

En nuestra experiencia, una de las formas más claras y simples para realizar este proceso es establecer un claro esquema de los elementos básicos que sustentan y deben estar presentes en la obra así como su relación con la realidad como elementos funcionales dentro del espacio artístico. Diagramas también pueden ayudar al artista a expandir sus pensamientos y delimitar las fronteras que cada elemento debe respetar dentro del mundo virtual. También ayudará en la creación de las relaciones causa-efecto relativa a la presencia, acción y evolución de los elementos con las reacciones que el usuario debe percibir.

## **Comunicación**

Como ya hemos detallado anteriormente, los sistemas interactivos de realidad virtual se comportan de forma diferente a las interfases comunes y su diseño involucra patrones de comunicación más complejos que permitan una interacción implícita y explícita con representaciones de objetos en 3D y 2D que pueden ser activos o pasivos.

El cyber-arte se alimenta de la comunión entre los artistas y los expertos en tecnología; en el arte interactivo lo más importante es la visión del artista, seguida de la implementación y finalmente la reacción del público. Así que esta comunicación se vuelve más compleja porque tiene que transmitir la visión del artista a través de la interfase para los observadores y la obra solamente puede ser terminada cuando alguien usa los medios de comunicación por medio del sistema interactivo. Solamente mediante un camino de comunicación natural y dispositivos

interactivos directos en la obra podemos lograr una inmersión y supresión completa de la falta de creencia en la simulación.

## **Inmersión**

De acuerdo a Oliver Grau[23], el propósito tecnológico de la inmersión es dar al observador la impresión más fuerte posible de estar localizado donde las imágenes están. También dice que esto requiere la más exacta adaptación de información a la disposición de los sentidos humanos.

¿Qué es la inmersión desde el punto de vista del artista? Para estar dónde el artista quiere que el observador esté; que vea sienta y toque el mundo como lo definió el artista, con ayuda de los medios tecnológicos dentro de la instalación artística. El verdadero propósito de la obra de cyber-arte es mezclar la tecnología con el artista y el observador para dar vida a las ideas del artista.

Para lograr esto, la interacción del observador es fundamental ya que por naturaleza el cyber-arte es inmersivo e interactivo y estas características lo hacen más atractivo para algunos artistas que quieren expresarse a través de la tecnología.

## **Interacción**

El hardware interactivo usado en muchas aplicaciones de realidad virtual necesita ser adecuado. Existen algunas áreas como los video juegos y las conferencias en video, en las que los dispositivos interactivos deben ser poco costosos y confiables para su uso en casas, escuelas y el trabajo. Todos estos dispositivos deben ser fáciles de usar, intuitivos y auto-explicativos para que le den al usuario la idea de que una mejora virtual sobre la realidad es parte de la aplicación sin necesidad de adentrarse en detalles. Las interfases humano-computadora en el arte deben ser invisibles para el observador y ser parte del arte mismo.

El arte presenta continuas transformaciones mientras incorpora a la ciencia: aún cuando tradicionalmente enfocados en la apariencia de las

cosas y su representación, el arte ahora se preocupa mas por los procesos de interacción transformación y surgimiento. (Ascott[46])

Osmose, por Charlotte Davies es un ejemplo de una instalación de arte interactivo que explota al máximo la inmersión y crea un espacio sin las limitaciones de la realidad. Davies resuelve el problema de las interfases empleando equipo de buceo, un análisis de esta obra es realizado por Thwaites en su paper "The immersant experience of osmose and ephémère" [45]. Este sistema transporta al observador a un escenario en especial, los controles de navegación emplean la respiración en una forma ingeniosa e intuitiva que es familiar a los buzos y también es fácil de entender para aquellos que no lo son.

A continuación describiremos a detalle el trabajo realizado en fluids y como evolucionó desde la idea de un artista a una obra de cyber-arte completa que fue mostrada en la exhibición Dataspace en Madrid y que es parte de ARCO, evento que en ese año fue dedicado a México.

En Fluids el artista quería transmitir fluidez. Nuestra primera aproximación de usar fluidos como interfase fue inspirada en el trabajo de Ishii[3], mencionado anteriormente, cuyas interfases tangibles han sido exitosamente usadas para mejorar la interacción usando medios naturales como la arena, el viento y el agua. Escogimos dos fluidos para darle forma a la obra de arte: agua y viento. Después tuvimos que diseñar una forma de obtener información y relacionarla con el usuario y los eventos en el mundo virtual.

El primer problema fue medir el movimiento del agua. Queríamos que el agua fuera el medio de interacción ya que el agua no solamente da la idea de liquidez y fluidez, pero también puede cambiar la temperatura de lo que toca y puede ser manipulada a voluntad. El agua tiene muchas ventajas al ser usada como interfase pero también representa un gran reto. La pregunta es ¿cómo usar el agua?. Como poder explotar su fluidez y como hacer que las personas interactúen con el agua sin interferir con los elementos electrónicos que conforman la obra. Lo primero que debemos saber es precisamente que vamos a medir ya que existen por lo menos tres aspectos del agua que pueden ser de interés: presión, flujo y dinámica. El artista finalmente usaría el agua como lienzo para

dibujar imágenes en su superficie. La presión y el flujo son simples de medir pero no lo suficiente para una aplicación interactivo donde el usuario toca el agua y la usa como un dispositivo de entrada/salida. Para implementar algo de ese tipo, tendríamos que tener un modelo perfecto del agua y una lectura precisa de las dinámicas del agua. Esto es complejo ya que involucra un profundo conocimiento de física sobre el agua y como modelar su movimiento matemáticamente.

Detectar el movimiento del agua nos da una herramienta mas completa para asegurar una mejor interacción en nuestra obra, pero tenemos que tomar en cuenta que el comportamiento del agua cambia dependiendo de: la cantidad de agua y porque el agua se está moviendo ya que involucra a la gravedad y la presencia de factores externos, obstáculos y resonancia. Crear un sensor adecuado es muy difícil por las características que presenta el comportamiento del agua. Llegamos a la conclusión de que debíamos seguir uno de los siguientes criterios: ver el movimiento de las olas con una cámara e interpretar las imágenes o determinar la frecuencia de las olas usando un sensor.

Diseñamos un sensor de olas que pudiera determinar su frecuencia en tiempo real. Nuestro sensor de olas trabaja generando una frecuencia que es proporcional a la amplitud de la ola de agua; usamos un circuito retroalimentado que oscila a una frecuencia fija y que se encuentra en un ciclo cerrado con la emisión y recepción de luz rebotada sobre las olas de agua. Para medir la frecuencia de una ola de agua, es necesario contar cuantas veces un sensor reporta una misma amplitud y multiplicar este valor por un factor que depende de la distancia entre el sensor y el agua. Debido a la naturaleza de la dispersión de la luz, la respuesta de este sistema no es lineal. La luz no viaja solamente en una dirección, mas bien se distribuye por el aire y el agua. Por lo tanto nuestro sensor no puede ser considerado como un dispositivo puntual.

Esta solución satisfizo al artista y probamos la interfase en ISMAR 2003 donde la presentamos como el demo: "Using water and sound waves to interact with virtual nature" [47]. En esta etapa usábamos un elemento óptico que emite luz infrarroja en conjunto con un receptor en el orden de los 960nm de espectro (figura 30.) Con esa experiencia nos dimos cuenta de que:

- a) Algunas fuentes comunes de iluminación emiten luz infrarroja y causan interferencia con este diseño
- b) El agua absorbe parte de la emisión infrarroja lo que la hace más dócil de leer después de rebotar en el agua
- c) Usando solamente un receptor es casi imposible capturar toda el agua reflejada por el ángulo de reflexión.

Para la obra que fue exhibida en Madrid, el artista quiso mayor detalle en el movimiento y saber dónde se originaban las olas (para acercarnos mas a su idea de cómo usar el agua como un lienzo). Por lo tanto modificamos el diseño anterior para incorporar luz azul en vez de infrarroja la cual no es absorbida por el agua, agregamos otro receptor para evitar perder tanta luz por la apertura del ángulo de reflexión y redujimos el camino de la luz con una pieza plástica para asegurarnos de tener una lectura correcta y disminuir el riesgo de interferencia.

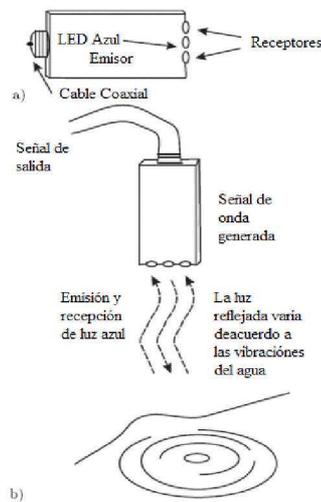


Figura 30: Sensor de agua.

Nuestro nuevo diseño era mejor en muchas formas pero aún nos faltaba determinar el origen de las olas en un estanque de geometría homogénea, lo cual es realmente complicado ya que al generar una ola, esta se expande por el estanque hasta los bordes donde se generan nuevas olas y es muy difícil distinguir las olas originales de aquellas que se forman como eco de las primeras.

Al tener tres sensores podemos triangular la localización de la perturbación como se observa en la figura 31 que genera las olas pero necesitamos uno más para emular correctamente la interferencia de las olas generadas en las esquinas o cuando dos o más olas chocan entre ellas.

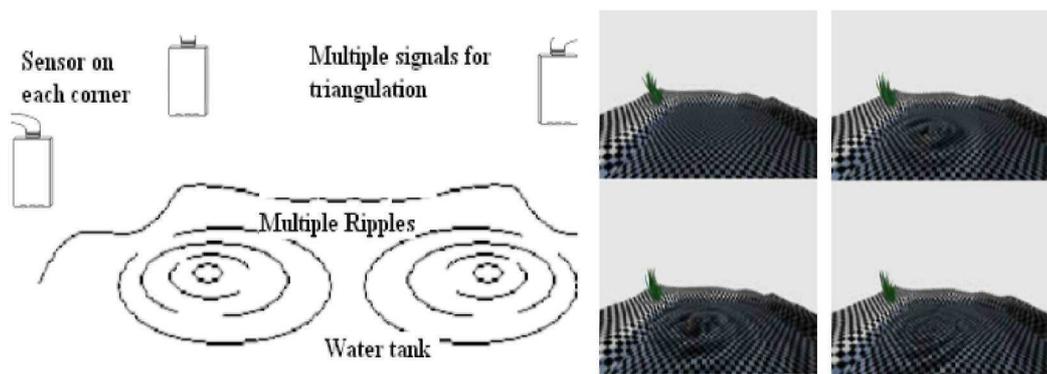


Figura 31: Sensores usados para la triangulación y efectos de la interacción del usuario en el mundo virtual.

## Usando el aire como interfase

Ahora que hemos resuelto la primera parte de la obra, el artista quiere usar más de un fluido en su pieza. Necesitamos medir el flujo de aire para completar la experiencia. Cómo podemos medir el flujo de aire y que es exactamente lo que debe representar en el mundo virtual? Transformar el aire en una interfase requiere de mucha imaginación. Nuestra primera aproximación fue hacer que el usuario soplara a un micrófono para interactuar con un árbol virtual. La idea principal era proveer al usuario de una forma natural de interactuar con la pieza al usar el aire. El problema principal fue filtrar la voz y solamente permitir que ciertas frecuencias fueran interpretadas como respiración, de forma que el usuario tuviera la impresión de que su respiración es el aire que sopla dentro del mundo real, interactuando así con los árboles. Esta aproximación fue funcionalmente exitosa pero fue muy obvia, así que creamos una referencia virtual para tener una interfase más sutil. Diseñamos un dispositivo piezoeléctrico que se asemeja a un árbol para que el usuario pudiera mover el árbol virtual soplando al árbol real de referencia. Esto fue adecuado para la demostración en ISMAR pero el artista quería ir más allá y quería evitar usar este tipo de referencia usando algo más sutil y a prueba de ruido.

El siguiente dispositivo que diseñamos se formó de dos partes: una etapa de hardware y una de software. La etapa de hardware estaba constituida por una tarjeta de sonido y un dispositivo generador de ondas de sonido basado en dos sensores de temperatura, uno como referencia y otro adherido a unos lentes 3D, para determinar cuando el aire fluía al frente del usuario.

Al respirar, una señal de sonido es adquirida usando el dispositivo de temperatura diferencial y digitalizada usando la tarjeta de sonido. Usamos fmod para controlar la grabación y procesamiento.

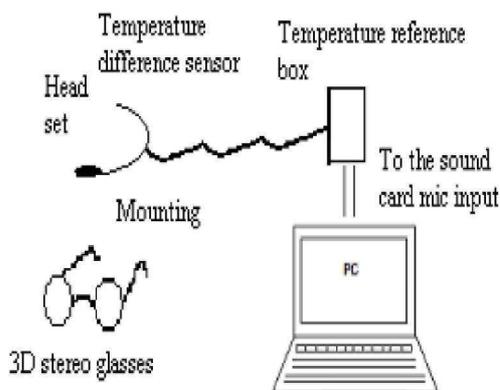


Figura 32: Dispositivo de sensado de aire.

Las señales fueron normalizadas para obtener valores entre 0 y 1. Esta normalización es mandada a la aplicación que es usada para controlar variables en el ambiente según se requiera.

Esta solución al problema complació al artista y la obra fue enriquecida con un sistema de audio agregado a la misma tarjeta de sonido que se usa para la detección de la respiración por lo que se pudo dar una retroalimentación auditiva al usuario también. Se pretendía que esta aplicación fuera observada usando lentes estéreo pasivos. Usamos lentes 3D como parte de la estructura de la obra para fijar los sensores y tener permitir una mejor interacción.

#### Creando una plataforma de navegación

Una de las partes más complejas de la aplicación es la navegación. Al principio el artista quería que el sistema de navegación fuera parte del lago, así que los problemas que surgieron fueron:

- Un sistema de navegación intuitivo que le dé al usuario interacción sin tener que explicarla
- Que sea modular e independiente del sistema de sensado del agua

Los switches quedaban fuera de discusión porque deberían funcionar bajo el agua y aunque existen switches a prueba de agua, es mejor evitar tener agua cerca de los circuitos por razones tan simples como seguridad. Necesitamos proveer una sutil interacción, así que pensamos en usar sensores de presencia. Decidimos usar sensores de proximidad (sensores capacitivos QPROX) para interpretar los movimientos del usuario dentro del área del tanque y generar información de navegación. Usamos cuatro sensores en cada punto cardinal. Esta solución funcionó bien y la pudimos implementar en Fluids.

Construir interfases humano-computadora para obras de cyber-arte y exhibiciones de arte virtual es radicalmente diferente a hacer aplicaciones de realidad virtual. Tenemos que pensar junto con el artista como hacer cada obra realidad. A continuación podemos ver el plan de instalación para Fluids e imágenes de la implementación real. Nuestra instalación final usaba cero luces para mejorar la respuesta de los sensores de agua pero en la imagen podemos ver como las personas interactuaron con la obra.



Figura 33: Visualización previa, ambientes e instalación real.

La reacción de los visitantes a la exhibición fue muy positiva. Después de probar nuestros dispositivos e interfases con usuarios, tanto en exhibiciones técnicas como artísticas, fuimos capaces de medir la reacción de los usuarios ante la aplicación y modificarla según lo necesario para tener una obra más perfeccionada.

Construir interfases humano-computadora para arte interactivo es diferente de las aplicaciones utilitarias de realidad virtual. Tener que interactuar con el artista para hacer que cada elemento de sensado trabaje

para la obra sin restringir la imaginación del artista, pero por prueba y error y probando diferentes soluciones se puede obtener un sistema que en su todo trabaje adecuadamente.

Técnicas y trucos de interacción diferentes deben ser desarrollados para cada ambiente virtual e instalación de arte para lograr los efectos que el artista está buscando. Usar una interfase estándar ya existente no siempre provee las reacciones, respuestas emocionales e integración requeridos. Los artistas tienen mucho que enseñar a la comunidad computacional y la interacción entre los diferentes campos es muy fructífera. Los dispositivos que desarrollamos para esta aplicación pueden ser aplicados a otras obras de arte pero pensamos que puede ser en especial muy útil para aplicaciones en museos de ciencias. También pueden ser útiles en aplicaciones de interacción tradicionales para diseñadores y artistas.

Transportar este tipo de arte a una experiencia común en un mundo virtual con varios usuarios en diferentes lugares interactuando en el mismo espacio es uno de nuestras metas futuras. Esto solamente puede ser logrado si seguimos desarrollando interfases de bajo costo que sean confiables y conserven un patrón artístico. Queremos crear por lo menos dos de estos portales para extender esta obra de arte por medio del Internet y complementarla haciéndola una experiencia de arte compartida.

### **2.3.3. Trabajo experimental con trucos visuales ligados a la percepción**

Como anteriormente hemos abordado el tema de las claves preceptuales, incluso hemos unido realidad virtual con arte para explotar la transmisión de sentimientos a través del mundo virtual. Con el conocimiento adquirido en nuestros experimentos anteriores quisimos adentrarnos en la forma en la que el usuario ve al mundo, para lograr esto se diseñó un conjunto de filtros de video que permitieran aumentar las imágenes que verá el usuario, permitiendo así, aumentar el realismo en las mismas, dando una sensación de mayor profundidad y mejorando la inmersibilidad de la aplicación virtual.

Tomando en cuenta los trucos visuales vistos en el capítulo 1 y las ideas de aumento en la tri-dimensionalidad de la aplicación quisimos adentrarnos a la psicología del usuario con el trabajo descrito en nuestro artículo: "Designed to be used, not used as designed".

En un mundo virtual debemos lograr que el usuario piense que la aplicación se adapta a su propia percepción del mundo para lograr una mayor inmersión, teniendo en mente que nuestro objetivo principal es generar una interfase que aumente las capacidades del usuario brindándole elementos únicos e identificables dentro del ambiente virtual. Entonces, ¿cómo podemos darle al usuario libertad y realismo dentro de un mundo virtual?, ¿cómo un conjunto de comandos finitos y pre-programados pueden competir contra la imaginación infinita del usuario?

Al restringir y categorizar las aplicaciones podemos atacar un conjunto de sensaciones bien definidas en un contexto controlado. De esta forma podemos lograr emular la realidad de la mejor forma posible, en forma restringida pero físicamente congruente.

Dentro del ambiente virtual, debemos brindar al usuario herramientas y referencias que se conecten a la realidad, dando coherencia espacial y funcional a todo en la aplicación. La libertad que el usuario puede lograr dentro de una aplicación puede ser manipulada por factores que le hagan pensar que tiene más opciones de acción que las que en realidad tiene.

El usuario puede ser llevado emocionalmente hacia algunas fronteras psicológicas donde él/ella se sienta más cómodo con sus alrededores y con la interfase, aumentando la libertad perceptual del mismo. Así mismo, podemos crear un conjunto rico y variado de herramientas y equipo que estimula los sentidos usando factores psicológicos que ya han sido probados científicamente y demuestran que pueden crear vínculos personales entre un contexto recreado y los recuerdos voluntarios e involuntarios del usuario.

Hemos usado estos conceptos en nuestros trabajos de realidad virtual. Creemos que el relacionar un contexto y experiencias previas con nuestras aplicaciones nos ayuda a mejorar la sensación del usuario dentro del mundo virtual. La gran pregunta radica en cómo saber si una mejora en la inmersión está siendo lograda realmente. Solamente el usuario que ha experimentado la interacción con una aplicación mejorada con factores que estimulan directamente su percepción puede determinar si, desde su punto de vista muy particular, se ha logrado una mejora en el nivel de inmersión. En esta parte de la experimentación generamos un conjunto de aplicaciones basadas en trucos de percepción para probar el impacto que tenían grupos de usuarios. Los usuarios fueron voluntarios y no se consideró ninguna característica específica para incluirlos en el experimento.

Por ahora queremos resaltar que los experimentos descritos a continuación fueron generados usando un conjunto de trucos visuales y de unión sensorial ya estudiados y comprobados por psicólogos y médicos en todo el mundo. Así mismo el alcance de estas aplicaciones es reducido ya que solamente contemplan un conjunto reducido de posibilidades para estimular el proceso existente detrás de la recepción sensorial de información y que constituye la base primaria de la generación de ideas, percepciones y conceptos para el ser humano.

Primeramente describiremos una aplicación simple con la cual intentamos explorar los alcances de los trucos visuales simples. A continuación describiremos un experimento algo más complejo que involucra la generación de imágenes sobre una película. Como siguiente paso explicaremos los resultados y el proceso de experimentación sobre una aplicación que involucra tanto efectos visuales como kinestésicos y auditivos para

lograr estimular muchos sentidos a la vez. Finalmente combinaremos el experimento anterior con estimulación kinestésica y auditiva para inducir en los usuarios una mezcla sensorial directamente enfocada al funcionamiento del cerebro.

## **Experimento D**

Tenemos una idea de como usar información sensorial para mejorar una experiencia virtual, pero nuestra solución va más allá de esto. Queremos usar al cerebro como parte integral de nuestra interfase entre la percepción del usuario y la aplicación. Así que primero tenemos que descubrir como llegar hasta la percepción del usuario y luego, usando la información que el usuario tiene almacenada acerca del mundo, diseñar una interfase apropiada para unir al usuario con el mundo virtual. Usando la forma en la que el cerebro interpreta el mundo a nuestra ventaja puede ser difícil ya que cada usuario, como ya lo habíamos establecido anteriormente, tiene una visión diferente de la realidad, así que necesitamos usar algunos factores comunes en la percepción humana para generalizar nuestra interfase.

A continuación se explica como se emplearon trucos de percepción para mejorar la realidad virtual a través de una aplicación simple. La aplicación consiste en generar un conjunto de imágenes alternadas que permiten al cerebro interpretar una simple imagen 2D como una imagen con una leve mejora en la tridimensionalidad aun cuando la imagen representada no sea realista. Las imágenes generadas fueron realizadas con trucos visuales basados en convolución de color, oclusión y generación de fondos por capas.

El proceso en detalle es el siguiente:

- a) Tomar una imagen base (Figura 34) y generar una versión en escala de grises (Figura 35). Después aplicar un filtro Canny para extraer la información sobre los bordes.
- b) Relacionamos la información de los bordes con la matriz de la imagen original y determinamos los colores en los pixeles de los bordes.



Figura 34: Imagen base.

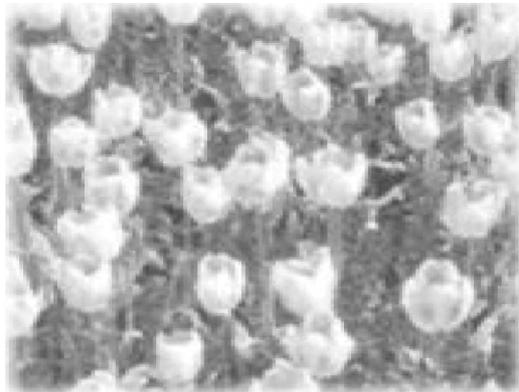


Figura 35: Imagen base (Escala de gris).

3. Aplicamos una transformación a la matriz que cambia el color principal presente en las orillas al color del pixel justo a la derecha del mismo y extraemos solamente los pixeles con color rodeados por el color original del a orilla y el nuevo color. Imagen 36
4. Quitamos los pixeles obtenidos de la matriz de la imagen original y así obtenemos la capa del fondo. Posteriormente sumamos ambas capas. Imagen 37

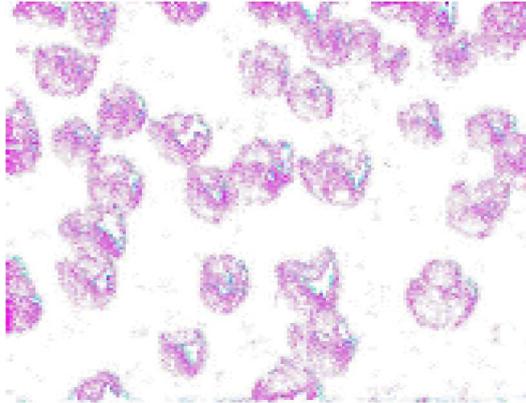


Figura 36: Primera capa.

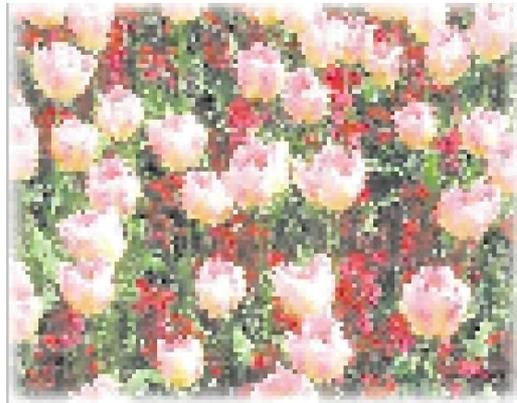


Figura 37: Capa principal.

5. Para cada pixel en la imagen aplicamos una matriz de color para mover el color a la derecha y a la izquierda a partir del origen. Así emulamos el movimiento del ojo usando colores. Imagen 38
6. Disfrazamos las capas agregando líneas verticales de color negro y agregamos estas imágenes a la capa original. Imagen 39
7. Unimos todas las imágenes.



Figura 38: Simulando el movimiento del ojo con color.

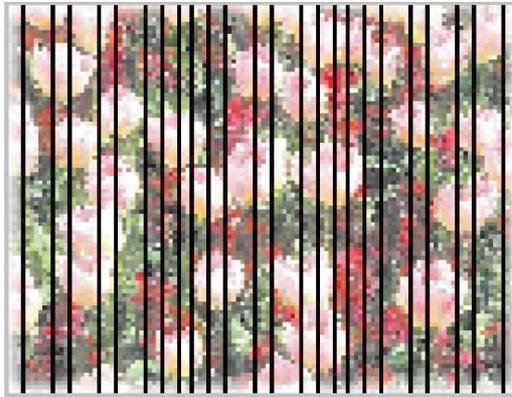


Figura 39: Viendo detrás de obstáculos.

El resultado es un pequeño video basado en una imagen inmóvil que parece ser más realista que la original solamente usando trucos de percepción visual (esto fue expresado por el 98 % de un grupo de observadores de 20 voluntarios en la Universidad). Así como el trabajo realizado por Rusinkiewicz[31] con shading exagerado, podemos ver que muchas veces un render no foto realista puede dar la impresión de profundidad y puede infundir n el usuario una sensación de 3D.

Lograr cambios perceptivos en la aplicación puede involucrar en uso de muchos trucos sensoriales lo cual implica una investigación estructurada sobre la conducta de la percepción llevándonos a la psicología y al área del conocimiento relacionada de manera más estrecha con estudios del comportamiento, pero lograr estos cambios en la percepción del usuario nos puede ayudar a mejorar la forma en la que el usuario ve la aplicación virtual en un modo sutil pero poderoso. Queremos aprovechar la sensación, el sentimiento y la abstracción como lo hacían los artistas impresionistas para impactar más profundamente al usuario y lograr un efecto más allá del simple foto-realismo.

### 2.3.4. Filtros dinámicos aplicados a video

#### Descripción de la aplicación

El siguiente paso dentro del proceso de experimentación fue llevar esta técnica a un video completo. Para esto generamos un aplicación que extrae cuadro por cuadro las imágenes del video y les aplica el mismo procedimiento que describimos en la aplicación del experimento "D". Finalmente estos cuadros procesados se unían manualmente para mantener el efecto de los cuadros por segundo en el video original. Sin embargo esta técnica probó ser ineficiente en su implementación para videos grandes ya que la generación de cada minuto de video procesado necesitaba varias semanas de trabajo.



Figura 40: Filtros aplicados a un cuadro de video.

Por estas razones decidimos realizar un programa basado en hilos que hiciera el proceso de forma automatizada. El programa fue implementado en Java 3D ya que obtener una aplicación multiplataforma, que acepta gran cantidad de codificadores de video y permite una fácil transmisión de los videos por Internet, lo cual se convierte en una solución de características muy deseables para nuestros objetivos. El algoritmo separa cuadro por cuadro el video y lo guarda en una matriz temporal como textura. Se analiza inicialmente por filtros estáticos para determinar contornos y objetos en la escena similarmente a lo realizado en la aplicación detallada anteriormente, y después por filtros de gradiente los cuales proporcionan información sobre el movimiento de los objetos y su importancia en la escena. Finalmente se generan 4 capas de dibujado que en conjunto forman la imagen procesada para cada cuadro. Una capa contiene la información original del video, otra contiene información de contornos y cambios de contraste según la importancia del objeto y las otras dos contienen la información de los objetos en movimiento incorporando los efectos visuales de desplazamiento a la derecha e izquierda, cambios sutiles de color y ocultamiento de información por medio de líneas verticales. Estas últimas dos capas se intercalan con las primeras empleando el canal alfa.



Figura 41: Video en tiempo real.

## 2.4. Retroalimentación auditiva

Muestras de inmersibilidad auditiva con bioretroalimentación pueden verse en el trabajo de Waters y Ambula [Walters 2005] donde se explica la ecolocación y como esta es realizada naturalmente por animales como el murciélago. En su trabajo se realiza una analogía con el sonar proveído en una realidad virtual para habilitar a un usuario de un sentido de localización similar al del murciélago; ellos detallan en su trabajo la existencia de numerosos estudios en las propiedades del sonido para la localización del ángulo azimutal de una fuente de sonido. El tiempo de llegada de la señal en el oído en la forma de diferencias de tiempo ínter auriculares (ITD interauricular timing differences ) y la diferencia de intensidad del sonido en ambos oídos (IID interauricular intensity differences) proveen la información del azimuth.

Dado que el sistema auditivo puede detectar diferencias en fase y frecuencia por debajo de 1kHz, las diferencias de tiempo causados por las diferentes distancias que debe recorrer el sonido para llegar a cada oído puede ser detectado por diferencias de fase. Sin embargo, a bajas frecuencias, la longitud de onda del sonido es grande en comparación con el diámetro de la cabeza, y la difracción del sonido alrededor de ella provoca que los IIDs no funcionen bien para la detección del azimuth. Arriba de 1.5 kHz, los efectos por difracción producen sombras en el sonido, provocando que los IIDs puedan ser usados como base para la señal azimuth. Arriba del límite de resolución de fase, las diferencias en tiempo sirven para identificar el momento de llegada de la señal envolvente, pero parece limitado en la relación entre los IIDs y ITDs con sus respectivas limitantes de frecuencia.

Ya que una fuente de sonido a la izquierda 20 grados azimuth generará las mismas señales de ITD e IID que una colocada a la izquierda 160 grados azimuth, los movimientos de la cabeza también pueden ser usados para eliminar ambigüedad. Al mover la cabeza a la izquierda, la fuente de 20 grados se volverá más céntrica, mientras que la de 160 grados se volverá obviamente localizada a la izquierda. En una cabeza idealmente esférica, existe un cono de confusión donde, para cualquier par de posiciones opuestas en la superficie del cono extendiéndose desde el oído, los IIDs e ITDs son los mismos. Sin embargo, un modelo

tan simple no considera la estructura asimétrica y ovalada de la cabeza, lo cual genera señales espectrales que permiten localizar la Posición del sonido. Estas funciones de transferencia relacionadas a la cabeza (HRTFs Head Related Transfer Functions) son empleadas para eliminar la ambigüedad entre posiciones que se encuentran en el cono de confusión. Aunque se tiene un entendimiento relativamente bueno de la percepción de las señales azimutales y elevacionales en el sistema auditivo humano, el rango de percepción de una fuente sonora es más difícil de definir.

La señal más obvia para medir la distancia es la intensidad del sonido, un sonido más alto se relaciona a una fuente de sonido más cercana que un sonido bajo. Sin embargo, para sonidos poco familiares puede llegar a ser imposible diferenciar un sonido fuerte y distante de uno cercano y bajo. El ratio de sonido reverberante con respecto al directo puede ser usado para complementar la detección de distancias; al remover esta señal en una cámara libre de eco puede eliminar la habilidad para discernir la distancia de la fuente de sonido. El cambio en intensidad conforme al movimiento del oyente hacia la fuente de sonido también puede ser importante para determinar el rango, ya que esto involucra cambios en el contenido espectral debido a exceso de atenuación atmosférica.

Dentro de una aplicación de realidad virtual, al colocar las bocinas y probar diversos tipos de estímulos directos e indirectos a los usuarios se pueden definir lo que llamaremos como zonas de interactividad por sonido. Estas son aquellas áreas que el usuario puede identificar con un sonido de audio primario de manera espacial. Por otro lado al estimular y crear estas zonas de interactividad por sonido el audio ambiental y los movimientos sónicos creados por los objetos y el mismo usuario son inducidos al ambiente dentro de una zona específica permitiendo la localización de estos objetos originadores de sonido, permitiendo la ecolocación. Es importante utilizar fuentes de sonido fijas cuando el usuario se encuentra en movimiento, los experimentos del Dr Pontus Larsson de la universidad de Chalmers lo comprueban y en el proyecto de Riecke[48] se demuestra que los sonidos realistas funcionan mejor que los sonidos sintéticos y que las fuentes estacionarias son más efectivas que las móviles en la ecolocación.

El uso práctico del sonido para aumentar la sensación de inmersión da una pauta a los contrastes con la dificultad de implementar el aumento de otras sensaciones como las que pertenecen al sentido del gusto.

Para poder inducir la sensación de movimiento y lograr retroalimentación kinestésica nosotros utilizamos vibraciones como indicadores sutiles de movimiento. Esto lo hicimos con la ayuda de bocinas que, utilizando filtros, dividen la salida de audio de la aplicación para determinar qué sonido es más apropiado para la circunstancia y zona del cuerpo del usuario.

La acústica del lugar donde se va a reproducir nuestro mundo virtual es esencial para la buena retroalimentación y para relacionar correctamente las posiciones de los objetos en el mundo virtual, la forma en la que el sonido se dispersa en la habitación depende de los materiales de construcción del cuarto en cuestión y de su geometría por lo que una geometría que optimiza la dispersión del sonido y minimiza el rebote de ondas sonoras, utilizando una disposición de referencias espaciales colocadas en lugares claves para la aplicación.

El sentido del oído como mencionamos anteriormente provee balance, equilibrio y la sensación de movimiento relativo, además de darnos una idea de la localización espacial de los objetos. Por lo anterior propusimos un experimento para revisar la reacción de los usuarios con referencias sonoras espaciales y vibratorias.

Los factores a medir en este experimento fueron:

Inmersibilidad.- Entendida como el grado de adecuación del usuario dentro del mundo virtual, se midió por medio del tiempo promedio utilizado por el usuario en completar la tarea dada.

Alienación.- Medido como el grado de compenetración del usuario con el medio virtual. Se midió al comparar las reacciones motrices (velocidad de reacción y concentración) al localizar un objeto y dar clic con el ratón.

Realismo.- Entendido como la capacidad del usuario para unir las ideas del mundo real con las del mundo virtual. Medido como el tiempo que requiere al usuario dejar de ser sorprendido por el mundo virtual (tiempo de acoplamiento virtual).

Espacialidad.- Entendida como la capacidad del usuario de localizarse a si mismo (su avatar) con relación a los demás objetos del mundo virtual.

Los resultados obtenidos se muestran en el anexo 2, como muestra condensada de estos resultados presentamos el siguiente gráfico:

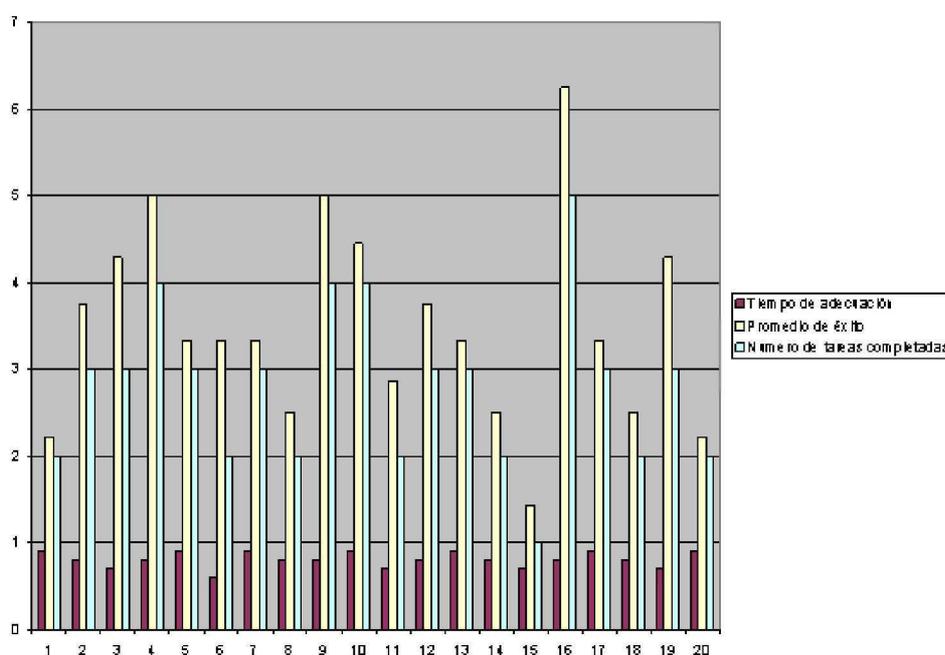


Figura 42: Factores de adecuación en la aplicación de audio.

Parámetros de Medición:

Tiempo de adecuación: tomamos como referencia para nuestro experimento el tiempo que le tomaba al usuario adaptarse al sistema, este tiempo fue medido desde que el usuario percibía los sonidos y navegaba satisfactoriamente hacia la fuente del sonido.

Número de tareas completadas: se cuenta el número de objetos reconocidos en 2 minutos.

Promedio de éxito en la tarea: se divide el número de tareas completadas entre el tiempo de adecuación.

En nuestra aplicación el usuario se ubicaba en un entorno vacío, únicamente los sonidos para guiar al usuario en el entorno, al acercarse al objeto virtual, este aparece en el campo de visión y al ser seleccionado se contabiliza como una tarea realizada exitosamente. Utilizando los parámetros de medición y una encuesta se midieron los factores de interés en 20 usuarios.

## **2.5. SENSORES UTILIZADOS**

Todos los sensores que he empleado fueron diseñados específicamente para la función requerida, no se trata por lo tanto del uso de sensores ya existentes para usarlos en una aplicación particular y por lo tanto no están disponibles en el mercado.

La velocidad de respuesta de los sensores es a tiempo real, es decir, no es apreciable ningún retraso en su respuesta al momento de ejecución, estos son sumamente rápidos (con respuesta en el orden de milisegundos) para este tipo de aplicación, sin embargo, si es necesario poner mucha atención en la arquitectura operativa y el firmware escogido porque en la etapa de conversión es en la cual se puede introducir retrasos y tiempos muertos que no están relacionados directamente con el sensor, para realizar un preprocesamiento realice pruebas con los siguientes microprocesador C868 de Infineon, los pics 16F62, 16C74, los módulos de BS2X y BS240p además del microcontrolador C513A0.

Por ejemplo en el caso de el sensor resonante, este sensor da como salida una frecuencia proporcional a la distancia entre el conjunto electro óptico y el objetivo sentido, (lo hemos utilizado con agua) si esta frecuencia es procesada mediante el conteo directo de pulsos por Segundo, ya el sistema total resultante sera lento porque para realizar cada lectura se debe esperar un tiempo igual al número máximo de

pulsos esperados; si se utiliza el procedimiento de inversión de periodo bastará 2 ciclos del oscilador para estimar la magnitud de la señal actual. Este sensor trabaja a velocidades extremadamente altas, por que su funcionamiento se basa en el registro del pequeñísimo retraso en fase entre una señal óptica que se emite y el tiempo que tarda en regresar a su fuente de origen, si esta operación se hiciera directamente sería necesario lidiar con conteos de décimas de nano segundo ya que la luz viaja a 300,000 km por segundo y la distancias son generalmente menores que un metro, para evitar el manejo de tiempos extremadamente pequeños y frecuencias extremadamente grandes, el circuito del sensor utiliza la eterodinación para convertir la frecuencia natural del conjunto electro óptico en una mucho mas baja que generalmente se encuentra entre los 5 y 20000 hertz. El sensor de campo eléctrico tiene un tiempo de respuesta lento pero que para esta aplicación considero que es por demás adecuado ya que tiempos de respuesta alrededor de 0.05 de segundo.

Al realizar una comparación funcional con otros sensores se encontró que la mayoría de estos detectores de distancia tradicionales que utilizan luz como medio para determinar la distancia pueden ser divididos en dos ramas: los que utilizan el método de radar y los que trabajan con simple triangulación. Los que utilizan un funcionamiento tipo radar emiten un pulso de luz y lo reflejan en el objeto tratando de medir el tiempo que tarda la luz en ir hasta el objeto y regresar para determinar la distancia. Es muy complicado realizar este tipo de sistemas ya que la velocidad de la luz es de 300,000 Km. por segundo y las distancias a medir son por lo regular pequeñas lo que hace necesario tiempos de conteo en el orden de millonésimas de picosegundos esto vuelve a estos dispositivos extremadamente caros como la aplicación de Canestra cuya investigación ha costado varios millones de dólares.

El método de triangulación utiliza un haz de luz colimado o un láser que impacta en el objeto y esta luz es medida mediante un sensor de luz también con alta colimación. Solo existe un ángulo del sensor con respecto del emisor para el cual el punto de luz proyectado puede ser visto por el sensor colimado. Relacionando estos ángulos por simple trigonometría se establece la distancia al objeto. El principal inconveniente de estos sistemas es que normalmente están asociados dispositivos mecáni-

cos de barrido que los vuelven torpes, lentos y muy voluminosos además de energéticamente ineficientes.

Los circuitos resonantes presentados aquí representan una alternativa económica al mismo tipo de medición que a la vez permite colocando mallas con varios sensores, generar información que por sus características permite no solo obtener datos de la superficie sino inferir los voxels para hacer un modelo 3D de forma directa. De modo que la salida final de estos sensores puede ser multiplexada y analizada en forma de bloques como se explica en el diagrama siguiente:

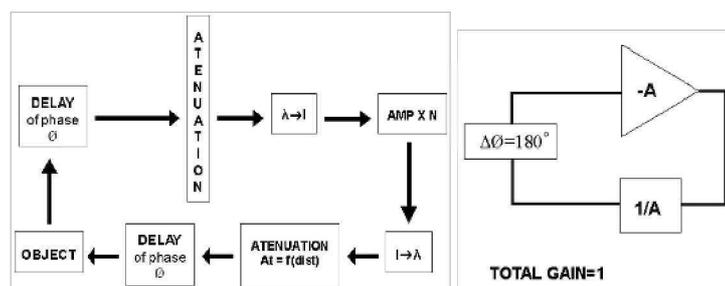


Figura 43: Diagrama de bloques del sensor resonante

El dispositivo sensor por resonancia trabaja de manera completamente diferente a los tradicionales sistemas ópticos ya que no tiene un emisor de señal pulsante u oscilante y un detector con amplificador y filtro sino que consiste esencialmente en un amplificador retroalimentado en cuya línea de retroalimentación esta incluida la distancia del objeto y el par sensor emisor. Esta distancia la podemos considerar como una cavidad de oscilación de alta frecuencia la cual mediante un proceso parecido a la eterodinación puede ser medida sin la necesidad de trabajar con frecuencias demasiado altas. Esta señal es dependiente únicamente de la distancia al objeto y no del voltaje de alimentación o sea que si se varía el voltaje de alimentación la frecuencia permanece constante ya que ésta solo depende de la distancia y las ganancias parciales del amplificador y del sensor, esto determina que una cierta cantidad de ruido puede presentarse cuando se utiliza iluminación incandescente de alta frecuencia pero con las técnicas que empleamos para filtraje este ruido es fácilmente desechable.

## 2.6 Categorización del usuario

Para un sistema de realidad virtual concebido como tal usuario, interfase y aplicación debe tener características que demuestren su adaptabilidad, flexibilidad y velocidad de respuesta existen dos tendencias una orientada al diseño para la realidad virtual practica orientada a diseño, función y objetivos y otra para crear sistemas no orientadas al diseño, con objetivos abstractos y con orientación a las ciencias humanas, estudios psiquiátricos y arte. Es importante entonces conocer todos los aspectos de este sistema y tener una categorización correcta del usuario.

Dado que hasta la fecha ha sido imposible, ni siquiera en el área de la psicología, modelar a un ser humano en su totalidad y en vista de la necesidad de tener un conjunto de patrones de comportamiento en base los cuales se pueda cambiar y personalizar la aplicación con la cual el usuario está interactuando para realmente diseñar basándose en la percepción y no en la acción, proponemos categorizar el comportamiento del usuario empleando una técnica adaptable y dinámica que nos permita alterar la aplicación en base a las acciones recientes del usuario. Como esta categorización debe ser dinámica y adaptable a la aplicación dado a que de las características fundamentales del ser humano es la evolución de su carácter a través del tiempo y su capacidad para cambiar de opinión, se necesita tener una metodología para modificar en el curso de la aplicación esta categorización y modificar características de la aplicación de manera sutil.

El objetivo de emplear una herramienta de esta naturaleza es hacer pensar al usuario que la aplicación fue diseñada específicamente para él (aunque en realidad sea imposible generar una aplicación para cada persona).

Estos cambios en la aplicación deben trabajar al nivel de la percepción del usuario y no a nivel de decisión por lo cual se trata de ver al usuario a través de su comportamiento sin hacerle preguntas directas. Gracias a esto, se pretende que el usuario se sienta confortable interactuando con la aplicación pero que no tenga un control directo sobre las variables de ambiente que la generan.

### 2..6.1 Patrones locales de acción

Proponemos la creación de patrones locales de acción binarios homogéneos normalizados en los que se expongan los cambios sutiles que realiza el usuario al utilizar la aplicación y como esto puede dar resultados de modificaciones en las acciones.

Observemos en las imágenes que se muestran a continuación: Los cuadros binarios suman 1 y dependiendo de la alusión que realizan en la aplicación cada uno de los ocho segmentos puede tener valores de 0 a 1 simbolizando un numero mayor la tendencia del usuario a la característica representada por el octante.

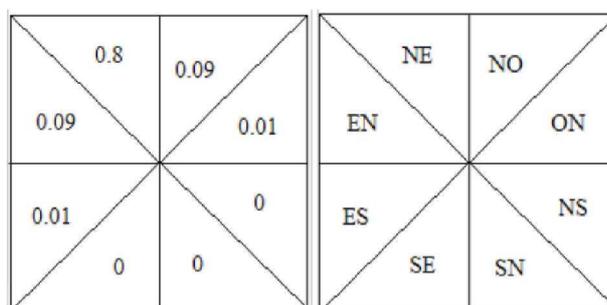


Figura 44: Dirección en el mundo virtual.

Si el usuario presenta una tendencia a navegar hacia cierto punto del ambiente virtual y continua en ese camino, se puede trazar un vector que describa la posición en el mundo virtual que es de mayor interés para el usuario, y con el cuadro binario de posición se puede incrementar la velocidad de la cámara en la dirección deseada y realizar rotaciones con la velocidad que el usuario espera. Para definir la recurrencia en el vector de dirección establecemos otro patrón que nos da la intensidad del estímulo de un usuario sobre una dirección específica en el mundo virtual.

Este es un caso especial de patrón para el cual sus valores se obtienen al tomar la cantidad total de estímulos de dirección y obteniendo un porcentaje sobre la repetición del estímulo en determinada dirección del mundo virtual.

NE	NO	0.5	0.5
EN	ON	0	0
ES	NS	0	0
SE	SN	0	0

Figura 45: Patrón de intensidad del estímulo.

A si mismo se modela la textura y color con el cuadro resultante de la velocidad de cámara, el estado de ánimo del usuario, su perfil psicológico y los objetos que le parezcan más llamativos relacionando un incremento en velocidad con colores cálidos pero no cambiando el entorno de manera brusca sino siguiendo las actividades del usuario:

ROJIZO	ANARAN- JADO	0.4	0.12
QUEMADO	AMARI- LLENTO	0.21	0.21
VERDOSO	BLANCUZ -CO	0.01	0.02
CAFESOSO	AZULADO	0.03	0

Figura 46: Patrón de definición de colores.

Para poder tener mayor control sobre los cambios del ambiente proponemos 6 cuadros en el modelo, estos cinco cuadros velocidad, posición, color, sonido, textura y tamaño.

- Cuadro de dirección se determina directamente de la interfase y depende del usuario.
- Cuadro de velocidad depende de la dirección y el estímulo del usuario.
- Color y sonido dependen del de dirección y velocidad.
- Textura depende del de color y velocidad.

- Tamaño depende del de velocidad y dirección.

Se establecen ecuaciones que definen como afectan cada uno de los patrones a otros patrones, si el patrón afecta a otro se le da un valor de 1 si no de 0.

Para  $i= 0$  a  $7$

$$CV_i = CD_i * I_i$$

$$\text{Si } CC_i \geq 0,5 \quad CC_i = (CV_i - 0,5)(1 - CC_i) + CC$$

$$\text{Si } CC_i < 0,5 \quad CC_i = (CV_i - 0,5)(Cd) + CC$$

$$CS_i = CD_i * CV_i$$

$$CT_i = CC_i * CV_i$$

$$T_i = CV_i * CD_i$$

Dónde  $i$  es el índice del elemento en el patrón local homogéneo.

Donde  $CV$  es el patrón local homogéneo de la velocidad,  $CP$  el patrón local homogéneo de la dirección,  $I$  es patrón local homogéneo de intensidad.  $CC$  es el patrón local homogéneo del color (correspondencia en la tabla de colores que corresponden al patrón local homogéneo del color con la intensidad de cada diseñador este es modificado para adaptarse a la aplicación),  $CS$  es el patrón local homogéneo del sonido,  $CT$  es el patrón local homogéneo de la textura y  $T$  es el patrón local homogéneo del tamaño.

Homogeneizamos el resultado utilizando:

$$CT = \sum_{i=0}^7 CT_i, \quad T = \sum_{i=0}^7 T_i$$

Para  $i= 0$  a  $7$

$$CV_i = \frac{CV_i}{CV} \quad CC_i = \frac{CC_i}{CC} \quad CS_i = \frac{CS_i}{CS}$$

$$CT_i = \frac{CT_i}{CT} \quad T_i = CV_i * CD_i$$

Dónde  $i$  es el índice del elemento en el patrón local homogéneo.

Los factores que determinan el tamaño van relacionados con el acercamiento de la cámara y el tiempo promedio que un usuario gasta en atender cada objeto. Dependiendo de la aplicación y con ayuda de un psicólogo se puede establecer un modelo adecuado para cada caso, el ejemplo de descripción de cuadros binarios aquí presentado esta diseñado para nuestra aplicación prueba en específico, para ser adaptada esta técnica se tienen que establecer los parámetros para cada caso.

La herramienta anterior sirve para categorizar al usuario en cualquier ambiente, ya sea persiguiendo un objetivo o por navegación libre. Sin embargo, este modelo no nos permite secuenciar el comportamiento del usuario en base a tareas lo cual es importante en algunas aplicaciones y por lo que proponemos definir, en los casos en los que la aplicación lo permita, un autómata de estados finitos determinista que modele el flujo entre actividades dentro de la aplicación para aumentar el control que tenga el diseñador sobre la evolución de la aplicación dependiendo de los caminos que el usuario tome con el tiempo.

Esta máquina de estados debe reflejar los escenarios importantes para la realización de cada actividad así como los cambios que la aplicación sufrirá en respuesta a la concatenación de tareas realizadas por el usuario. Para poder definir la clasificación del usuario debemos poder ser capaces de seguir un patrón de cambio de estados que muestre tendencias. Para ello se diseñó la siguiente ecuación:

$$Pe = Aae * a * Pa * Pae \quad (6)$$

Dónde  $Pe$  es la probabilidad de estar en el nuevo estado  $e$ ,  $Aae$  es la probabilidad de que se realice la acción que provoca el paso del estado  $a$  al estado  $e$ ,  $a$  es el factor de continuidad de la acción que lleva del estado  $a$  al estado  $e$  y  $Pae$  es la probabilidad de que estando en el estado  $a$  se pase al estado  $e$ .

## 2.6.2 Aplicación libre implementando los patrones locales

Para probar la herramienta se utilizó una aplicación libre con navegación sencilla por ratón y con una modificación al ambiente directa sobre el sonido, color y tamaño de los objetos tomando los patrones binarios homogéneos, mostramos algunas imágenes de la aplicación a continuación:

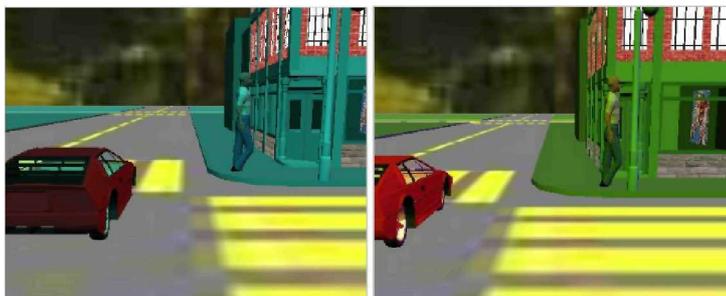


Figura 47: Cambios en el patrón de color.



Figura 48: Cambios en el patrón de tamaño.

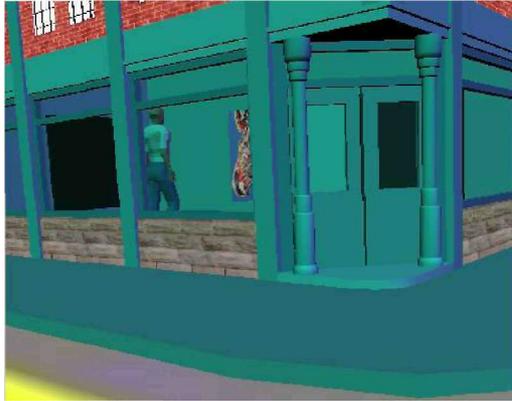


Figura 49: Cambios de movimiento.



Figura 50: Cambios en la velocidad.

# CAPÍTULO 3

## CONCLUSIONES

### 3.1 Sentidos y la realidad virtual

Como hemos analizado durante el transcurso de esta tesis es muy importante reconocer que todos nuestros sentidos, unos más que otros, en ciertas circunstancias activan el recuerdo de ideas, sentimientos, imágenes, respuestas instintivas e incluso movimientos reactivos automáticos que algunas veces son aprendidos y otras heredados de generación en generación. Esto nos lleva a la conclusión de que nuestro cerebro interpretará el ambiente que nos rodea de forma especial para cada individuo. Usando el conocimiento que tenemos sobre estas respuestas instintivas podemos diseñar equipo de realidad virtual que ataque el problema de la interfase, que disuelva la separación entre la mente del usuario y el mundo virtual, que conecte un "sentimiento de realidad" con lo que se le presenta al usuario de una manera transparente e indirecta. Así mismo, se busca permitir que el mensaje de realismo sea transmitido al usuario activando una respuesta instintiva que brinde una mayor sensación de inmersión.

En este trabajo descubrimos detalles sobre la percepción que nos permiten ligar la idea de realidad del usuario con la realidad virtual, permitiéndonos tener una plataforma para desarrollar interfases orientadas a la percepción. Sabiendo como funcionan los sentidos podemos usarlos como parte de la interfase y, aprovechando el poder de abstracción del usuario, enviar mensajes directamente al cerebro donde se encuentra el procesamiento final del mundo, donde se forman las ideas que dan forma a nuestra realidad. Por las características de la percepción misma reconocemos también que diseñar interfases basadas en percepción puede ser complejo si no tenemos parámetros para analizar la forma en la que el cerebro interpreta esta información. Dado que el cerebro es tan complejo que ni siquiera expertos en el área saben como trabaja nuestra psique, para poder indagar a fondo en los detalles de la percepción hay que hacerlo por medio de experimentación, encuestas, comparación de parámetros con la realidad y el análisis estadístico.

Cuando analizamos los trucos visuales, vimos que nuestro cerebro tiende a corregir y completar información del entorno. Revisamos pares de imágenes 51 como las que se presentan a continuación:

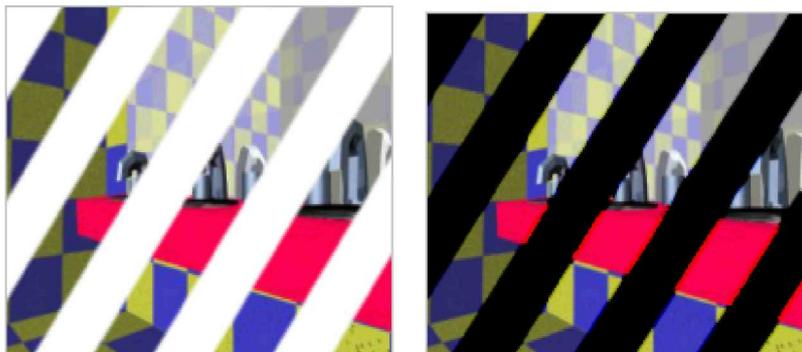


Figura 51: Objetos Ocultos.

Analizando a fondo estos fenómenos nos encontramos con el hecho de que la percepción y la idea de la realidad son establecidas por los parámetros sensoriales particulares de cada persona y por lo tanto son irrepetibles. Por esta razón, adaptar un sistema para inducir sensaciones pierde sentido general y se enfoca a homologar aquellas características comunes en la percepción de todo ser humano. Concluimos, así como otros investigadores y psicólogos como Johann Poggendorff, que la información presente en una escena no es tan importante como la interpretación de la misma y que el cerebro tiende a ver información inexistente si las condiciones son las adecuadas, como en la ilusión del triángulo de Kanizsa mostrado en la siguiente imagen:

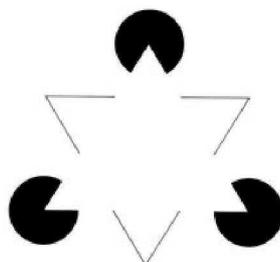


Figura 52: Triángulo de Kanizsa.

Este tipo de ilusión provoca una reacción similar en el 97% de las personas de acuerdo a los mismos estudios de Poggendorff y este tipo de efecto es el deseado en las aplicaciones de realidad virtual, un efecto que impacte a la mayor cantidad del público y que ataque directamente a los conceptos que una persona utiliza para generar su idea de lo que es real y lo que no.

El realismo en las aplicaciones trata de hacer creíble algo inexistente, si utilizamos la capacidad del cerebro derivada de nuestro instinto natural de protección de depredadores que nos permite ver y completar figuras escondidas tras otros objetos, podemos concebir aplicaciones que envíen información al cerebro en capas de la misma forma en que esta información es procesada, primero dando atención a las cosas que son diferentes, que tienen mayor contraste, que se ocultan o que están en movimiento. Gracias a pequeños detalles también podemos ocultar defectos al usuario llamando su atención hacia otras áreas de la pantalla ya que también es una habilidad del cerebro ocultarnos información poco relevante y de esta manera es que a veces vemos cosas directamente y no las observamos. Una característica que llama la atención es la capacidad del cerebro de abstraer profundidad y nos da la idea de que existen cosas donde no hay nada y objetos inexistentes tras otros, por ejemplo la imagen 53:

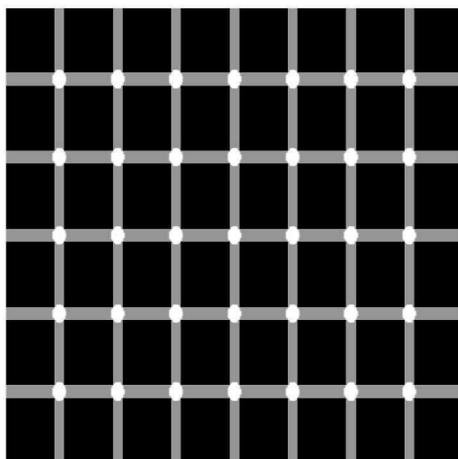


Figura 53: Colores y patrones.

Consiste en un cuadrado perfecto, hecho con una serie de cuadros negros divididos por una delgada línea blanca. La imagen nos hace imposible determinar el color real de la intersección de los cuadros haciéndonos imaginar que el color negro se expande a las juntas e inclusive un grupo de personas puede ver las intersecciones en color rojo.

La ilusión de James Fraser (Figura 54) también nos da una perspectiva de cómo el cerebro puede percibir información de movimiento y profundidad donde no existen. Utilizando conceptos como estos pode-

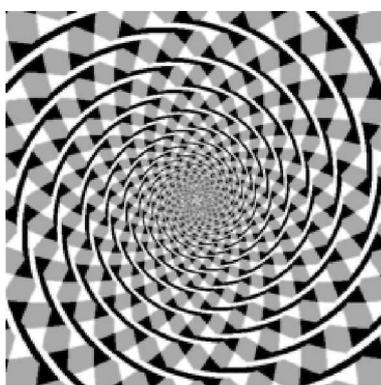


Figura 54: Espiral de Fraser.

mos generar analogías similares a los otros sentidos y, como vimos en el capítulo primero, uno de los sentidos más adecuados para enviar información perceptiva es el sentido del oído que está estrechamente ligado con el sentido de balance, la posición, kinestesia (gracias a la ecolocación). El oído se puede manipular fácilmente utilizando diversas fuentes de sonido e incorporando sistemas vibradores a los equipos de realidad virtual como se vio reflejado en los experimentos del capítulo dos.

En los experimentos realizados nos enfrentamos al desarrollo de aplicaciones con interfaces tangibles, las cuales parecían a priori más adecuadas al usuario, más naturales y efectivas. Sin embargo, al ser probadas y analizadas nos dimos cuenta de que cuando un usuario interactúa con el mundo virtual usando una interfase el usuario va adaptándose a la interfase, siendo ésta un camino de dos vías.

El ser humano, como ser cambiante y con gran capacidad de aprender, hace suya cada interfase que toca. Nosotros analizamos el efecto del biofeedback o retroalimentación biológica del que hablamos en el capítulo primero y pudimos ver sus características al desarrollar estas interfaces. El usuario crea un vínculo que le permite conectarse con las acciones desarrolladas en el mundo virtual al ejecutarlas en el mundo físico. Tocar y manipular objetos similares a los virtuales brindan un marco de referencia para el usuario, pero este mismo marco puede alienar al usuario de la aplicación virtual, hay que extremar precauciones para que el objeto no se vuelva el centro del mundo virtual sino un objeto relacionado con una acción natural dentro del mundo virtual.

Cuando la interfase realmente cumple con la misión de establecer una conexión virtual entre el usuario y la aplicación, este último se olvida de que el objeto es real y asume que el objeto sobre el que se está ejerciendo la acción es el virtual. Este objetivo se logra únicamente si el vínculo creado por la retroalimentación es logrado de manera satisfactoria.

### **3.2 Diseño de interfaces basadas en percepción**

Descubrimos entonces que para diseñar interfaces usables se requiere la comunión de dos mundos, el de la aplicación y el mundo de la percepción que representa al usuario. También analizamos cómo esta interfase debe conectar estos mundos de manera precisa y debe traducir de manera adecuada lo que queremos transmitir desde la aplicación a la percepción del usuario y viceversa permitiendo la retroalimentación que ayude al usuario a sentir los eventos en el mundo virtual.

Hemos revisado varios puntos de vista sobre el diseño, como categorizar aplicaciones y también revisamos los aspectos psicológicos que se pueden utilizar para transmitir datos, sentimientos e ilusiones engañando al cerebro y finalmente a la mente del usuario utilizando información previamente aprendida por la persona para poder así alterar su percepción del ambiente, teniendo como resultado una definición de ambos mundos. Aún así, nos hace falta crear una plataforma para definir a la interfase en sí misma.

Si queremos crear interfases humano computadora que utilizan la experiencia de una persona y los mecanismos que el cerebro emplea para configurar la idea del ambiente y al mismo tiempo queremos mejorar los mecanismos que separan lo real y tangible de lo virtual, debemos hacerlo creando una interfase que sea usable para cubrir metas específicas o que brinde libertad al usuario atribuyendo sensaciones de las cosas, objetos y situaciones en lugar de solamente brindando una representación de las mismas.

En base a nuestra experiencia, nuestras aplicaciones desarrolladas, sus interfases y los resultados obtenidos, hemos diseñado un conjunto de reglas que obtienen el mayor beneficio de una interfase y al mismo tiempo permiten que ésta sea diseñada dentro de parámetros prácticos:

- A) Cada aplicación es única así como el usuario del otro lado de la interfase. Las aplicaciones deben ser adaptables, retar al usuario a cada instante proveyendo información nueva que la haga parecer inteligente y específicamente hecha para el usuario aunque ésta sea genérica. Cada interfase debe ser pensada o modificada para corresponder perfectamente a la categoría de la aplicación.
- B) Cumpliendo la regla anterior el usuario debe pensar que la aplicación es inteligente y que responde exactamente a sus deseos, anticipándolos y realizando pequeñas modificaciones al entorno virtual dependiendo de las acciones que el usuario toma para transformar este ambiente haciendo la experiencia única para cada usuario.
- C) El utilizar trucos visuales puede inducir una gran variedad de sensaciones, como lo son la idea de profundidad, movimiento, color y existencia. Son fáciles de introducir en la mayoría de las aplicaciones y permiten aumentar el realismo si al diseñarlas recordamos que éstas son parte de la interfase y no de la aplicación y que deben transmitir sensaciones relacionadas con las acciones, objetos y situaciones en la escena.
- D) El sonido y los efectos vibratorios pueden influenciar el balance de un usuario; si se desean utilizar en una interfase es necesario tomar precauciones para que el usuario se sienta cómodo con la interfase misma. Este tipo de interfase, bien diseñada, debe permitir al usuario determinar su posición virtual y crear en el usuario una

idea de dónde se localizan los objetos virtuales.

- E) Un agente que debe ser incorporado en las interfases con escenarios naturales es el olor. El sentido del olfato activa la memoria y puede transportar al usuario a un lugar específico, alterar su humor y cambiar la manera en la que éste ve el entorno virtual de manera instantánea. Por lo mismo hay que cuidar los aromas en el área de las aplicaciones virtuales. Olor emanado por el equipo electrónico o por algún agente presente en el lugar donde se esta realizando la simulación puede alienar al usuario de su experiencia virtual.
- F) El sentido del tacto es el más poderoso. Es importante para el ser humano tocar para creer en la realidad, las interfases táctiles brindan una gran ventaja a la aplicación pero se debe recordar que éste conlleva bioretroalimentación y puede alienar al usuario si le proporcionan marcas que puedan ser usadas como referencia del mundo real.
- G) La conexión entre el aprendizaje y la aplicación debe ser un proceso de dos vías, si la información debe conectar las acciones reales a los objetos virtuales de manera instantánea y natural.

### **3.2.1 Diseñando aplicaciones para que estas sean utilizadas de la manera en la que fueron diseñadas**

Como los sentidos pueden ser utilizados en el diseño de la interfase formando parte integral de la misma, se podría llegar a pensar que el diseñar la interfase que estimule todos los sentidos a la vez sería lo más efectivo. El problema es que en el mundo real rara vez recibimos este tipo de señal mixta. Los sentidos normalmente se activan por pares y no los cinco al mismo tiempo. Es muy común tener experiencias que involucren el sentido del tacto y la vista, el sentido del olfato y el gusto, el sentido del oído y la vista, etc. Por esta razón es importante no inundar nuestros sentidos con demasiada información y mantener las aplicaciones sencillas y orientadas a estimular un máximo de tres sentidos a la vez.

Para poder realmente utilizar al máximo las habilidades de la mente del usuario que fueron heredadas y/o adquiridas previamente, es

necesario enfocar el desarrollo de las aplicaciones a utilizar interfases que apliquen la bioretroalimentación su como base funcional, dónde el usuario pueda aprender como interactuar con el mundo virtual de manera simple, natural y aparentemente automática. Los usuarios tienden a adaptar la aplicación a experiencias pasadas y en ocasiones utilizan los dispositivos con mucho cuidado, desconfianza o miedo. Por ejemplo, se le preguntó a un conjunto de veinte usuarios si el costo del equipo de realidad virtual les hacia sentir incómodos con la interfase la mayoría de los usuarios sin experiencia en el área o muy jóvenes se sentían impactados y preocupados por el costo que tiene el equipo dándoles miedo romperlo como se puede ver en la imagen 55:

Es importante brindar confianza a los usuarios con interfases robustas y que no parezcan demasiado costosas para poder ayudar al usuario a relajarse. El estado anímico del usuario es básico para que pueda existir una correcta compenetración entre el usuario y la aplicación. Es todavía un reto hacer que personas que no tienen contacto con la realidad virtual la vean como una herramienta más de las ciencias computacionales, para mucha gente hoy en día este tema aún se encuentra en las fronteras de la ciencia ficción y el cine.

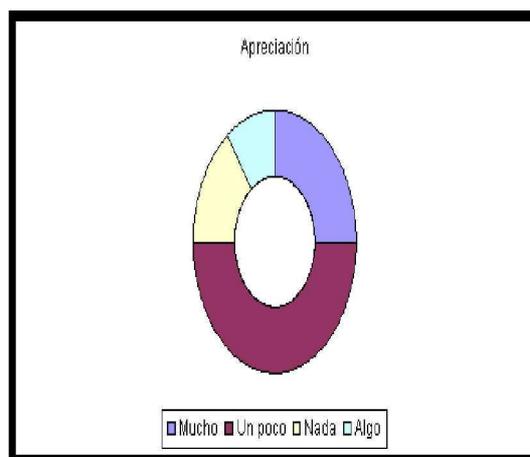


Figura 55: Adaptación del usuario.

### **3.3 Comparaciones del método y rectificación de la hipótesis**

Como primera aproximación, en nuestra investigación comenzamos utilizando los sentidos como base y no como medio de la interacción, con la creación de estas herramientas interactivas. Aprendimos que los sentidos deben formar parte de la interfase, ser parte de ella para poder así orientar los mensajes a la mente del usuario, considerando los factores de pre procesamiento de cada sentido y al mismo tiempo usar las habilidades preceptuales del usuario para modelar, diseñar y crear aplicaciones complejas con interfases intuitivas, simples, auto explicativas, con dos vías de comunicación que permitan bioretroalimentación. Las heurísticas de usabilidad y los parámetros utilizados en la industria ISO 13407 no garantizan el nivel de inmersibilidad. Un control detallado una imagen, seguir parámetros ergonómicos y centrar el diseño en pruebas exhaustivas no garantiza la sensación que el usuario va a experimentar y por lo mismo es necesario hacer interfases flexibles que ayuden a la aplicación para que esta se vuelva una aplicación inteligente, por medio de pequeños monitoreos en las actividades del usuario en el mundo virtual para poder extraer el comportamiento del usuario, leer sus intenciones y plasmarlas en reacciones anticipadas del sistema. No podemos hacer una interfase para cada usuario ni una aplicación para cada persona, pero podemos moldear las aplicaciones para que por medio de interfases reactivas puedan adaptarse lo mejor posible al usuario dando la apariencia de estar diseñadas para responder de manera única a la percepción de cada individuo aumentando la inmersibilidad y la sensación de que el ambiente representado en la aplicación se parece mas al mundo físico.

### **3.4 Resultados en acción**

Nuestras experiencias nos han permitido clasificar la interacción en orden de poder atacar casos específicos permitiéndonos llenar el espacio de las necesidades del usuario en escenarios particulares con situaciones específicas.

- Orientadas a tareas
- Tradicionales con narrativa lineal

- Realidad Mixta
- Artísticas

Para tener una idea completa de cómo podemos impactar más la percepción del usuario hemos separado por categorías a las aplicaciones para asegurarnos de que esta aplicación tiene la capacidad de adaptarse de manera única al punto de vista del usuario dadas sus características, sus limitaciones y su objetivo, pero al mismo tiempo recordando que nuestro objetivo primario en el diseño de la interfase es mejorar, cambiar o aumentar las habilidades del usuario proveyendo elementos que son utilizables solamente en el ambiente virtual brindando un extra a su uso y haciendo la experiencia necesaria, completa y sustentada. Para poder realizar esta separación a continuación presentamos una tabla (tabla 2) a la cual llegamos después de probar el impacto de los objetos, los métodos de navegación, control, visibilidad, disponibilidad de los datos, manejabilidad de los objetos, tipos de objetos, intenciones de la aplicación e intenciones de los usuarios.

La pregunta que entonces queda sin contestar es, si le damos la libertad y realismo al mundo virtual como una cantidad finita de acciones preprogramadas pueden competir con la imaginación infinita del usuario, parece imposible poder adaptar o crear un sistema que se moldee de manera dinámica con el usuario, sobre todo para poder cubrir toda la gama de expectativas del usuario dentro de un ambiente acotado y preconcebido en un mundo virtual que forzosamente tiene límites y contiene un número finito de elementos preprogramados. Aunque al caracterizar una aplicación como una aplicación orientada a la acción reducimos esta gama de posibilidades y limitamos de manera correcta los límites del mundo virtual representa un reto enorme leer los deseos del usuario ya que queremos que la experiencia sea tan cercana a la realidad como sea posible, para asegurarnos de que el usuario se sentirá como lo haría en el lugar específico donde la aplicación se desarrolla y que experimente la situación representada de manera completa necesitamos mezclar la correcta manipulación de los objetos, crear rutas cortas para agilizar tareas basados en el previo uso de la herramienta permitiendo que la aplicación aprenda del usuario y que el usuario aprenda de la aplicación, esto es básico en aplicaciones de entrenamiento virtual y en sistemas de manipulación remota donde precisión en la emulación y congruencia

física no solo son importantes para la satisfacción del usuario sino son fundamentales para el éxito de la aplicación y el logro de los objetivos. De esta forma es importante lograr una compleja unión que aparente ser simple entre el usuario y la aplicación haciéndola convincente y útil.

Cuando no se tiene una referencia basada en objetivos, es decir cuando tenemos una interfase por referencia por ejemplo en una aplicación de arte, se hace considerablemente más complejo modelar una interfase flexible, un punto importante en estos casos es el de tomar en cuenta el sentimiento general que envuelve a la aplicación, definiendo que se quiere transmitir y por medio de cambios ligeros en la ambientación revisar las reacciones, movimientos y acciones de los usuarios para poder aparentar adaptación en la aplicación, este proceso requiere pruebas con varios usuarios de diversos perfiles y una integración de varios escenarios en la aplicación lo cual requiere mayor trabajo en iluminación, texturas, retroalimentación, cambios en las velocidades de reacción de las cámaras, etc. Todo aquello que modifique la ambientación debe ser controlado y modificado sutilmente en este tipo de aplicaciones si se quiere lograr un cambio en la percepción del usuario. Tanta abstracción nos deja con una vaga idea de cómo realizar un diseño de interfase y de aplicación inteligente que pueda adaptarse a los usuarios. Por el motivo anterior en esta sección proponemos un plan de diseño homologado que permite utilizar los perfiles psicológicos del usuario para modelar su comportamiento de manera que se pueda categorizar al usuario y modificar la aplicación de manera dinámica sin el uso excesivo de recursos.

Para un sistema de realidad virtual concebido como tal usuario, interfase y aplicación debe tener características que demuestren su adaptabilidad, flexibilidad y velocidad de respuesta existen dos tendencias una orientada al diseño para la realidad virtual practica orientada a diseño, función y objetivos y otra para crear sistemas no orientadas al diseño, con objetivos abstractos y con orientación a las ciencias humanas, estudios psiquiátricos y arte.

El diseño de realidad virtual orientada al diseño puede ser centrada en el usuario y esta trata de brindar un ambiente propicio al usuario para realizar tareas específicas y puede ser definida la percepción como parte de un ciclo de retroalimentación percepción acción percepción

que facilitan el uso de herramientas, etc. Y en el diseño de realidad virtual no orientada al diseño se trata a la percepción como función del espacio y la inmersión definiendo espacios y la interacción con ayuda de iluminación, buen diseño geométrico de los espacios y creando interfaces en movimiento, pero nuevamente en estas tendencias se involucra al usuario sin individualizar la experiencia y confundiendo realismo con foto realismo y percepción como retroalimentación en la realización de tareas.

En estos modelos utilizan el siguiente esquema para definir el ambiente:

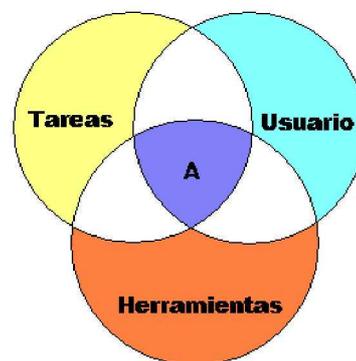


Figura 56: Definición del ambiente basado en tareas.

De esta manera se especifica como una combinación de tareas que debe realizar el usuario con ciertas herramientas dadas, haciendo se así la realidad virtual una herramienta genérica para una implementación genérica cuyo objetivo es solo mejorar los estándares de productividad del usuario.

### **3.5 Trabajo futuro**

Hemos establecido un grupo de metas perceptivas en varios usuarios, pero hemos centrado nuestros esfuerzos en modificar la interfase y uno de los extremos de la interfase, la aplicación pero hemos dejado a un lado la idea de modificar al usuario. Esta idea puede sonar controversial y drástica pero reconocemos la posibilidad que existe de hacerla una realidad, como describimos en el capítulo primero la plasticidad del cerebro humano esta presente en el cerebro adulto y es posible entrenar con bioalimentación a un usuario para poder influenciar sus reacciones inconscientes y lograr comportamiento reactivo relacionado con la manera misma en la que aprendemos a controlar nuestros movimientos, cuando aprendemos a caminar, a tomar objetos, etc. Podemos tratar de lograr que un usuario aprenda a controlar la manera en la que el usuario aprecia la tercera dimensión. Es nuestra teoría que si un grupo de imágenes es desplegada frente al usuario de manera alternada y al mismo tiempo se estimula la retina de cada ojo de manera alternada con un LED intenso, no muy brillante para evitar y se estimula al mismo tiempo el oído del mismo lado de la cabeza que el ojo estimulado con un zumbido característico se puede al principio con la ayuda de lentes activos 3D de oclusión entrenar al usuario para que este aprenda cuando la imagen del ojo derecho y cuando la imagen del ojo izquierdo esta siendo desplegada. Este experimento puede probar la factibilidad de modificar al usuario y puede ser un gran paso para el diseño de aplicaciones donde el usuario sea parte de la misma aplicación.

## Referencias

- [1] L. R. Goebel Martin, Michitaka Hirose, “Todays virtual reality,” in *IEEE Computer Graphics and Applications*, November/December 2001.
- [2] N. O. Harada Y., “Collaborative interactive and collaborative learning environment using 3d virtual reality content multi-screen display and pcs,” in *WET ICE IEEE 8th International Workshops*, 1999, p. 238 244.
- [3] H. Ishii, “Tangible interfaces,” in *In Proceedings of SIGGRAPH 99*, vol. CM Press / ACM SIGGRAPH, Annual Conference Series, November 1999, p. 127.
- [4] P. G. Ogden, “Human computer interaction in complex process control: developing structured mental models that allow operators to perform effectively,” in *People in Control*, vol. IEEE Conf. No. 481, 2001, pp. 120–125.
- [5] C. Cruz-Neira, D. J. Sandin, and T. A. DeFanti, “Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the cave,” in *SIGGRAPH '93: Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*. New York, NY, USA: ACM Press, 1993, pp. 135–142.
- [6] J. S. y Fernando Aguayo, “Blind learners programming through audio,” in *CHI '05: CHI '05 extended abstracts on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA: ACM Press, 2005, pp. 1769–1772.
- [7] S. Takagi, N. Matsuda, M. Soga, H. Taki, T. Shima, and F. Yoshimoto, “A learning support system for beginners in pencil drawing,” in *GRAPHITE '03: Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia*. New York, NY, USA: ACM Press, 2003, pp. 281–282.
- [8] J. A. P. et al., “Interactive therapy with instrumented footwear,” in *ACM CHI Late Breaking Results Paper*, 2004.
- [9] J. Sykes and S. Brown, “Affective gaming: measuring emotion through the gamepad,” in *CHI '03: CHI '03 extended abstracts on*

*Human factors in computing systems.* New York, NY, USA: ACM Press, 2003, pp. 732–733.

- [10] M. G. A. N. M. P. M. D. M. B. Bersak, D. and Karku, “Intelligent biofeedback using an immersive competitive environment.” in *In Proceedings of UBICOMP 2001 Workshop on Ubiquitous Gaming.*, 2001.
- [11] e. a. Mc.CARTY, W Dean, “A virtual cockpit for a distributed interactive simulation.” in *Computer graphics and applications*, vol. IEEE, Enero 1995.
- [12] R. V. Daniel Chen, “Using mental load for managing interruptions in physiologically attentive user interfaces,” in *CHI '04: CHI '04 extended abstracts on Human factors in computing systems.* New York, NY, USA: ACM Press, 2004, pp. 1513–1516.
- [13] G. DR., *Listening in the Dark the Acoustic Orientation of Bats and Men.*, Yale University Press, 1958.
- [14] S. Joan, “Neural plasticity and cognitive development,” in *DEVELOPMENTAL NEUROPSYCHOLOGY*, vol. 18(2), November/December 2001, p. 237272.
- [15] P. Bach-y Rita, M. E. Tyler, and K. A. Kaczmarek, “Seeing with the brain,” *Internation journal of human-computer interaction*, vol. 15, no. 2, pp. 285–295, 2003.
- [16] J. C. K. H. Randy Pausch, “A survey of design issues in spatial input,” in *University of Virginia. Departments of Neurosurgery and Computer Science. UIST*, November 1994, pp. 213–222.
- [17] J.-M. J. KALYAN C. DONEPUDI, “A higher order parallelized multilevel fast multipole algorithm for 3-d scattering,” in *IEEE transactions on antennas and propagation*, vol. 49, July 2001.
- [18] M. D. W. Yoichi Sato, “Object shape and reflectance modeling from observation.” [Online]. Available: <http://www.cvl.iis.u-tokyo.ac.jp/ysato>
- [19] T. Kanade, “Virtualized reality: Digitizing a 3d time-varing event as is and real time.” [Online]. Available: <http://www-2.cs.cmu.edu/virtualized-reality/>
- [20] T. U. T. M. Hiroo Iwata, Hiroaki Yano, “Food simulator.” in *ICAT*, 2003.

- [21] S. T. M. I. Hiroyuki Kajimoto, Naoki Kawakami, “Smarttouch: Electric skin to touch the untouchable.” *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 24, no. 1, pp. 36–43, 2004.
- [22] M. W. F. P. B. J. Benjamin Lok, Samir Naik, “Effects of handling real objects and avatar fidelity on cognitive task performance in virtual environments,” in *VR '03: Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2003*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2003, p. 125.
- [23] O. Grau, *From Illusion to Immersion*. The MIT Press. USA., October 2004.
- [24] G. MINER, *Lines and Electromagnetic Fields for Engineers*. USA: Oxford University Press, 1996.
- [25] R. C. Dorf, *Introduction to Electric Circuits*. John Wiley Sons, 2007.
- [26] R. S. Kraiss Karl-Friedrich, Torsten Kuhlen, “How vr-based reach to grasp experiments can help to understand movement organization within the human brain.” *Presence*, vol. 9, no. 4, pp. 350–359, 2000.
- [27] R. S. Kuhlen Torsten, “Maestro - a tool for interactive assembly simulation in virtual environments,” in *7th EG Workshop on Virtual Environments, 5th Immersive Projection Technology Workshop*, 2001, pp. 141–152.
- [28] R. v. L. Jurriaan D. Mulder, “Fast perception-based depth of field rendering.” in *VRST*, 2000, pp. 129–133.
- [29] K. Karl-Friedrich, *Advanced Man-Machine Interaction: Fundamentals and Implementation (Signals and Communication Technology)*. Secaucus, NJ, USA: Springer-Verlag New York, Inc., 2006.
- [30] O. D. Luft Thomas, Carsten Colditz, “Image enhancement by unsharp masking the depth buffer,” *ACM Trans. Graph.*, vol. 25, no. 3, pp. 1206–1213, 2006.
- [31] D. D. Rusinkiewicz Szymon, Michael Burns, “Exaggerated shading for depicting shape and detail,” in *SIGGRAPH '06: ACM SIGGRAPH 2006 Papers*. New York, NY, USA: ACM Press, 2006, pp. 1199–1205.

- [32] J. Fischer, “Rendering Methods for Augmented Reality,” Dissertation, University of Tübingen, 2006.
- [33] I. R. Diaz Marissa, “Object, function, action for tangible interface design,” in *GRAPHITE’04 Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia*. New York, NY, USA: ACM Press, 2004, pp. 106–112.
- [34] M. J. Harold Thimbleby, Paul Cairns, “Usability analysis with markov models.”
- [35] R. L. M. T.Ñ. Cheok Adrian David, Carsten Magerkurth, “Pervasive games: bringing computer entertainment back to the real world,” *Computer Entertain.*, vol. 3, no. 3, pp. 4–4, 2005.
- [36] J. T. K. S. G. P. L. D. C. W. J. W. C. F. F. Shang Ping Lee, Adrian David Cheok, “A mobile pet wearable computer and mixed reality system for human-poultry interaction through the internet.” *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 10, no. 5, pp. 301–317, 2006.
- [37] H. Benko, E. W. Ishak, and S. Feiner, “Collaborative mixed reality visualization of an archaeological excavation,” in *ISMAR ’04: Proceedings of the Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR’04)*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2004, pp. 132–140.
- [38] H. Fuchs, “Immersive integration for virtual and human-centered environments.” in *VL/HCC*, 2005, p. 13.
- [39] H. Y. H. T. Ohshima T, K. Satoh, “Ar2 hockey: A case study of collaborative augmented reality,” in *VRAIS ’98: Proceedings of the Virtual Reality Annual International Symposium*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 1998, p. 268.
- [40] M. O. Henrysson Anders, Mark Billinghurst, “Face to face collaborative ar on mobile phones,” in *ISMAR ’05 Proceedings of the Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2005, pp. 80–89.
- [41] J. Ohya, Y. Kitamura, H. Takemura, F. Kishino, and N. Terashima, “Real-time reproduction of 3d human images in virtual space teleconferencing.” in *VR*, 1993, pp. 408–414.

- [42] I. R. Alencastre-Miranda Moises, Lourdes Muñoz, “Teleoperating robots in multiuser virtual environments,” in *ENC03: Proceedings of the 4th Mexican International Conference on Computer Science*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2003, p. 314.
- [43] L. M.ñ.-G. I. R. Marissa Diaz, Moises Alencastre-Miranda, “Multi-user networked interactive augmented reality card game,” in *CW06 Proceedings of the 2006 International Conference on Cyberworlds*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2006, pp. 177–182.
- [44] H. Ishii and B. Ullmer, “Tangible bits: Towards seamless interfaces between people, bits and atoms,” in *CHI*, 1997, pp. 234–241. [Online]. Available: [citeseer.ist.psu.edu/ishii97tangible.html](http://citeseer.ist.psu.edu/ishii97tangible.html)
- [45] T. Harold, “The immersant experience of osmose and ephemere,” in *ICAT '05 Proceedings of the 2005 international conference on Augmented tele-existence*. New York, NY, USA: ACM Press, 2005, pp. 148–155.
- [46] R. Ascott, “Behaviourist art and the cybernetic vision,” in *Cybernetica Vol 9*, 1966, pp. 247–264.
- [47] L. E. I. R.-D. R. Marissa Diaz, Eduardo Hernandez, “Capturing water and sound waves to interact with virtual nature,” in *ISMAR '03: Proceedings of the The 2nd IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2003, p. 325.
- [48] R. B. E., “Influence of auditory cues on the visually-induced self-motion illusion,” in *(Circular Vection) in Virtual Reality*, 2001.

## TABLA DE ILUSTRACIONES

IMAGEN 1. El ojo humano .....	12
IMAGEN 2. Capas de la retina.....	12
IMAGEN 3. Camino visual del chiasma óptico a los lóbulos occipitales visto desde el aspecto basal. Por Terence H. Williams,M.D.,Ph.D.,D.Sc., Nedzad Gluhbegovic,M.D.Ph.D. y Jean Y. Jew, M.D. ....	13
IMAGEN 4. El cerebro y las ilusiones ópticas.....	16
IMAGEN 5. Esquema de la piel. Ilustración de Encarta .....	17
IMAGEN 6. Sistema auditivo .....	20
IMAGEN 7. Oído medio.....	21
IMAGEN 8. Mapa de la lengua.....	23
IMAGEN 9. El proceso de bioretroalimentación .....	27
IMAGEN 10. Viendo por la lengua, J Miller Science News, <u>Vol. 160, No. 9</u> , Septiembre 1, 2001, p. 140.....	31
IMAGEN 11. Dos tipos de interferómetros a) tipo Michelson y b) Fizeau/Fabry-Perot .....	35
IMAGEN 12. Tabla de las características de las interfaces tradicionales y las de realidad virtual .....	36
IMAGEN 13. Mejoramiento de la apariencia de profundidad mediante el método de Luft.....	47
IMAGEN 14. Mejoramiento de la imagen por medio de la exageración del sombreado .....	48
IMAGEN 15. Comparativa 1 Resultados Cartas.....	60
IMAGEN 16. Comparativa 2 Resultados Cartas.....	61
IMAGEN 17. Comparativa adecuación .....	62
IMAGEN 18. Entorno virtual.....	68
IMAGEN 19. Interacción con las cartas .....	68
IMAGEN 20. Diagrama funcional del sensor de ondas.....	72
IMAGEN 21. Sensores de ondas y módulo central.....	73
IMAGEN 22. Previsualización de la instalación y versión final.....	73
IMAGEN 23. Escenarios de Ciudad Nevada, Lago y Río Nublado.....	74
IMAGEN 24: Interacción con la ciudad nevada .....	75
IMAGEN 25. Estanque virtual .....	77

IMAGEN 26. Retroalimentación de los usuarios.....	77
IMAGEN 27. Árbol real (izquierda) y árbol virtual (derecha) .....	78
IMAGEN 28. Árbol sensor .....	79
IMAGEN 29. Planta conectada a PC y sensor de humedad.....	80
IMAGEN 30. Sensor de agua.....	90
IMAGEN 31. Sensores usados para la triangulación y efectos de la interacción del usuario en el mundo virtual. ....	91
IMAGEN 32. Dispositivo de sensado de aire .....	93
IMAGEN 33. Visualización previa, ambientes e instalación real.....	94
IMAGEN 34 : Imagen base.....	99
IMAGEN 35 : Imagen base (Escala de gris).....	99
IMAGEN 36: Primera Capa.....	100
IMAGEN 37: Capa principal .....	100
IMAGEN 38 a y b: Simulando el movimiento del ojo con color.....	101
IMAGEN 39: Viendo detrás de obstáculos.....	101
IMAGEN 40 : Filtros aplicados a un cuadro de video.....	103
IMAGEN 41: Video en tiempo real.....	104
IMAGEN 43 Diagrama de bloques del sensor resonante .....	111
IMAGEN 44 : Dirección en el mundo virtual .....	113
IMAGEN 45: Patrón de intensidad del estímulo.....	114
IMAGEN 46 Patron de definición de colores .....	115
IMAGEN 47: Cambios en el patrón de color.....	117
IMAGEN 48: Cambios en el patrón de tamaño .....	117
IMAGEN 50: Cambios de movimiento .....	118
IMAGEN 50: Cambios en la velocidad .....	118
IMAGEN 51: Objetos ocultos .....	120
IMAGEN 52: Triangulo de Kanizsa.....	120
IMAGEN 53: Colores y patrones .....	121
IMAGEN 54: Espiral de Fraser .....	122
IMAGEN 55: Adaptación del usuario .....	126
IMAGEN 56. Definición del ambiente basado en tareas.....	130

**ANEXO 1**  
**PRUEBAS CON INTERFAZ TÁCTIL**  
**EXPERIMENTO A**  
**JUEGO AUMENTADO DE CARTAS**

Participante 1						
	Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
Tiempo completado	8	5	4.3	6	17.3	4.325
Tiempo reacción	1	0.8	0.7	0.84		
Tiempo acoplamiento	2	1	1	0.8		
Numero de tareas completadas	3	4	4	4		

Participante 11						
	Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
Tiempo completado	3.5	4	3.2	3.5	10.7	2.675
Tiempo reacción	0.9	1	0.8	0.94		
Tiempo acoplamiento	1	1	0.9	0.9		
Numero de tareas completadas	4	5	5	5		

Participante 2					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
7	4.8	4.7	4	13.5	2.25
0.8	0.6	0.65	0.6		
3	2	2	0.9		
6	5	4	4		

Participante 12					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
5	2.5	3	4	10.5	2.625
1.1	0.7	0.9	0.6		
2	1	1	0.9		
4	6	5	4		

Participante 3					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
6	5	5	5	16	3.2
0.85	0.7	0.7	0.7		
1	1	0.9	0.8		
5	4	6	4		

Participante 13					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
3	2.9	3	3	8.9	1.78
0.7	0.7	0.7	0.7		
0.9	0.89	0.9	0.8		
5	6	2	5		

Participante 4					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
5	4	3.9	4	12.9	2.58
0.7	0.6	0.54	0.65		
2	1.5	1.7	1		
5	5	6	5		

Participante 14					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
4	3.2	3.9	3.5	11.1	2.22
0.8	0.7	0.7	0.8		
1	0.9	0.9	1		
5	3	4	3		

Participante 5					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
3	2.5	2.5	3	8	1.6
0.4	0.34	0.34	0.4		
0.9	0.8	0.8	0.9		
5	5	6	5		

Participante 15					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
3	2.9	3	3	8.9	2.225
0.7	0.69	0.7	0.4		
0.9	0.8	0.9	0.9		
4	4	5	3		

Participante 6					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
4	5	4.6	4	13.6	6.8
0.8	0.8	0.75	0.8		
1	0.9	1	0.8		
2	5	4	3		

Participante 16					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
5	5	5	4.3	15	7.5
0.9	0.8	0.75	0.9		
1	1	1.2	0.9		
2	1	1	2		

Participante 7					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de ad	Promedio de éxito
5	4.3	4.7	4.5	13.5	3.375
1	0.73	0.8	0.8		
1	0.9	0.9	0.9		
4	4	3	5		

Participante 17					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de ad	Promedio de éxito
4	3.8	3.7	5	12.5	4.166666667
1	0.73	0.8	0.8		
0.9	0.9	0.85	0.9		
3	5	3	4		

Participante 8					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de ad	Promedio de éxito
3	2.5	1	2.8	6.5	1.3
0.6	0.5	0.45	0.52		
0.9	0.8	0.8	0.8		
5	6	6	6		

Participante 18					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de ad	Promedio de éxito
2.8	2.5	2	2	7.3	1.216666667
0.8	0.7	0.4	0.5		
0.5	0.4	0.9	0.9		
6	2	5	3		

Participante 9					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
4	4	3.8	4	11.8	2.95
0.7	0.7	0.65	0.7		
1	0.9	1.1	1		
4	4	3	2		

Participante 19					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
2.5	3	2.9	3	8.4	2.1
0.6	0.6	0.7	0.8		
0.9	0.8	0.9	1		
4	5	6	4		

Participante 10					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
2	1	1	2.3	4	0.8
0.34	0.3	0.3	0.3		
0.9	0.8	0.8	0.9		
5	6	6	5		

Participante 20					
Juego 1	Juego 2	Juego 3	Juego normal	Tiempo de adecuación	Promedio de éxito
5	4.6	5	4.5	14.6	4.866666667
0.8	0.9	0.7	0.8		
1	0.9	0.8	0.9		
3	4	2	5		

**ANEXO 2**  
**TRABAJO EXPERIMENTAL CON**  
**TRUCOS VISUALES LIGADOS A LA**  
**PERCEPCIÓN**

**CUESTIONARIOS VIDEO 3D**

Favor de contestar las siguientes preguntas

#### FILM A

- 1.- Cual es el tema general de la película
- 2.- Que personajes aparecen en el video
- 3.- Te identificaste con alguno de los personajes si la respuesta es afirmativa con cual?
- 4.- Que momento te emocionó más de la película?
- 5.- Que sentiste más real?
- 6.- Que parte de la película te llamó más la atención?
- 7.- Te gustaron más...

a) Los primeros 10 minutos      b) los últimos 10 minutos      c) igual

- 8.- Que sensación te dio la película?
- 9.- Sentiste más realismo en ...

a) Los primeros 10 minutos      b) los últimos 10 minutos      c) igual

#### FILM B

- 1.- Cual es el tema general de la película
- 2.- Que personajes aparecen en el video
- 3.- Te identificaste con alguno de los personajes si la respuesta es afirmativa con cual?
- 4.- Que momento te emocionó más de la película?
- 5.- Que sentiste más real?
- 6.- Que parte de la película te llamó más la atención?
- 7.- Te gustaron más...

a) Los primeros 10 minutos      b) los últimos 10 minutos      c) igual

- 8.- Que sensación te dio la película?
- 9.- Sentiste más realismo en ...

a) Los primeros 10 minutos      b) los últimos 10 minutos      c) igual

10 AB.- Sentí que la película más realista fue :

a) El film A      b) El film b      c) fueron igual de realistas

**ANEXO 3**  
**TRABAJO EXPERIMENTAL EN**  
**RETROALIMENTACIÓN AUDITIVA**

Participante	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Tiempo de adecuación	0.9	0.8	0.7	0.8	0.9	0.6	0.9	0.8	0.8	0.9	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7	0.9
Promedio de éxito	2.2	3.8	4.3	5	3.3	3.3	3.3	2.5	5	4.4	2.9	3.8	3.3	2.5	1.4	6.3	3.3	2.5	4.3	2.2
Numero de tareas completadas	2	3	3	4	3	2	3	2	4	4	2	3	3	2	1	5	3	2	3	2

## GLOSARIO

Adecuación	Acción y efecto de adecuar, proporcionar, acomodar, apropiar algo a otra cosa.
Animación Animation	Procedimiento de diseñar los movimientos de los personajes o de los objetos y elementos Técnicas de animación
Apariencia Appearance Modeling Appearance Representation ARGUS	Aspecto o parecer exterior de alguien o algo. Verosimilitud, probabilidad. Técnicas de modelado de la apariencia Técnicas de representación de la apariencia Sistema de tramas aumentadas de video
Bioretroalimentación Cartografía	El control de una reacción biológica por medio de la reacción que provoca. Arte de trazar mapas geográficos.
CAVE	Ambiente de alta resolución de video 3D y audio con capacidad de proyectar imágenes para múltiples usuarios en tres, cuatro o cinco de sus paredes)
Conexión virtual	Efectos entre los fenómenos capturados por el usuario y la respuesta otorgada por el sistema de simulación
Depth Buffer	Localidades de memoria destinadas a guardar información sobre la profundidad en el dibujado de una escena.
DOF	Profundidad de campo viene de las siglas Depth of field.
Ecolocación	Habilidad de conocer la posición relativa con el sonido.
Ergonomía Fluids	Ciencia que estudia la capacidad y la psicología del hombre en relación con su trabajo y la maquinaria o equipo que maneja, y trata de mejorar las condiciones que se establecen entre ellos. Técnicas de simulación de fluidos
Force-feedback FSM	Respuesta física al proporcional a una fuerza u oposición. Máquinas de estados finitos
GSR	Método de medición de la presión arterial por medio galvánico.
High Dynamic Range (HDR) and Systems Image Capture	Técnicas de contraste con alto rango dinámico y sistemas de procesamiento de imagen Técnicas de captura de imagen.
Image Collections Image Manipulation	Técnicas de búsqueda en based de datos de colecciones de imágenes Técnicas para manipulación de imágenes.
Image Processing	Técnicas para manipulación y procesamiento de imágenes.
Inmersión	Acción y efecto de introducir o introducirse en un ámbito real o imaginario, en particular en el conocimiento de una lengua determinada
Interacción	Acción que se ejerce recíprocamente entre dos o más objetos, agentes, fuerzas, funciones, etc

Interfase	Aquello que une dos entidades que están alienadas en uno o más sentidos, es decir la interfase por su naturaleza se vuelve el punto de contacto entre las fronteras de mundos, regiones, sustancias u objetos.
Kinestesia	También escrito como Cinestesia se refiere a la percepción del equilibrio y de la posición de las partes del cuerpo.
Light Transport	Técnicas de desplazamiento de la luz.
Mallas poligonales	Cada uno de los cuadriláteros o triángulos, formados por líneas o superficies que se cruzan y se anudan en sus vértices, constituyen el tejido de una red poligonal.
Matting and Deblurring	Técnicas para eliminar el brillo y quitar defectos ocasionados por el movimiento de cámara
Meshes	Técnicas de creación y modificación de mallas de polígonos.
Motion Capture	Técnicas de captura de movimiento
Non-Photorealistic Rendering	Técnicas de dibujado no realista
Numerical and Geometric Algorithms and Crowds	Algoritmos numéricos y geométricos para el cálculo de multitudes
Percepción	Sensación interior que resulta de una impresión material hecha en nuestros sentidos.
Plasticidad	Cualidad de plástico. Capaz de ser modelado.
Precomputed Transfer	Técnicas de transferencia pre procesada.
Realismo	Sistema estético que asigna como fin a las obras artísticas o literarias la imitación fiel de la naturaleza.
Sampling and Ray Tracing	Técnicas de iluminación por muestreo y traza de rayos.
Shape Deformation	Técnicas de deformación de la figura
Shape Matching and Symmetry	Técnicas para emparentar patrones y uso de simetría
Shape Modeling and Textures	Técnicas de modelado de figuras y uso de texturas
SIGGRAPH	Congreso Internacional de gráficas computacionales reconocido
Surfaces	Técnicas de creación y modificación de superficies
Virtualidad	Cualidad de virtual.