

# REALIDAD VIRTUAL: UN MEDIO DE COMUNICACION DE CONTENIDOS Aplicación como herramienta educativa y factores de diseño e implantación en museos y espacios públicos

**Antonio Otero Franco**

Investigador Doctor

Laboratorio de Sistemas. Departamento de Electrónica y Computación.  
Universidad de Santiago de Compostela - Campus Vida, 15782, Santiago de  
Compostela (España) - Email: [antonio.otero@usc.es](mailto:antonio.otero@usc.es)

**Julián Flores González**

Profesor Titular

Laboratorio de Sistemas. Departamento de Electrónica y Computación.  
Universidad de Santiago de Compostela - Campus Vida, 15782, Santiago de  
Compostela (España) - Email: [julian.flores@usc.es](mailto:julian.flores@usc.es)

## **Palabras clave**

*Realidad Virtual, Medios Inmersivos,  
Medios Interactivos, Museística,  
Computación Gráfica, Usabilidad*

## **Key Words**

*Virtual Reality, Immersive Media,  
Interactive Media, Museum Technology,  
Computer Graphics, Usability*

## **Abstract**

In this paper a reflection will be made about the broad possibilities offered, as a content communication tool, by Virtual Reality and Immersive and Interactive visualization systems, with special emphasis in its pedagogical approach towards museums and public spaces. Main design and implementation factors and constraints, in the deployment of this kind of media into exhibits and expositions are analyzed. Two relevant case studies are presented, allowing a broad analysis of the most usual design and development techniques of this kind of projects.

Also some of the most common procedures in providing the applications with a coherent, didactic and learning-oriented content will be discussed. *Botafumeiro VR* project shows the basic concepts, inherent to virtual environments, of immersion, interaction, feedback and presence.

*The Submarine Voyage* project is an example of the classic genre, within VR, of Virtual Walkthroughs.

## Resumen

En el presente artículo se hará una reflexión sobre las amplias posibilidades ofrecidas por la Realidad Virtual (RV) en general, y los sistemas de visualización inmersiva e interactiva en particular, como vehículo de comunicación de contenidos, bajo una aproximación pedagógica orientada hacia la museística y los espacios públicos. Se analizarán las características principales de este medio de cara a la transmisión de información, así como aquellos factores de diseño e implantación más relevantes en su aplicación al ámbito de los museos y exposiciones. Se utilizarán dos casos de estudio de particular relevancia para exponer alguna de las técnicas de diseño, desarrollo e implementación más usuales a la hora de abordar un proyecto de estas características, y los procedimientos seguidos para dotarlos de un contenido relevante, coherente y didáctico.

El primer trabajo presentado, denominado “*Botafumeiro Virtual*”, si bien tiene un alcance limitado en la proporción de contenido presentado, encierra y ejemplifica, en su concepción, los conceptos básicos de inmersión, interacción, realimentación y presencia, inherentes a los entornos virtuales, además de ser un original propuesta para la puesta en valor conceptos relativos al patrimonio-histórico-artístico-cultural, como lo demuestran los diferentes premios y menciones obtenidas.

El segundo proyecto presentado, corresponde al “género” clásico de la Realidad Virtual denominado “*Virtual Walkthrough*”, o “Paseo Virtual” en donde se presentan una serie de contenidos, orientados hacia el patrimonio natural en este caso particular, de una forma “mixta”, utilizando las técnicas narrativas audiovisuales tradicionales, en conjunción con elementos heredados de los entornos virtuales.

## Introducción

La introducción de nuevas tecnologías y procedimientos de trabajo en diferentes áreas como la ciencia, las artes, o la educación va en relación con la inercia en la metodología utilizada en su desarrollo y la relación entre coste y beneficios. Esto es especialmente notable cuando se trata de tecnologías como la Realidad Virtual, donde hasta hace pocos años los altos precios del equipamiento necesario para unos gráficos realistas básicos y los costosos dispositivos de interacción, causaban que

únicamente las universidades, centros de investigación y las grandes empresas poseyeran este tipo de equipos. De la misma manera las posibles aplicaciones de esta tecnología han sido escasas y sólo tenían aplicación práctica en casos como la simulación o la ingeniería. Sin embargo esto ha cambiado sustancialmente en los últimos años debido a la dramática reducción de los costes de la infraestructura y el equipo necesarios para el desarrollo de una aplicación de Realidad Virtual. En la actualidad la

aplicación de esta tecnología a áreas en las que antes solo era una posibilidad distante,

como en museos o centros educativos, es una posibilidad real.

## Objetivos

El objetivo principal de este artículo es realizar un análisis sobre las amplias posibilidades ofrecidas por la RV como herramienta pedagógica orientada hacia las instituciones de educación informal. Como objetivos secundarios se destacan, el realizar una discusión sobre las características principales de la RV como medio de co-

municación; identificar factores de diseño e implantación de aplicaciones pedagógicas en museos y espacios públicos; discutir elementos de interés como: tecnologías más apropiadas, creación de contenidos, diseño e implementación de técnicas interactivas e interfaces, etc.

## Estructura del artículo

Se presenta una breve introducción a los fundamentos básicos de la RV y su caracterización como herramienta pedagógica. Se exponen, a su vez, aquellas opiniones más contrastadas por investigadores del medio y que relacionan la RV con los medios de comunicación “clásicos”.

Se completa el análisis, a través de la exposición en detalle de dos casos de estudio particulares, paradigmáticos de las actuaciones que se están realizando de cara a la incorporación de la RV a las instituciones de educación informal.

## 1. Realidad Virtual: Presente

Los campos de aplicación de la RV en sí, o de sus técnicas heredadas, abarcan un amplio espectro: los procesos industriales, medicina, entrenamiento, diseño de prototipos, simulación, ocio, etc. son algunos ejemplos donde la RV es una herramienta muy poderosa, sino fundamental. Gracias a este desarrollo multidisciplinar existen hoy en día un gran número de sistemas y de

técnicas nacidas en la órbita de la RV que nos permiten abordar la solución a diferentes problemas. La utilización de éstas técnicas resulta un valor añadido a la hora de presentar información, al crear un entorno inmersivo donde el usuario tiene la percepción de estar en un mundo “paralelo” o “sustituto” del real. La visión estereoscópica, sonido 3D y/o la inclusión de elemen-

tos físicos tangibles integrados en el mundo virtual introducirán un factor positivo a la hora de alcanzar una mayor sensación de presencia, incrementando el nivel de sensación o de experiencia, hecho muy interesante a la hora de planificar una aplicación orientada, por ejemplo, a la educación y/o al ocio. Durante la última década se ha producido un movimiento en esta dirección dentro de los campos de la museística y la educación, aplicando en ellos, las técnicas de visualización avanzada, realidad virtual, y entornos inmersivos, ampliamente utilizadas en otros ámbitos. Las ventajas que se pueden obtener de la RV aplicada al mundo de la educación son discernibles de forma directa, puesto que, el hecho de ser, por concepción, sistemas inmersivos, le otorgan un valor como fuente de información muy importante, ya que captan totalmente la atención del participante. El empleo de entornos colaborativos, el aprendi-

zaje mediante exploración, interacción, el sustituir el “no tocar” por el “toque, por favor”, etc., son ejemplos de cómo un sistema RV se puede convertir en una herramienta poderosa para la construcción de sistemas educacionales, y aplicaciones para museos, exhibiciones, etc., donde siempre se ha intentado utilizar las tecnologías más avanzadas en su día, para reconstruir el pasado, diseminar ideas, o demostrar nuevos conceptos. Los diseñadores de exhibiciones llevan intentando, desde el principio, utilizar todas las herramientas disponibles a su alcance para que el observador se sienta parte de lo que está observando. La realidad virtual ofrece un espectacular y efectivo modo de generar nuevas experiencias y emociones en los participantes de exhibiciones y visitantes de museos, sacudiendo ese envoltorio de “pasividad” que hasta ahora tenían este tipo de actividades.

## 2. Realidad Virtual: Conceptos

Si nos abstraemos del ámbito de la ciencia y de la tecnología puede resultar contradictoria la existencia de un medio que integre en su definición las palabras Realidad y Virtual, ciñéndose exclusivamente a la definición lingüística, la Realidad Virtual (RV) sería una realidad que tiene una existencia aparente y no real, afirmación con un claro contenido paradójico. Aún circunscribiendo esta definición al campo de la computación gráfica, y dada la relativa juventud de esta disciplina,

resulta complicado determinar de una manera concreta lo que es, y lo que no es, RV. La palabra virtual ha sido ampliamente utilizada dentro de las ciencias de la computación, en términos tan difundidos como memoria virtual, o máquina virtual, pero el significado de realidad es mucho más complejo, implicando profundas connotaciones filosóficas. En general, se podría decir que la RV es una rama de la computación gráfica cuyo principal objetivo es generar una sensación de pre-

sencia sobre los usuarios de un entorno sintético, estimulando los diferentes sentidos del cuerpo humano en tiempo real, empleando para ello los dispositivos apropiados de inmersión e interacción. Haciendo un análisis de los requisitos que una experiencia determinada debe cumplir para considerarse RV, podemos llegar a definir cuatro elementos clave, suficientes y necesarios, para ubicarla dentro de este ámbito (Sherman y Craig, 2002):

- **MUNDO VIRTUAL:** La existencia de un Mundo Virtual, esto es, una colección de objetos situados en un espacio determinado junto con las reglas y relaciones que los gobiernan. Cuando experimentamos este mundo virtual a través de un sistema que nos presenta estos objetos de manera físicamente inmersiva e interactiva, estaremos en un entorno de RV.
- **INMERSION:** El concepto de inmersión es común a casi cualquier tipo de medio de comunicación, desde una película, a un libro, pasando por un videojuego, en todos estos casos estaremos hablando de **inmersión mental o presencia**, donde el usuario del medio se desvincula de algún modo de la realidad cotidiana, para involucrarse dentro de la realidad alternativa ofrecida por el medio en cuestión. Existe otro tipo de inmersión, exclusiva de la RV, y que es una de sus características diferenciadoras frente a otros medios: la **inmersión física o inmersión**

**sensorial**, donde se suministran determinados estímulos físicos, generados de manera sintética, a los sentidos del usuario, sustituyendo o complementando los estímulos recibidos del medio natural.

- **INTERACTIVIDAD:** Una de las características básicas que ha de tener una aplicación de RV es que el mundo virtual responda a las acciones de los usuarios, esta cualidad se denomina **Interactividad**. El hecho de que sea posible una interacción a nivel usuario-mundo virtual dota de cierto grado de *autenticidad* a un medio como la RV.
- **REALIMENTACIÓN SENSORIAL:** A diferencia de los medios tradicionales, la RV permite a los participantes posicionarse en el mundo virtual de manera activa, empleando sistemas de posicionamiento, la RV da al usuario una respuesta sensorial en función de su posición física en el medio virtual. Generalmente esto se reduce a una respuesta visual, y/o auditiva aunque existen dispositivos, de tipo háptico, que permiten la realimentación táctil, e incluso sistemas de realimentación olfativa.

A partir de estos elementos clave es posible completar la definición de RV en su visión más global, como un medio generado por simulaciones interactivas realizadas por ordenadores que responden a la posición y acciones del usuario, reemplazando o aumentando las percepciones de uno o más

de sus sentidos, dándole la sensación de estar inmerso mentalmente o **presente** en la simulación (Sherman y Craig, 2002).

La propiedad de **presencia**, o el término **presente**, aparece con frecuencia en todas las referencias hechas a la RV, siendo de hecho esta propiedad la clave que, para algunos autores, distingue a la RV de otros campos de la computación gráfica, valorándola como la más importante meta de diseño de una aplicación perteneciente a

este ámbito. La **presencia** (o el sentido de **presencia**) es definido como el grado en el que los participantes sienten, de manera subjetiva, que se encuentran en una ubicación diferente a su ubicación física real debido a los efectos creados en sus sentidos por una simulación generada por computadores (Shim y Jonghuyun, 2003). Esta propiedad es también referida de una manera más simplificada como “*el sentido de encontrarse allí*” (Heeter, 1992).

### 3. La Realidad Virtual como medio de comunicación

Un número relevante de investigadores definen la RV como un medio de comunicación (Sherman y Craig, 2002; Steuer, 1992; Ellis, Dorigi, Menges, 1997). Biocca (2001) asegura que la RV acabará emergiendo como el siguiente medio dominante, y terminará por convertirse en el medio “definitivo”. Schroeder (2002) sin embargo, puntualiza que sólo las experiencias multiusuario pueden considerarse estrictamente dentro de la definición de “medio de comunicación”, puesto que implica que dos, o más personas, intercambian entre ellos mensajes dentro del entorno virtual (aunque se puede discrepar de esta afirmación dado que, al igual que en un libro, el diálogo se puede establecer entre el autor de la experiencia de RV y el usuario, sin requerir la presencia de un tercer agente). Algunos autores consideran

las experiencias multiusuario como un caso particular de CMC (Computer Mediated Communication) con un elevado nivel de interacción (Riva, 2003).

Como medio de comunicación la RV es capaz de almacenar sus contenidos hasta que éstos sean entregados al destinatario, y el punto de acceso donde estos contenidos se entregan se conoce como interfaz. Para que dentro de un entorno virtual se trabaje de manera apropiada el usuario ha de tener una idea de que lo que “espera” el ordenador de él y cuáles son las tareas que podrá acometer y, por otro lado, el sistema tiene que incorporar cierta información procedente del usuario. Estos dos aspectos, el modelo mental que el usuario tiene del sistema de RV, y la “comprensión” que el ordenador tiene, a su vez, del usuario, en

su confluencia son parte de esta interfaz, en su manifestación física y sensorial.

En RV al contenido se le denomina “mundo virtual”, o “entorno virtual” y, aunque esta denominación no es exclusiva de la RV, cobra una mayor importancia que en otros medios de comunicación, como una novela, o una pintura, ya que este contenido es manipulable por el receptor de la comunicación, mediante la interacción, y no es un contenido “estático”, sino que “siente” al receptor y reacciona en función de sus acciones.

Desde el punto de vista de la presencia, encontramos en la literatura una serie de conceptualizaciones interrelacionadas, en base a diferentes aspectos perceptuales, psicológicos y sociales, de su relación con los medios de comunicación (Lombardt y Ditton, 1997):

- Presencia como “riqueza social”, en donde el medio se percibe como social, sensitivo, personal, e, incluso, íntimo, cuando es utilizado para interactuar con otras personas.
- Presencia como “realismo”, el grado en el que el medio produce representaciones precisas de objetos, personas y eventos, que se sienten como “reales”, por los usuarios.
- Presencia como “inmersión”, el grado en el que el medio sumerge al sistema perceptual del usuario.
- Presencia como “transporte”, en relación a como el medio hace que el usua-

rio se sienta transportado, o bien sienta que transporta objetos, a un lugar diferente del que se encuentra.

- Presencia del medio como un “actor social”, esta conceptualización implica una serie de respuestas sociales que los usuarios del medio obtienen a través de indicios obtenidos dentro del propio medio de comunicación, como el uso de lenguaje natural, la interacción en tiempo real, etc. Este tipo de indicios sociales básicos exhibidos por el medio llevan al usuario a considerarlo como una entidad social.

### ***3.1 Características como Medio***

La RV es, sin duda, una de las “puntas de lanza” en la evolución de los medios de comunicación actuales, y cuya principal característica es la total inmersión de los canales sensitivo-motores humanos dentro de una experiencia de comunicación realista y global. Dentro de esta experiencia de comunicación destacan dos factores centrales: la ilusión perceptual de no-mediación y el sentido de “comunidad”. La primera característica implica la desaparición de la mediación (en una experiencia VR ideal), un nivel de experiencia en donde tanto el sistema RV, como el entorno físico, se tienden a desdibujar de la percepción del usuario. La otra característica vendría dada por el sentido de comunidad desarrollado mediante la interacción, mucho más acusado en las aplicaciones multiusuario.

Desde un punto de vista de la teoría de la comunicación, todos los medios (de comunicación) presentan una serie de características comunes que los distinguen entre ellos, bien sea en como transmiten el contenido, el lenguaje que emplean para expresarlo, o el modo en que se expresan. Aplicando esta perspectiva a la RV podemos extraer las siguientes características (Sherman y Craig, 2002):

*El Contenido:* En este caso particular el contenido será el mundo virtual que se presenta a los receptores. En RV el contenido abarca un amplio espectro tópicos, y estará condicionado al destino de la aplicación.

*La Interfaz:* Representa la conexión entre el usuario y el mundo virtual, y condiciona en ciertos aspectos el diseño de este contenido. De una manera ideal este punto de acceso debería de permitir una transmisión de información tan fluida como sea posible, hasta tal punto que algunos autores consideran el fin último de la RV como un medio cuya interfaz sea imperceptible por el usuario, siendo indistinguible el “mundo real” del “mundo virtual”.

*El Lenguaje:* La RV hereda el lenguaje asociado a la computación en general, particularizando en la computación gráfica, el diseño de interfaces, también hereda el lenguaje asociado a la ficción interactiva.

*El Idioma:* Entendiéndolo como el conjunto de símbolos y sintaxis que expresan el lenguaje. El idioma de la RV es un idioma ligado a la ciencia informática, donde tenemos presentes desde menús, a gráficos generados por ordenador, sonidos, controladores, etc.

*La Narrativa:* Siendo el trasfondo del contenido, la forma en que se expresa la idea, en RV es un término muy flexible, por su carácter interactivo.

*La Forma:* Término que se utilizan a la hora de evaluar el contenido de un medio y como se construye la narrativa, de forma lineal, segmentada, cíclica, en RV existen diferentes modos de interacción o de presentación de la información que conforman la forma del medio.

*El Género:* En RV estará condicionado con la clase de problema que trata de abarcar y con la forma, entendida como modo de interacción. El Paseo Virtual es un ejemplo de género dentro de la RV.



## 4. Realidad Virtual y Educación

A medida que se desarrollan nuevas herramientas tecnológicas, éstas se van incorporando, de manera gradual, a las formas tradicionales de las ciencias, o de las artes, impactando, en mayor o menor medida, a la metodología de trabajo empleada tradicionalmente. Esto es especialmente notable cuando nos referimos a tecnologías de carácter interactivo, debido a su gran impacto en un amplio sector de la sociedad, como por ejemplo ocurre con la Realidad Virtual. Esta evolución, unida a una combinación interdisciplinar de elementos, ha ido incorporando nuevas y mejores formas de comunicación y de aprendizaje, que, poco a poco, se están incorporando dentro de ámbitos tan herméticos e inmovilistas, como han venido siendo a lo largo de la historia, la educación o la museística. La introducción de técnicas pertenecientes a la órbita de la RV, dentro del ámbito educativo, a través de nuevas interfaces y métodos de interacción, proporcionan esquemas más naturales de aprendizaje y una mayor carga motivacional, impactando, de forma muy positiva, en la experiencia educativa que el receptor del mensaje obtiene gracias, en gran medida, al estímulo de la presencia, el grado de inmersión y otros factores asociados con los entornos virtuales.

Otro factor de peso que ha llevado a la irrupción de la RV dentro del campo educativo, en particular, y en los espacios

Gráfico nº 1: *RV como herramienta educativa*



Fuente: M. Rosseau 2001

públicos, en general, ha sido la dramática reducción de costes sufrida por toda la infraestructura necesaria para el desarrollo de una aplicación RV. De costosísimas estaciones de trabajo y prohibitivos sistemas de tracking y de visualización, se ha pasado a plataformas mucho más asequibles, como son los ordenadores personales, a sistemas de tracking de muy bajo coste (incluso basados en cámaras web), y factores, como el abaratamiento de los proyectores de video de elevadas prestaciones, permiten la incorporación dentro de presupuestos mucho más modestos (que los disponibles en empresas, o instituciones académicas o gubernamentales), de sistemas de visualización inmersiva basados en proyección.

### 4.1 Consideraciones pedagógicas

El empleo de la RV como herramienta dirigida hacia el aprendizaje, bien sea en su

vertiente “informal” (museos), o como complemento dentro de la formación académica clásica (colegios, escuelas, universidades), ha sido objeto de amplio estudio, debate e, incluso, polémica. Parece existir un acuerdo general en que la RV posee un fuerte impacto motivacional, del que otro tipo de medios de comunicación carecen (Roussou, 2000) (Roussou, 2001). Desde el punto de vista pedagógico se considera que la RV puede ser una herramienta educativa de gran valor en base a tres características principales: La habilidad que ésta disciplina posee para facilitar el aprendizaje constructivista, el potencial que presenta para proveer de formas alternativas de aprendizaje (estimulando los diferentes canales de entrada perceptivos, visual, auditivo, táctil, etc..) y la posibilidad de colaboración entre estudiantes y educadores más allá de ataduras físicas, o geográficas.

En los entornos de aprendizaje tradicionales se espera de los estudiantes que éstos aprendan mediante asimilación, escuchando una lección impartida por el instructor sobre un tema en particular. Las nuevas corrientes pedagógicas asumen que los estudiantes son capaces de dominar, retener y generalizar los nuevos conocimientos de una manera mucho más efectiva si se ven envueltos activamente en la experiencia de aprendizaje, construyendo esos nuevos conocimientos mediante situaciones de “aprende mientras haces”. En teoría de la educación a esta corriente pedagógica se la

denomina como constructivismo, y está respaldada por un gran número de autores, posicionándose entre aquellos que la ven como un complemento muy valioso a la educación tradicional y aquellos que opinan que toda la experiencia de aprendizaje se debería de impartir bajo esta aproximación. La diferencia más notable entre el constructivismo y el aprendizaje tradicional es que, mientras que este último se centra en un método de instrucción con resultados predecibles y en el cual al estudiante se le incorpora una concepción predeterminada de la realidad, en el constructivismo se intenta fomentar el proceso de aprendizaje más que controlarlo, mediante entornos de aprendizaje, frente a las secuencias instructivas de los métodos clásicos (Baylor y Kitsantas, 2005).

La aplicación de las técnicas de RV al aprendizaje constructivista ha sido discutida por autores como Winn (1993), que sugiere que los entornos y las tecnologías inmersivas permiten realizar tres clases de experiencias de construcción de aprendizaje, imposibles de reproducir en el “mundo real”: experiencias relativas a la “escala”, a la “transducción” y a la “reificación”. La más evidente es la referente a la escala, mediante las técnicas de RV las escalas relativas de los estudiantes y el mundo virtual pueden ser establecidas de manera arbitraria, siendo capaz el usuario de penetrar en un átomo, o contemplar el sistema solar. La transducción implica la utilización de las diferentes interfaces para presentar

determinada información que no se encuentra disponible para la percepción humana de forma “natural” (por ejemplo: visualización de un campo de fuerzas) y, por último, la reificación, implica la materialización de entidades, conceptos o eventos que no tienen presencia física, como una ecuación matemática. La RV también puede emplearse para sortear las restricciones presentes dentro de los entornos educativos (de seguridad, económicas, físicas...) a la hora de proveer a los estudiantes de determinados ámbitos de aprendizaje, reforzando, además, el concepto de “aprendizaje localizado”, en donde el aprendizaje se realiza dentro del contexto espacio-temporal sujeto a estudio.

Dentro de la filosofía constructivista y mediante la utilización de herramientas de RV, existen varias aproximaciones pedagógicas a tener en cuenta, siendo la más popular de ellas la denominada como “*investigación guiada*”, en donde, a través de la realización de determinadas tareas, los estudiantes son guiados para descubrir, por sí mismos, conceptos importantes relacionados con la materia a estudio. La otra aproximación más común es la conocida como “*experiencial*”, en la cual los usuarios son expuestos a determinadas experiencias dentro del entorno virtual, dotadas de una carga interactiva beneficiosa para el estudiante (Youngblut, 1998). Otra extensión de la pedagogía constructivista es el denominado *construccionismo*, asociado, generalmente, al investigador del MIT Seymour

Papert y basado en la idea de que el estudiante debe crear artefactos (físicos, literarios o conceptuales) de una manera activa e interactiva para integrar en su educación de forma efectiva determinadas ideas o conceptos (Papert, 1991).

Mediante la RV es posible dotar de nuevos marcos de trabajo al mundo de la educación, un concepto interesante es aquel que supone la eliminación del concepto físico de “aula” y de las restricciones que de él derivan, como la disponibilidad de determinados recursos en una localización física determinada: las denominadas “aulas virtuales”. Existen dos aproximaciones a este concepto, la más simple implica la utilización de tecnologías RV y de telecomunicaciones para simular, dentro de un espacio virtual, un aula física (Turoff, 1995). El otro, propuesto por Tiffin y Rajasingham (1995), implica un nuevo paradigma de educación centrado en el estudiante y apropiado para la educación a largo plazo. En este paradigma estudiantes de todas las edades participan en actividades educativas desde su casa, o lugar de trabajo, dando forma a su curriculum en función de sus necesidades personales, y recibiendo aquellas clases que satisfagan sus objetivos de aprendizaje. Las clases no estarían limitadas por la disponibilidad de profesores de alguna materia determinada sino que, en horarios apropiados a todos los participantes, se realizarían virtualmente, asistiendo a ellas cualquier interesado independientemente de su localización geográfica. Así mismo el

acceso a las bibliotecas, laboratorios, u otros recursos educativos no estaría restringido a ciertas horas, sino que estarían disponibles a cualquier hora del día. Más que de un “*aula virtual*”, en este caso estaríamos hablando de un “*campus virtual*”. Aunque es una aproximación con cierta carga utópica, ya existen un gran número de programas educativos que recurren a métodos similares para la formación de estudiantes salvo que, desde el punto de vista tecnológico, utilizan herramientas web o telemáticas, al no estar, en este aspecto, la RV suficientemente madura para abordar este tipo de proyectos de forma práctica. Por otro lado la pretensión de dirigir toda la educación de una persona hacia este paradigma, implicaría realizar profundos cambios y reestructuraciones de los sistemas educativos actuales, aparte de tener que lidiar con aspectos sociales, y de control, sobre todo en lo que respecta a los estudiantes más jóvenes. Haciendo que este concepto resulte, por el momento, un interesante ejercicio teórico más que una posible aplicación práctica de la RV al mundo educativo.

## ***4.2 Realidad Virtual en el Museo***

Las instituciones de “educación informal”, como pueden ser los museos están adoptando, de una manera masiva, los últimos avances en tecnologías de la información, tanto para su funcionamiento interno, como para la presentación de los contenidos que ponen a disposición del público a

través de, por ejemplo, exposiciones interactivas, mejorando, de manera substancial, la experiencia obtenida por los visitantes. Por otro lado, un número creciente de educadores confía en las nuevas tecnologías como una herramienta de aprendizaje que, en algunos casos, resulta imprescindible, ofreciendo posibilidades impensables hace algunos años y que hoy están totalmente consolidadas, desde los ejemplos más simples, como sitios web educativos, o CD-ROMs interactivos, pasando por la presencia de los PC’s en las aulas, y llegando a su materialización más extrema, como es la utilización de la RV. Quizá la mayor aportación, en este punto, se deba a las casas de las ciencias, planetarios, museos tecnológicos etc., donde se está realizando un importante esfuerzo a la hora de incorporar las últimas tecnologías a sus exhibiciones, pudiéndose encontrar en la actualidad un número elevado de ejemplos de esta incorporación en exposiciones de carácter interactivo y/o inmersivo, y que van mucho más allá de las “aplicaciones de escritorio”, siendo, en algún caso, auténticas, e incluso sofisticadas, aplicaciones de RV.

Existen dos líneas principales de trabajo referentes a la incorporación de la RV, o de sus técnicas derivadas, en los centros de educación informal: La utilización de sistemas de visualización inmersivos y/o interactivos para la presentación de los contenidos (Paseos Virtuales, “Viajes en el Tiempo”, etc.), y la introducción de aplicaciones interactivas basadas en interfaces

novedosas, referentes a un determinado concepto o situación, siendo el objetivo, en ambos casos, la puesta en valor del patrimonio histórico-artístico, científico-tecnológico, o cultural. Las amplias posibilidades ofrecidas por este tipo de actuaciones se ven reflejadas en diferentes características que, hasta la aparición de una disciplina como la RV, eran difícilmente alcanzables mediante los esquemas de trabajo tradicionales utilizados en los entornos educativos: Permitir a los visitantes viajar virtualmente en el espacio, y/o en el tiempo, invitar al participante a ser parte de la acción, a interactuar con la exhibición, convierten la visita a un centro de estas características en una experiencia proactiva, con todos los beneficios que esto implica a nivel pedagógico.

#### ***4.2.1 RV y Museos: Factores de Diseño e Implantación***

La introducción de nuevas y sofisticadas tecnologías dentro de un espacio público, y más aún si es un espacio orientado a la educación, obliga a tener en consideración una serie de factores que pueden llegar a restringir determinados aspectos referentes al diseño de la aplicación. Se deben de tener en cuenta los estándares estéticos y conceptuales necesarios para el propósito formativo, centrándose en puntos críticos como la funcionalidad educativa, o la accesibilidad. Además, elementos de índole puramente técnica o práctica, cobran especial relevancia a la hora de trasladar las

técnicas de RV hacia el mundo de la museística, como la fragilidad de los equipos, su tamaño, el coste económico, el elevado grado de especialización requerido para dar soporte técnico, etc. Sin olvidar que, al ser la RV una disciplina novedosa, existen un número limitado de empresas o instituciones capaces de abordar con garantías ente tipo de proyectos. Existen una serie de factores clave a tener en cuenta en el proceso de implantación de las tecnologías RV dentro del ámbito educativo (Roussou, 2001):

*Emplazar la tecnología dentro de contexto:* La tecnología no puede presentarse “aislada”, al estar dirigida hacia un espacio público, el contexto físico de su ubicación se ha de tener en cuenta. Un emplazamiento efectivo de la tecnología descansa en el grado de integración que ésta presenta dentro de su contexto de utilización.

*Gráfico n° 2: Museo Virtual*



*Fuente: Laboratorio de Sistemas (2011)*

*“Invisibilidad” de la Tecnología:* Un entorno diseñado de forma eficiente es aquel que resulta consistente, predecible y transparente. Las herramientas tecnológicas son

elementos para enriquecer los objetivos educativos, informativos o estéticos de un determinado proyecto y, por lo tanto, deben de pasar lo mas desapercibidos posibles. Por lo tanto la tecnología debe estar diseñada para “desaparecer” durante la experiencia, ser lo menos intrusiva posible, de forma que el foco de atención se dirija hacia el propósito de aprendizaje.

*Respuesta inmediata + Maximizar el tiempo de la experiencia:* (Norman, 1998) define algunos principios de “buen diseño” que pueden ser aplicados a las tecnologías de la información para que no resulten frustrantes, y hacerlas auto-explicativas: alta visibilidad, utilizar un modelo conceptual adecuado y realimentación elevada. El formato de una experiencia de aprendizaje que utilice tecnologías de RV ha de ser, inevitablemente, estructurado y controlado, de manera que se hace especialmente importante que exista una alta velocidad de respuesta, y se establezca una realimentación inmediata.

*Diseñar con el contenido en mente, consultar a los expertos:* Lamentablemente, las innovaciones tecnológicas de última generación crean, a menudo, la sospecha de proporcionar un nivel de contenidos muy limitado en relación con el coste económico que suponen. Por otra parte, en algunos casos, resulta muy complicado el trasladar, desde medios de comunicación más tradicionales, determinados contenidos, llegando éstos a terminar “ensombrecidos” por el despliegue tecnológico. Una gran cantidad de

profesionales de la educación se muestra escéptico sobre las posibilidades que pueden ofrecer los últimos avances tecnológicos, a la hora de emplearse dirigidos hacia una experiencia de aprendizaje. Para evitar lo anterior es conveniente que, a la hora de diseñar un entorno interactivo o inmersivo de estas características, se involucre a la mayor parte de expertos en los diferentes campos implicados. Desde creadores de contenido, a pedagogos, y educadores, así como a personal con exhaustivos conocimientos en el campo del objetivo tratado.

*Considerar los aspectos referentes a la usabilidad* (Norman, 1998): Este punto hay que considerarlo prioritario, sobre todo si lo situamos en el contexto en el que la aplicación va a ser utilizada por una gran cantidad de personas diferentes diariamente. Cobran especial relevancia los aspectos prácticos referidos al uso de una tecnología que, en muchos casos, no está diseñada para su empleo por usuarios noveles (empleo de gafas estereoscópicas, dispositivos hápticos, sistemas de tracking, etc...). Otros factores prácticos importantes a considerar a la hora de diseñar las aplicaciones son: los ángulos de visión, espacio para sentarse (si es requerido), las líneas de visión, el grado de invasión de las interfaces. Por último adaptar la experiencia a todos los niveles de conocimiento y habilidad posibles, que ésta resulte fácil de utilizar por todo el mundo, y no requiera de un período de aprendizaje previo.

## 5. Realidad Virtual en el Museo: Aplicaciones

En este apartado se presentarán una serie de ejemplos de aplicaciones de la realidad virtual empleada como vehículo de comunicación de conceptos relativos al patrimonio histórico-artístico-cultural y al patrimonio natural, dentro del campo de la museística. Por sus características, consideramos estos ejemplos como una buena muestra del tipo de utilización que se está haciendo de este novedoso medio dentro de los espacios públicos, permitiéndonos, a su vez, realizar un breve análisis de factores clave relacionados con la integración de estos dos campos como son, el diseño y la implantación e implementación de las aplicaciones, la recepción de las mismas por los usuarios y por los comisarios de exposiciones y responsables del museo, usabilidad, limitaciones, etc.

### 5.1 “Botafumeiro” RV

El objetivo de ésta aplicación es el desarrollo de una experiencia inmersiva, interactiva y multiusuario-colaborativa, en la cual se recree, de forma fidedigna, la denominada “liturgia del Botafumeiro” (Otero, 2007). Este proyecto se aborda desde una filosofía total de simulación bajo la cual, aparte de intentar trasladar, mediante las interfaces apropiadas, el “espíritu” de este pintoresco rito.

Se presenta una simulación y modelización física tanto de la dinámica pendular subyacente de tan característico ritual, como del

interior de la Catedral de Santiago de Compostela, lo que añade a la aplicación una componente interesante desde la perspectiva de la simulación virtual.

Gráfico nº 3: Liturgia del Botafumeiro



Fuente: AFP (2009)

Esta tradición, con más de setecientos años de antigüedad (se tienen registros escritos de su presencia hacia el siglo XIII, *Codex Calixtinus*) se materializa en la espectacular dinámica de un gigantesco péndulo-incensario (denominado Botafumeiro) que oscila a lo largo del brazo de la catedral, suspendido bajo la bóveda del crucero por una cuerda de longitud variable. El Botafumeiro es puesto en movimiento por un equipo de doce hombres denominados Tiraboleiros mediante un procedimiento cíclico de bombeo obtenido a través de una tradición secular, que consiste en incrementar y reducir la longitud de la cuerda sucesivamente en puntos críticos de la trayectoria, introduciendo (o extrayendo) energía al sistema, y que resulta en un movimiento oscilatorio a lo largo del tran-



septo del templo. Este procedimiento es, desde el punto de vista Físico, claramente, un ejemplo de amplificación paramétrica mediante bombeo (Walker, 1977).

La aplicación tiene como características principales ser una simulación interactiva en la cual el sistema de visualización propuesto es de múltiples pantallas, basado en técnicas de proyección y bajo una arquitectura lógica en clúster. A continuación se presentará una discusión sobre el particular mecanismo de interacción, así como de de las diferentes interfaces empleadas, y se discutirán aspectos logísticos interesantes que surgen a raíz del emplazamiento físico de este sistema.

### ***5.1.1 Descripción de la aplicación***

El simulador permite a los “Tiraboleiros Virtuales” interactuar con el Botafumeiro en un entorno sintético que recrea de manera fidedigna el interior de la Catedral de Santiago de Compostela. Está compuesto de tres elementos principales: El sistema de visualización, el motor de simulación y la interfaz de tiro. El sistema de visualización y el motor de simulación trabajan conjuntamente para renderizar la escena (imágenes y sonido), a su vez, la interfaz es una metáfora de la cuerda real utilizada en la liturgia del Botafumeiro ya que los usuarios tiran de la cuerda en la manera “litúrgica” de los Tiraboleiros. La interfaz es gestionada por el motor de simulación para modifi-

car la dinámica del Botafumeiro virtual en la escena. El sistema de visualización se implementa siguiendo la filosofía NAVE, de esta forma consta de tres pantallas semi-inmersivas, una central y dos laterales formando un ángulo de unos 120°. Las dimensiones de cada pantalla son de 2,10 x 1,6 metros, con lo que la superficie total de pantalla alcanza los 6,30 x 1,6 metros.

*Gráfico n° 4: Instalación Botafumeiro RV*



*Fuente: Laboratorio de Sistemas (2011)*

Se utiliza un entorno de visionado estereoscópico pasivo, por lo tanto se genera el necesario par estereoscópico sobre cada una de las tres pantallas, consistente en una imagen sobre impuesta formada por 2 fotogramas de 1024 x 768 píxeles cada uno.



Gráfico n° 5: Arquitectura Sistema



Fuente: Laboratorio de Sistemas (2011)

El soporte lógico hardware de esta aplicación está basado en un clúster asimétrico, homogéneo y centralizado constituido por tres PC's. Existe un nodo central o principal y dos nodos secundarios. En el nodo central se ejecuta una instancia principal (servidor) que realiza las funciones de coordinación del clúster, gestión de los HMI, del subsistema de sonido, y de la generación de los gráficos de la pantalla central del entorno de visualización y, por supuesto, realiza los cálculos computacionales de la simulación matemática del Botafumeiro. Las dos máquinas restantes únicamente tienen funciones de generación de gráficos de las pantallas laterales y cuentan con un módulo de red para comunicarse con el servidor, permitiendo la necesaria coordinación de cara al renderizado (Gráfico 6).

## 5.1.2 Interfaz

Es conveniente recordar las principales especificaciones bajo las cuales se aborda este proyecto: aplicación inmersiva, interactiva y multiusuario-colaborativa, simulando una particular experiencia ya descrita. Evidentemente en base a estas directrices estará marcando tanto el diseño de las diferentes interfaces como de las metáforas de interacción aplicadas. Un punto ya tratado en el apartado anterior y relativo a las interfaces, es el sistema de visualización elegido, que permite, claramente, un escenario óptimo para implementar una experiencia multiusuario-colaborativa de estas características. En este punto se describirá todo el conjunto de interfaces restante y las metáforas de interacción utilizadas, puntos críticos en el diseño, y que definen las características de esta aplicación dentro del ámbito de la RV.

Uno de los puntos críticos del diseño ha sido el trasladar e integrar, de una manera apropiada, la acción de tirar de la cuerda que sustenta al Botafumeiro dentro de la simulación. Se realizaron una serie de prototipos con la finalidad de encontrar la manera óptima de trasladar esta acción, tan poco frecuente y novedosa dentro de los HMI presentes en la RV, de una forma correcta, permitiendo a los usuarios tener una realimentación sensorial positiva, principalmente háptica y de force-feedback.

Gráfico n° 6: *Detalle de la interfaz de tiro*



Fuente: Laboratorio de Sistemas (2011)

En un primer diseño se optó por un sistema mecánico y opto-electrónico que consisten- te en una cuerda, una polea de 70 cm de diámetro y un contrapeso para simular el peso del incensario, al tirar los usuarios de la cuerda se producía un giro en la polea, detectado y cuantificado por un conjunto de emisores/sensores en el rango IR. El conjunto de sensores trasladaba los datos necesarios para introducir en la simulación física llevada a cabo por el servidor, mediante el sistema de adquisición de datos provisto por el LAB, utilizando como interfaz hardware una tarjeta de adquisición multifunción USB-4711. Esta primera aproximación sufría de la falta de robustez necesaria para su emplazamiento en una exposición con más de 50.000 visitantes al año.

Teniendo este punto en mente y para lograr la robustez requerida, se rediseñó el sistema de tiro basándolo en componentes adaptados para entornos industriales, obteniendo un diseño muy apropiado para una alta carga de trabajo, modo continuo de operación y ciclo de vida elevado.

El diseño definitivo del mecanismo de tiro consiste, básicamente, en una cuerda de cuatro extremos (los usuarios pueden variar de uno a cuatro) que cuelga bajo una estructura conectada a un basculante hidráulico. Cuando los usuarios tiran de la cuerda, se produce un movimiento en el basculante, que reacciona con una fuerza proporcional a la de tiro y que simula el peso del incensario. Un sensor industrial de distancia mediante cable, conectado al basculante, detecta cuando los usuarios tiran de la cuerda, durante cuánto tiempo tiran y la fuerza con la que lo hacen. Como en el primer prototipo, el sensor está conectado, a su vez, a un modulo de adquisición de datos controlado por el motor de simulación, en el servidor, y que gestiona todos los parámetros adquiridos introduciéndolos en la simulación, haciendo factible la interacción.

El estilo de interacción de esta interfaz es, obviamente, de manipulación directa, y se englobaría dentro de la clasificación de interfaces hápticas dentro del paradigma de interacción de la Realidad Virtual. En este caso se intenta presentar a los usuarios una interfaz idéntica a la que tendrían realizando la experiencia en un entorno real, procurando que tanto la realimentación sensorial psico-kinetica obtenida, como la parametrización física del entorno, sean simulaciones lo más fieles posibles de la experiencia real.

### **5.1.3 Contenido de la Aplicación**

Una vez analizados los diferentes elementos que conforman la arquitectura del sistema, es necesario enfocar la atención sobre otro elemento fundamental en el diseño de una aplicación de estas características, el contenido. En este apartado se abordarán los factores técnicos relevantes que implican el dotar de contenido una aplicación de RV como pueden ser el modelado 3D, la obtención de fuentes de textura o la integración dentro de una escena virtual.

Dado que el “escenario” de la aplicación no es otro que el interior de la Catedral de Santiago de Compostela, es necesario abordar su recreación virtual con especial cuidado, fidelidad y respecto hacia tan magnífico edificio histórico. Otro punto que obliga a tener un especial cuidado con la reconstrucción virtual (figura 91) es que el interior de la catedral es un espacio muy reconocible por la mayor parte de los usuarios de la aplicación, más aún cuando el

emplazamiento físico del museo está a escasos 20 metros de la catedral. Para la construcción del modelo 3D se parte de los planos arquitectónicos existentes de la catedral facilitados por el Consorcio de la Ciudad de Santiago de Compostela, teniendo en cuenta que la carga poligonal ha de ser limitada de cara hacia una aplicación en tiempo real. Otra serie de elementos existentes en el interior como bancos, púlpitos, altares, etc. se modelan a partir de fotografías tomadas de los elementos reales. El modelo 3D del Botafumeiro se crea a partir de un conjunto de fotografías e infografías existentes. El resultado final genera una escena virtual que supera el millón de triángulos de carga geométrica. Este modelo ha sido realizado con el software Autodesk MAYA. Para proceder al texturizado de la geometría virtual se realizan una serie de sesiones fotográficas en el interior de la catedral de forma que se muestrean todos los materiales originales empleados en la construcción y decoración del templo como piedra, maderas, mármoles, elementos policromados, pinturas,

*Gráfico n° 7: Entorno Virtual del interior de la Catedral de Santiago de Compostela*



*Fuente: Laboratorio de Sistemas (2011)*

metales, etc. A partir de estas fotografías se construye una biblioteca de materiales que se utilizará como punto de partida para la generación de las texturas necesarias para dotar al modelo 3D del adecuado aspecto visual. En total la carga de textura de toda la escena asciende a más de 1 Gigabyte de datos.

Aparte modelo que representa el interior de la catedral, dentro de la escena virtual se introducen otros factores para realzar el nivel de realismo y de calidad visual del entorno gráfico, como un sistema de partículas para simular el humo expelido por el Botafumeiro.

## ***5.2 Viaje Submarino***

El objetivo de este proyecto es el desarrollo de una experiencia de entretenimiento y educación multimedia [139] donde, utilizando técnicas de realidad virtual, se logre el mayor grado de inmersión posible, yendo más allá de la sensación audiovisual convencional, y que cuente, además, con una carga didáctica añadida, en la que se muestre un entorno natural determinado: El fondo marino de la Ría de Vigo.

El valor didáctico viene impuesto por el destino final de la aplicación, un museo que, contando con los últimos avances en tecnología, describe, e informa sobre la riqueza y variedad natural de Galicia (Otero, 2003). Bajo este marco de trabajo y con las premisas anteriores se ha intentado incrementar el nivel de aprendizaje mediante dos elementos.

- Experiencia Inmersiva
- Experiencia Conjunta (para 10 o más personas)

Tomando los puntos anteriores como referencia se concibe la aplicación como un “paseo virtual” por el fondo del mar. El usuario tendrá la sensación de hacer un viaje bajo las aguas de la Ría en un vehículo a propulsión, al tiempo que se le muestran las especies que habitan, y los puntos de interés de la zona.

Son notorias las ventajas que presenta una experiencia virtual frente a una proyección cinematográfica ordinaria, tanto como espectáculo, o como fuente de información, complementando con otras sensaciones, movimiento, olor, la información audiovisual 2D tradicional, facilitando así el aprendizaje, y la recepción de contenidos.

### ***5.2.1 Descripción del Sistema***

Simplificando el paradigma del simulador de realidad virtual, un tópico ya abundante en la literatura, y adaptándolo a los requisitos del proyecto, se hereda la concepción global de la aplicación como un sistema inmersivo que simule un vehículo submarino. Deberá por tanto, estar formado por:

Un sistema mecánico, una plataforma móvil con los grados de libertad necesarios para simular la dinámica del vehículo, sobre la que se sitúa un habitáculo que reproduce el interior del móvil y dentro

Gráfico n° 8: *Detalle de la pantalla principal*



Fuente: *Laboratorio de Sistemas (2011)*

del cual se realiza la proyección de las imágenes generadas para obtener la sensación de desplazamiento por el mundo virtual. Este dispositivo mecánico está gobernado por sistemas de control por ordenador que sincronizan los movimientos reales de la plataforma con los desplazamientos en el mundo virtual, para transmitir la percepción dinámica buscada, y que se encargan de procesar todas las tareas necesarias para la simulación.

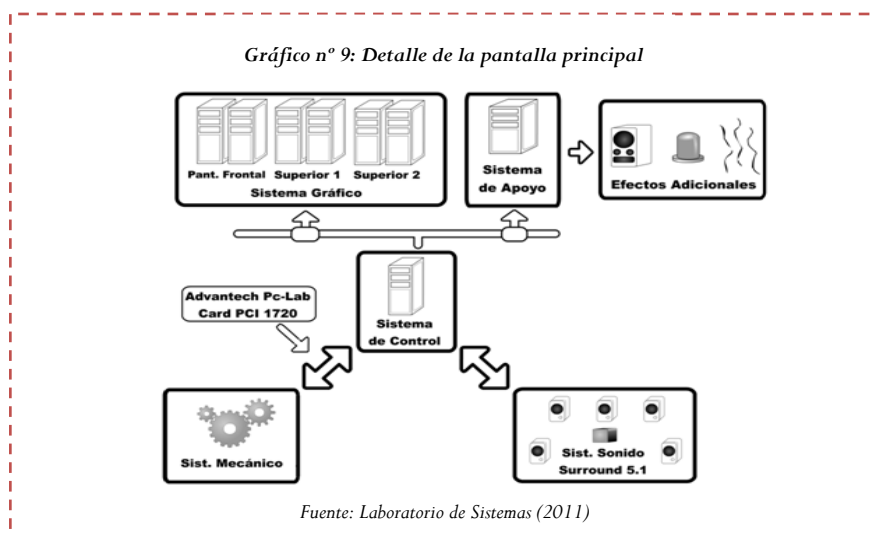
El otro componente fundamental será un sistema de representación gráfico que permita desde el habitáculo observar el entorno adecuadamente y aprender de él, y además se dotará con un sistema de sonido y un conjunto de subsistemas que permitan incrementar el sentido de presencia.

Se mencionó la concepción del proyecto como un paseo virtual por los fondos marinos de la ría de Vigo y su pretensión de realizar este paseo desde el punto de vista de un vehículo propulsado, intentando transmitir las sensaciones presumibles en un viaje de estas características. En base a

lo anterior y para lograr un grado de inmersión óptimo, la interfaz de visualización planteada consta de un sistema de tres pantallas, una frontal de 2,40 por 1,80 m y dos pantallas superiores de 1,77m de alto por 1,33m de ancho separadas entre sí una distancia de 50cm. Esta aproximación es una variante del sistema NAVE, con una disposición física de las pantallas particular, adaptada a las necesidades del proyecto. Existen, además, dos monitores adicionales en el interior del habitáculo que permiten la visualización de información complementaria. Una característica que hay que destacar es la opción por el desarrollo de secuencias en vez de un procesado en tiempo real del entorno, al ser posible, y necesario, por los requisitos de la aplicación, realizar el viaje desde un punto de vista determinista. La elección del pre-renderizado de las imágenes frente a su generación en tiempo real, hace que se simplifique, de forma notable, tanto la complejidad del desarrollo como la arquitectura del sistema gráfico. Por otro lado se controlan los movimientos reales de la plataforma en función del movimiento virtual del vehículo submarino, sincronizados con las frames del video y la posición y orientación virtual del vehículo submarino. Con la intención de añadir efectos extra que hagan la experiencia lo más intensa posible, se diseñan una serie de elementos adicionales, la mayor parte de los cuales se disparan solo en momentos clave de la proyección, excepto uno que estará pre-

sente permanentemente aumentando la sensación de inmersión: columnas de lastre, humo y sirenas luminosas, y BASS SHAKER colocados debajo de cada asiento. Estos elementos adicionales son controlados por el servidor a través de la interfaz de adquisición de datos. Para completar el montaje en el servidor de control se incluye una tarjeta de sonido multicanal 5.1 con decodificación Dolby Digital vía Hardware, para generar los efectos de audio, fundamentales en una aplicación de estas características. Dado que el servidor reproduce un vídeo con la duración exacta de los presentes en el subsistema gráfico para la sincronización perfecta de todos los sistemas, se incluye en él una pista de audio Surround de alta calidad con el sonido creado para la película y se conecta del servidor a un amplificador YAMAHA de

100 W que entrega la potencia a un sistema BOSE 5.1 dispuesto por el habitáculo, garantizando una perfecta sensación de inmersión sonora. Es notable, a través de lo expuesto, la concepción de este proyecto desde el punto de vista de la filosofía de diseño modular. Se han dispuesto los sistemas que integran el montaje de forma que todos sus componentes son fácilmente reemplazables, o modificables, pudiéndose añadir elementos nuevos de forma sencilla, además con pequeñas modificaciones, se puede realizar un replanteamiento de su aplicación final, permitiendo un gran abanico de posibilidades, hecho que otorga al sistema una versatilidad muy interesante.



## 5.2.2 Contenido de la Aplicación

No se puede abordar el diseño de una experiencia de estas características sin planificar de forma minuciosa lo que los espectadores van a contemplar y recibir como información, ya sea en el aspecto puramente cinematográfico, o en términos de la experiencia en general, que sensaciones se pretenden transmitir, como lograr el mayor grado de realismo, etc. Basándonos en este punto, la planificación de los contenidos será focalizada en estos dos aspectos básicos, por un lado, se intenta construir una historia que al tiempo que presenta al observador los ecosistemas típicos del fondo del mar gallego, lo divierta y le transmita las sensaciones de un apasionante viaje submarino, por otro se intentan introducir elementos, tomados de la realidad virtual, que le otorguen a la experiencia un alto grado de realismo y de inmersión.

Haciendo un estudio sobre las características naturales la Ría de Vigo se elige el itinerario del viaje de manera que se muestren el número máximo de puntos de interés de este entorno natural, ajustándonos a la duración fijada para la experiencia, en torno a los cinco minutos. Durante todo el trayecto se pueden contemplar las distintas especies marinas existentes en la zona, en su propio hábitat, se intentan presentar el máximo número posible de peces y, así como algas, anémonas, erizos, corales...

Gráfico nº 10: Ecosistema-tipo con arroaces



Fuente: Laboratorio de Sistemas (2011)

En la historia se introduce, además, otro nexo entre el mundo real y el mundo virtual, como submarino de exploración científica, el montaje ha de estar dotado con elementos sensores y de análisis de información, para ello en la película se pueden contemplar las evoluciones de una *pequeña unidad de toma de datos autopropulsada*, figura 9, en continua comunicación con el submarino, esta unidad escanea y analiza las distintas especies marinas que nos encontramos y simulando una búsqueda en base de datos, se presenta la información en los cuatro monitores dispuestos por el habitáculo.

Utilizando una aproximación infográfica se crean todas las fichas informativas (figura 10), que se irán mostrando en el trayecto, estas fichas incluyen información sobre la especie, nombre científico, hábitat, características, etc. otorgando, definitivamente, una carga didáctica importante a la aplicación. Las fichas se montan en un video que correrá el sistema de apoyo, sincronizado con todos los elementos de la acción.



Gráfico n° 11: Ficha Informativa



Fuente: Laboratorio de Sistemas (2011)

La existencia de esta unidad de toma de datos, aparte de ser un elemento más de entretenimiento, se ve justificada en base a un concepto común a este tipo de experiencias, el de trasladar y centrar la atención del espectador en un punto determinado, bien en una proyección, bien en un espacio físico real. Este concepto introducido por Walt Disney en sus parques temáticos, se define como “*Architectural Weenies*” (Salen, 2004). Nuestra unidad de toma de datos es un *weenie* en el sentido en que atrae la atención del espectador hacia donde nosotros deseamos en todo momento, evitando la disipación en el interés del usuario.

Gráfico n° 12: Unidad de toma de datos



Fuente: Laboratorio de Sistemas (2011)

Se planteo el diseño del video a través de escenarios clave que se contemplaran en la travesía. Se construyeron cinco escenarios / ecosistemas dotados de la flora y la fauna marina característica de cada uno de ellos, prestando una mayor atención a aquellos elementos de relevancia didáctica.

Para la construcción del mundo virtual submarino se utilizó un software estándar de modelado y animación: Alias Wavefront Maya V 4.0, personalizado a través de MEL Script, lenguaje de programación del paquete, para la obtención de los efectos visuales y las animaciones deseadas. Además de los 3 vídeos estéreo, como ya se mencionó, se realizó un cuarto video, con frames de los anteriores videos, retocadas en postproducción, para simular el sistema de análisis de información. Se construyeron un total 3987 modelos 3D entre peces, algas, rocas, barcos, etc., generando un total 1.399.623 polígonos. Para el texturizado se han utilizado 3,956 GB de imágenes, en 1853 archivos de textura y en cada escena se utilizaron hasta 10 luces en el renderizado, 2 Ambient, 1 Glow, y 6 luces direccionales para la generación de las cáusticas, (luz enfocada a través de la reflexión en una superficie curva o a través de una refracción en medio translucido). Algunos elementos mostrados se han añadido en postproducción, para minimizar la carga de renderizado, o para obtener un mejor resultado visual.

Para la creación de los efectos de sonido se utilizaron fuentes de muy alta calidad WAV



24bits 96kHz, grabadas de entornos reales donde se generasen sonidos similares a los utilizados en la película, motores, olas, barcos,... Todo ello se monta en un stream multicanal Surround de 6 canales, cinco

más LFE, para los efectos externos, y un canal adicional aislado para los sonidos del interior de la nave. Se elige un formato codificado Dolby Surround AC3.

## Conclusiones

La orientación de las aplicaciones presentadas en este artículo está, como hemos visto, dirigida hacia un ámbito definido y característico como son los museos y espacios públicos. El hecho anterior implica que han de ser tenidas en cuenta una serie de restricciones y condicionantes, tanto a la hora de diseñar las características técnicas de las aplicaciones, como a la hora de dotarlas de contenidos y que, en base a nuestra experiencia en este sector, nos permite extraer un grupo de conclusiones muy interesantes, detalladas a continuación.

Si el objetivo de una aplicación basada en técnicas RV es contar con una carga educativa o didáctica, el contenido de la misma cobra una relevancia fundamental, hasta el punto de que se ha de construir y diseñar la aplicación a partir del contenido en sí mismo. Una vez definido lo que se quiere mostrar es momento de, en base a las herramientas tecnológicas disponibles, definir cómo se quiere mostrar, es decir, cuáles son los medios técnicos más apropiados para la puesta en valor de un contenido, de un concepto o de una idea determinada.

A través de alguna de las aplicaciones mostradas a lo largo de este trabajo, podemos ver ejemplos de cómo se ha utilizado ésta aproximación; Si el objetivo es mostrar las diferentes características de un ecosistema marino, una aplicación apropiada será un viaje por el fondo del mar (“Viaje Submarino”); En el caso en que se quiera mostrar o dar a conocer un rito determinado, o una tradición cultural, puede ser interesante recrearla virtualmente y hacer los usuarios partícipes de la misma, como ocurre en “El Botafumeiro”.

Una vez planteado, en líneas generales, lo que se quiere mostrar y como se va a mostrar, es momento de desarrollar en profundidad ambos aspectos. En primer lugar y debido al ámbito de trabajo al que se han circunscrito las aplicaciones, es de una importancia crítica que la presentación del contenido se haga con el máximo rigor científico posible intentando, además, mantener cierto pulso narrativo que haga más accesible dicha presentación a los usuarios. Por lo tanto es evidente que se necesita incorporar en esta fase del diseño a un grupo de expertos tanto en la disciplina, o la temática, sobre la que se enfoca el con-

tenido, como en técnicas narrativas audiovisuales, de forma que se construya una fuerza de trabajo conjunta cuyo objetivo sea la elaboración de un guión (o como mínimo unas directrices) bajo el cual se va a sustentar la presentación de contenidos.

Siguiendo lo expuesto en el párrafo anterior, y una vez definidas las directrices de trabajo con respecto a la carga didáctica y/o narrativa de la aplicación, es momento de profundizar en la implementación de la aplicación desde el punto de vista técnico. Será tarea de los desarrolladores el identificar que aproximación es la más correcta en función de los diferentes parámetros que caracterizan una aplicación RV como: que metáforas de interacción utilizar, que interfaces son las más adecuadas, establecer el número de usuarios más conveniente, etc. Sin embargo en este paso hay que tener en cuenta los condicionantes propios de trabajar dentro de un ámbito tan característico como los museos y espacios públicos, y que se encuentran perfectamente definidos por autores como Roussou, tal y como se expone en el apartado 4.2.1. De estos condi-

cionantes, y según la experiencia obtenida, hay que destacar como más relevantes los referentes a la usabilidad y que tienen en cuenta aspectos como: ángulos de visión, grado de invasión de las interfaces, oclusión de líneas de visión en sistemas multiusuario, así como la facilidad de utilización de las aplicaciones en sí, reduciendo en lo posible curvas de aprendizaje, diseñar para su utilización por todo tipo de usuarios (con experiencia tecnológica o sin ella), etc.

Por último es interesante realizar una consideración sobre los resultados obtenidos desde el punto de vista pedagógico. Gracias a la planificación rigurosa del contenido y a las interesantes posibilidades que ofrece la realidad virtual como herramienta educativa, los participantes en las experiencias dirigidas hacia este ámbito han recibido una carga didáctica notable sobre el tópico tratado en la aplicación, de una forma novedosa e, incluso, entretenida. Esto impone una reflexión, y confirma el elevado potencial que ofrece la Realidad Virtual como medio educativo complementario.

## Referencias

WILLIAM R. SHERMAN, ALAN CRAIG, (2002) *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design*. s.l. : Elsevier Science & Technology Books. 9781558603530.

WOYONG SHIM, GERARD JONGHUYUM, (2003). *Designing for presence and performance: the case of the virtual fish tank*. [ed.] MIT Press. 4, Fourth international workshop on presence, Vol. 12, págs. 374 - 386 . 1054-7460.

CARRIE HEETER, (1992). *Being There: The Subjective Experience Of Presence*. s.l. : MIT Press, Presence: Teleoperators and Virtual Environments.

- J. STEUER (1992). Defining Virtual Reality. *Journal of Communication*, Vol. 42, págs. 73-93.
- S. ELLIS, N. DORIGHI, B. MENGES, (1992). In search of equivalence classes in subjective scales of reality. [aut. libro] M. Smith y G. (Eds.) Salvendy. *Design of computing systems: Social and Ergonomics Considerations*. s.l. : Elsevier Science.
- RALPH SCHROEDER, (2002). Social interaction in virtual environments: key issues, common themes, and a framework for research. *The social life of avatars: presence and interaction in shared virtual environments* . s.l. : Springer-Verlag New York, Inc.
- GIUSEPPE RIVA, (2003). Virtual reality as communication tool: a socio-cognitive analysis. *Communications Through Virtual Technology: Identity Community and Technology in the Internet Age*. s.l. : IOS Press.
- M. LOMBARD, T. DITTON, (1997). *At the heart of it all: The concept of presence*. s.n., *Journal of Computer Mediated-Communication*, Vol. 3
- M. ROUSSOU, (2000). *Immersive Interactive Virtual Reality and Informal Education*. In Proc. of i3 spring days workshop on User Interfaces for All: Interactive Learning Environments for Children.
- M. ROUSSOU, (2001). *Immersive Interactive Virtual Reality in the Museum*. In Proc. of TiLE (Trends in Leisure Entertainment).
- A. L. BAYLOR, A. KITSANTAS, (2005). Comparative analysis and validation of instructivist and constructivist self-reflective tools (IPSRT and CPSRT) for novice instructional planners. *Journal of Technology for Teacher Education*. 13, 431-455.
- W. WINN, (1993). *A Conceptual Basis for Educational Applications of Virtual Reality*. Human Interface Technology Laboratory, Whashington Technology Center. 1993. W.A. Tech. Pub. R-93-9.
- C. YOUNGBLUT, (1998). *Educational Uses of Virtual Reality Technology*. s.l. : Institute for Defense Analyses Document D-2128.
- SEYMOUR PAPERT, (1991). *Situating Constructionism*. Seymour Papert y Idit Harel. *Constructionism*. Ablex Publishing Corporation.
- M. TUROFF, (1995). *Designing a Virtual Classroom*. In Proc. International Conference on Computer Assisted Instruction.
- J. TIFFIN, L. RAJASINGHAM, (1995). In Proc. International Conference on Computer Assisted Instruction.
- DONALD A. NORMAN, (1998). *The Invisible Computer*. Cambridge, MA: MIT Press.
- A. OTERO, R. MARTIN, E. GUTIERREZ, J. FLORES, (2007). *Simulación Virtual de una Tradición Medieval: O Botafumeiro*. I Simposio de Informática Gráfica y Patrimonio Histórico SIGPHI 2007.
- Liber Sancti Jacobi (Codex Calixtinus). s.l. : Archivos de la Catedral de Santiago de Compostela, Siglos XII-XIV. pág. Folio CLXII (Nota al Margen).
- J. WALKER, (1977). *The Flying Circus of Physics*. s.l. : John Wiley & Sons
- A. OTERO, J. FLORES, P. SACO, J. ARIAS, (2003). Diseño e Implementación de una Experiencia Audiovisual Colectiva Inmersiva con Fines Educativos. In Proc. CEIG 2003 XIII Congreso Español de Informática Gráfica. págs. 247-260.
- K. SALEN, E. ZIMMERMAN, (2004). *Rules of play: game design fundamentals*. MIT Press. ISBN 978-0262240451
- Cita de este artículo**  
OTERO FRANCO, A. y FLORES GONZÁLEZ, J. (2011) Realidad Virtual como medio de comunicación de contenidos. Aplicación como herramienta educativa y factores de diseño e implantación en museos y espacios públicos. *Revista Icono14 [en línea] 1 de julio de 2011, Año 9, Volumen 2*. pp. 185-211. Recuperado (Fecha de acceso), de <http://www.icono14.net>