

Comunicación cultural y TIC: La representación accesible de la cultura Chimú

Isidro MORENO SÁNCHEZ
Universidad Complutense de Madrid
ims@ucm.es

Andrés Adolfo NAVARRO NEWBALL
Universidad Javeriana de Cali (Colombia)
anavarro@javerianacali.edu.co

Resumen

La investigación¹ aborda cómo aumentar el conocimiento y hacerlo accesible a todas las personas apoyándose en las Tecnologías de la Información y la Comunicación. La investigación básica se aplica a la cultura Chimú contenida en el Museo de América de Madrid. Museo in situ y museo en red se toman como un todo que interactúa, se completa y complementa a través de una base de datos narrativa que integra y comparte medios y soportes distribuyéndolos en todo tipo de interfaces. La especificidad in situ viene marcada por instalaciones inmersivas, sistemas interactivos singulares, sistemas interactivos para dispositivos móviles y aplicaciones ludo-educativas.

Palabras clave: conocimiento aumentado, cultura digital, museografía hypermedia, realidad mezclada, videojuegos

Cultural Communication and ICTs: Accessible Representation of Chimú Culture

Abstract

This research addresses the question of how to increase knowledge and make it accessible to all people relying on the information and communication technologies. Basic research is applied to the Chimú culture contained in the Museo de América in Madrid. On-site museum and network museum are taken as an interactive whole which is completed and complemented through a narrative database that integrates and shares media distributing it in all kinds of interfaces. The on-site specificity is marked by unique edutainment immersive interactive systems and interactive applications for mobile devices.

Keywords: Augmented knowledge, digital culture, hypermedia museography, mixed reality, videogames

Referencia normalizada:

Moreno Sánchez, I.; Navarro Newball, A. A. (2013) Comunicación Cultural y TIC: La representación accesible de la cultura Chimú. *Historia y Comunicación Social*. Vol. 18 N° Especial Octubre. Págs. 541-554.

Sumario: 1. Introducción a las TIC en el museo. 2. Metodología. 3. Inmersión interactiva en la cultura Chimú. 4. Conclusiones. 5. Referencias bibliográficas. 6. Notas. 7. Anexo. Los autores.

1. Introducción a las tic en el museo

En 1987, la exposición *Living Arctic* del *Museum of Mankind*, antigua sección de etnografía del *British Museum*, incorporaba sistemas interactivos con pantalla táctil en *laser disc*, el soporte que había inventado Philips en 1978. En 1989 el Museo d'Orsay apostaba por un museo virtual en *laser disc* del museo in situ (Cachin: 1989). Museo y pioneras TIC se aunaban, por una parte, para hacer más accesibles y comprensibles los contenidos del museo in situ, y, por otra, para trasladar la experiencia museística al hogar. Hoy es difícil encontrar un museo que no disponga de sede virtual y buena parte de ellos también incorporan sistemas basados en TIC en sus exposiciones. Esta inclusión, en ciertos casos, más que inmersiva es invasiva y la tecnología resalta sobre los contenidos. Incluir ordenadores en el museo todavía constituye un signo de modernidad, aunque no esté justificada conceptualmente dicha inclusión. Otra lectura que se desprende es que el hardware proporciona a los productores sencillos beneficios, mientras que un tratamiento participativo de los contenidos es complejo y costoso. De ahí que desde el grupo de investigación *Museum I+D+C*, Laboratorio de Cultura Digital y Museografía Hipermedia y desde el proyecto MOMU (Modelo Interactivo para Museos) se abogue por sistemas interactivos en los que la tecnología resulte invisible y siempre al servicio de la cultura y de las personas.

Otra contradicción que se observa al estudiar la presencia de las TIC en el museo es que los sistemas interactivos in situ y en red no tienen conexión alguna y se conciben como islas tecnológicas, cuando la clave de la cultura digital es la integración de todos los sistemas y su acceso a través de todo tipo de interfaces. En 2012 el Museo del Louvre lanzó sus guías hipermedia en la consola Nintendo 3DS; sin embargo, los contenidos 3D de las mismas no aparecen en la versión virtual del museo. Si la imagen tridimensional de las piezas de bulto redondo puede ayudar a comprender mejor la escultura real in situ, ya que facilita la observación desde todos los puntos de vista, incluido el cenital; en la versión web del museo es imprescindible, pues una imagen bidimensional no es idónea para observar una pieza de tres dimensiones. Tecnofobias, tecnofilias e intereses mercadotécnicos desvían a veces el discurso crítico sobre las TIC, que debe centrarse en la búsqueda de un discurso hipermedia que se imbrique con la museografía tradicional. Hay que recordar que interactividad conlleva tecnología e interacción, relaciones personales y físicas. Más que unirse, interactividad e interacción deben fundirse.

Redefinir el papel de las TIC en los contenidos museológicos y en el discurso museográfico a la luz de la experiencia es una labor interdisciplinar de museólogos, comunicólogos, tecnólogos, diseñadores... Romper prejuicios es el primer paso. "The modern museum combines two attitudes to interaction with ICTs – media creativity and media skepticism", esta frase del informe del *Institute for Information Technologies in Education* (2011: 1) de la UNESCO resume una dicotomía aún vigente. Por otra parte, la inclusión de las TIC en el museo suele hacerse desde un perspectiva multidisciplinar, no integradora.

Hipermedialidad, transmedialidad e interdisciplinariedad constituyen las bases de la era digital y el museo se está convirtiendo en un paradigma de comunicación hipermedia y transmedia; pero la interdisciplinariedad es, en el mejor de los casos, como se ha mencionado, multidisciplinariedad. Museólogos e historiadores del arte se resisten a ceder un terreno que consideran de su propiedad. Comunicólogos, guionistas, tecnólogos... tampoco están preparados para comprender la singularidad del proceso.

Los congresos anuales del CHArt (Computing and theHistory of Art) que se celebraron en los años 2001 y 2002 se titularon Digital Art History. A Subject in Transition (2001) y Digital Art History? Exploring Practice in a Networked Society (2002). Este tema se incardina en el proceso de reflexión que emerge a finales de la década de los noventa, en el marco de las Humanidades Digitales, en el que se empieza a considerar que la convergencia entre ciencias de la computación, tecnología informática, medio digital y conocimiento humanístico ha de entenderse y plantearse desde un punto de vista más conceptual y epistemológico” (Rodríguez Ortega, 2010: 18).

Rodríguez Ortega, historiadora del arte, ha promovido en España el portal de “Patrimonio y Cultura Digital, Portal de Humanidades-TIC” (2013) con una clara vocación de interdisciplinariedad.

Particularmente, se muestra gran interés en el uso de tecnologías en arqueología virtual, especialmente en Europa, donde se organiza un evento anual en torno al tema; el VAST – Virtual Archaeology and Cultural Heritage Symposium auspiciado por la EUROGRAPHICS, The European Association for Computer Graphics, pues al fin y al cabo la computación gráfica, entendida como la rama de la computación capaz de sintetizar, almacenar, estructurar y desplegar imágenes en dos y tres dimensiones, es la tecnología base que soporta varios de estos desarrollos (Arnold et al, 2012). En el VAST, los profesionales en patrimonio ven las tecnologías del futuro y se empoderan de las mismas, obteniendo un conocimiento de su impacto. Las aplicaciones son diversas, van desde la conservación digital de objetos, reconstrucción virtual de antiguas civilizaciones, sistemas de almacenamiento y clasificación patrimonial, y por supuesto, aplicaciones en museografía soportadas por la computación gráfica y la interactividad (Sundset, Chalmersy Martínez, 2004; Hemminger, Bolusy Schiff, 2004; Herbst et al., 2008; Pillat, Nagendran, Lindgren, 2012).

La realidad virtual, es decir, la ilusión de participación en un ambiente sintético (Earnshaw, Gigante y Jones, 1993), permite a los visitantes explorar múltiples espacios y observar e interactuar con replicas virtuales de artefactos valiosos dentro de un ambiente digital inmersivo y realista (Hemminger, Bolusy Schiff, 2004). La realidad mezclada (mixed reality o realidad mixta), es decir, la combinación de la visualización de lo real y lo virtual, transporta la experiencia de una pantalla al espacio en tres dimensiones, apoyando la localización, la navegación y aumentando la percepción de la realidad (Mata, Claramunt y Juárez, 2011; De Bérigny Wall y Wang, 2008). La interactividad puede ser implementada a través de diferentes tecnologías. Por ejemplo, el rastreo captura la posición de los objetos reales de manera que puedan interactuar con el ambiente virtual. Éste se apoya en técnicas de visión por ordenador

y sensores y utiliza marcadores, características naturales o gestos (Hagbiet et al., 2011). La interacción por gestos corporales permite el uso de objetos virtuales como si formaran parte del mundo físico (De Bérigny Wall y Wang, 2008). Las tecnologías móviles relacionan a los visitantes de diversas maneras con el mundo real, permitiendo nuevas formas de aprendizaje y entretenimiento que los liberan de un lugar y un tiempo específicos (Mata, Claramunt y Juárez, 2011; Coenen, Mostmans y Naessens, 2013).

Los videojuegos, además, incorporan narratividad. De hecho, dentro de la corriente denominada “gamificación”, la utilización de elementos de diseño de videojuegos en contextos de no juego (*serious game*); aquellos cuyos fines van más allá del entretenimiento (Coenen, Mostmans y Naessens, 2013) han encontrado un nicho para desarrollarse en entornos de educación informal como los museos (Deterding et al., 2011; Aparicio et al., 2012; Kapp, 2012).

TimeWarp (Herbst et al., 2008), por ejemplo, permite a los usuarios caminar en una ciudad real mientras se experimenta su pasado utilizando realidad mezclada móvil. *Interactive Antarctica* (Bérigny Wall y Wang, 2008) ofrece un ambiente de interactividad gestual y tangible con datos documentales en donde la audiencia está rodeada de elementos virtuales que se visualizan gracias a marcadores incorporados a la ropa del usuario. *The virtual archaeologist* (Masuda, 1998), del Museo de Nara en Japón, busca inspirar en los jóvenes el valor y la significación de los estudios en arqueología haciéndoles seguir el proceso de descubrir piezas. *The virtual dig* (Dunn, 2002) propone una aventura interactiva basada en la Web que ofrece una experiencia educativa en arqueología. Consiste en una caminata virtual inspirada en una de las exhibiciones del Museo de Israel que presenta cinco periodos distintos. Aquí es posible realizar actividades arqueológicas como cavar y limpiar, tomando palas y cepillos con el ratón. *The Virtual Dig Experience* del Museo de Arte de Seattle (Wojciechowski et al., 2004) utiliza técnicas de realidad virtual y mezclada para descubrir artefactos dentro de un contexto arqueológico en donde se utilizan cepillos y palas reales para interactuar. *Virtual Romans* (Higgett et al., 2012) explota el potencial de las tecnologías creativas en la vida actual focalizándose en el año 210 en la ciudad romana de Leicester, Reino Unido. Se describe una experiencia práctica que utiliza técnicas de computación gráfica para crear modelos en tres dimensiones de edificios, artefactos y personajes romanos. Aquí, los modelos son empleados en diversos sistemas interactivos, incluidas aplicaciones móviles de realidad mezclada.

2. Metodología

Si se analizan las posibilidades tecno-expresivas de las TIC en la actualidad y se procura resolver algunos de los problemas que conlleva su inclusión en el museo, surgen las siguientes hipótesis:

- La inclusión de las TIC en el museo debe plantearse desde una visión interdisciplinar que imbrique múltiples especialidades y metodologías compartidas.
- Las TIC en el museo deben integrarse en una base de datos narrativa que comparta todo tipo de contenidos hipermedia con las interfaces fijas y móviles in situ y en red.
- Para evitar la tecnología invasiva, las interfaces móviles personales o proporcionadas por el museo deben facilitar una profundización personalizada y participativa en los contenidos para todas las personas, independientemente de sus limitaciones físicas, psíquicas, de formación...
- Las instalaciones in situ deben ser inmersivas y plantear sistemas interactivos especiales que proporcionen experiencias inalcanzables con las interfaces móviles. Dichas instalaciones solo tienen sentido si resultan positivas para aumentar el conocimiento y hacerlo accesible.
- La interactividad (relaciones tecnológicas) en el museo debe integrarse con la interacción (relaciones personales).

Se han combinado diversas metodologías en el proceso conceptual, narrativo, tecnológico y de aplicación para apoyar la necesaria redefinición de las TIC en el museo buscando la interdisciplinariedad. Se ha procurado no caer en la multidisciplinariedad en la que cada especialización utiliza sus metodologías y realiza sus aportes sin tener en cuenta al resto.

El grupo Museum I+D+C, Laboratorio de Cultura Digital y Museografía Hipermedia de la Universidad Complutense, integra, desde la comunicación y la narrativa hipermedia y transmedia, investigadores provenientes de comunicación, historia del arte, bellas artes, videojuegos y otras disciplinas de las ciencias sociales y de las humanidades. Su asociación con el proyecto MOMU (Modelo Interactivo para Museos), de la Universidad Javeriana de Cali, amplía y enriquece esta visión desde la ingeniería de sistemas, la computación gráfica y los videojuegos. En la presente investigación, además, se ha contado con la colaboración directa del Museo de América de Madrid y con el grupo de artes escénicas El Tinglao que integra a personas con diversidad funcional. Organizaciones como Telefónica TIC, Fundación ITMA, Optimedia o Schwann Beijing apoyan la investigación y han sido de gran utilidad para la aplicación de la investigación básica.

Metodológicamente se pueden destacar cuatro fases: exploratorio-analítica, de creación y desarrollo de contenidos y tecnología, de producción, y de implantación. En cada una de ellas se introducen análisis de jueces profesionales de museología, hipermedia, accesibilidad y tecnología, y de públicos objetivos generales y específicos para ir mejorando contenidos y expresión.

En la fase exploratorio-analítica se han aplicado principios de la Teoría de Solución de Problemas Inventivos - TRIZ, consistente en una serie de técnicas que promueven la creatividad (Salamatov, 1999), cuyos conceptos básicos son la búsqueda de la

excelencia; las contradicciones, es decir los inconvenientes que existen para lograrla, y la evolución hacia dicha excelencia, la manera cómo se desarrollan las soluciones una vez superadas las contradicciones (Cavallucci, 2002). Con esto, se analizó primero la componente técnica del problema y luego se orientó el desarrollo hacia la narrativa hipermedia. El trabajo interdisciplinar se realizó con un equipo de comunicadores, artistas, arqueólogos, historiadores del arte, diseñadores, gestores culturales e ingenieros informáticos.

La fase de creación y desarrollo de contenidos y tecnología tuvo en cuenta la selección de tecnologías; la elaboración de modelos 3D y texturas realistas y la optimización de los mismos; la elaboración de algoritmos que permitieran la correcta iluminación, interacción de los elementos virtuales con los reales y la identificación de gestos y acciones de los visitantes. La complejidad del software está relacionada con el dominio del problema de la aplicación, la dificultad de administrar los desarrollos, la flexibilidad brindada por el software y su comportamiento (Booch et al., 2007). Los sistemas complejos a veces proponen requerimientos contradictorios o cambiantes, en donde es difícil reconciliar al desarrollador y al usuario con sus necesidades. Esto se evidencia en este proyecto, en donde a través de un sistema basado en software se busca que el visitante, con rasgos físicos diversos, se personifique en un arqueólogo. Para el desarrollo del software se siguió una metodología orientada a objetos que descompone un problema complejo en sus abstracciones clave, relacionándolo así con el vocabulario del dominio del problema. También se ha tenido en cuenta la descomposición algorítmica para entender el orden en que ocurren los eventos.

La amplia exploración realizada se ha centrado en un análisis cualitativo de los contenidos hipermedia en el discurso museográfico desde una perspectiva museal y tecno-narrativa, por una parte, y, por otra, se han realizado estudios de públicos para optimizar el desarrollo del proyecto.

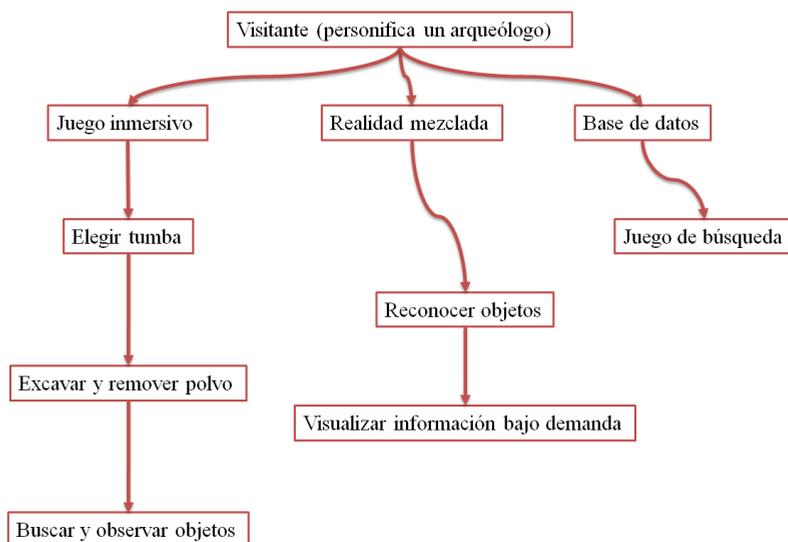
3. Inmersión interactiva en la cultura chimú

Entre los años 1000 y 1470 se estableció el llamado Reino de Chimor o imperio Chimú que ocupó una gran franja costera del actual Perú, justo al norte de Lima hasta la frontera con Ecuador. La capital de este imperio estaba en la ciudad de Chan Chan situada al noroeste de Trujillo. El Museo de América de Madrid tiene una colección significativa de objetos Chimú, la mayoría procedentes de la excavación del siglo XVIII de la pirámide o huaca Tantalluc ubicada en Cajamarca y llevada a cabo por orden de Martínez Compañón. Además de propiciar las excavaciones, pidió que se realizaran acuarelas para documentarlas (Macera, Jiménez Borja y Franke, 1977).

Chimú América utiliza principios de diseño y tecnologías de videojuegos, en donde el jugador toma el papel de un arqueólogo (Masuda, 1998; Dunn, 2002). Propone interacción gestual para emular los procesos arqueológicos de excavación y limpieza de los objetos, pero a diferencia de trabajos previos, como la mencionada *The Virtual*

Dig Experience, no se utilizan brochas ni palas reales, evitando así el desgaste de elementos físicos de interacción en el museo, pues los gestos son interpretados por un sensor que no requiere contacto con el usuario. A diferencia de otros desarrollos, integra un número de sistemas interactivos utilizando una narrativa coherente y una base de datos narrativa abierta. Las selecciones técnicas y tecnológicas para los desarrollos reflejan la idea de inclusión y accesibilidad requeridas para el visitante y para el desarrollador. Esto se resume en sistemas de distribución libre o gratuita, de gran difusión, de fácil utilización y no invasivos.

Figura 1. Flujo de ejecución del sistema



Este proyecto plantea por primera vez el desarrollo de un sistema interactivo inspirado en la cultura Chimú donde el jugador es un arqueólogo que sigue los pasos de la expedición de Martínez Compañón. Incluye tres subsistemas (Figura 1):

(1) Sistemas de realidad mezclada para dispositivos móviles que permite interactuar con las piezas en las vitrinas con distintos grados de profundización según deseen los visitantes. Incluye un juego que incita a recorrer, reconocer y profundizar en todas las piezas de la colección Chimú para buscar sus similitudes, sus diferencias, su especificidad.

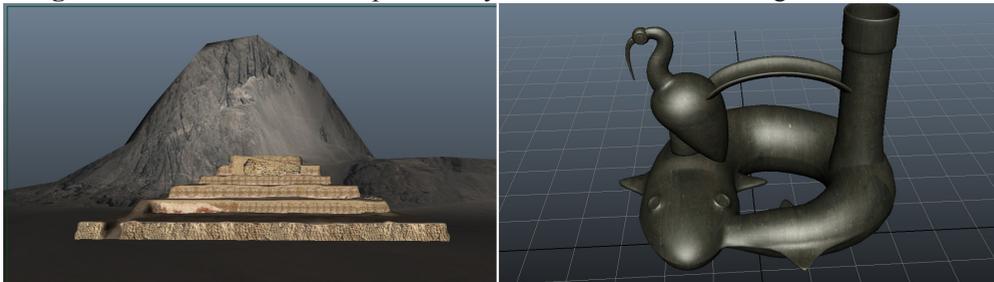
La aplicación desarrollada hace que el dispositivo móvil funcione como una lente mágica en donde la cámara del dispositivo detecta el objeto real a través de una descripción textual. Una vez el objeto es detectado, la aplicación despliega información digital adicional superpuesta. El reconocimiento de texto se logra a través de un entrenamiento del software que utiliza técnicas de visión de ordenador. Se eligió en lugar del reconocimiento del objeto o de su imagen, ya que el reconocimiento de texto es más rápido y resulta menos invasivo que otras opciones como los códigos

QR; la poca iluminación y la manera como se organizan los objetos en las vitrinas de exhibición dificultan el reconocimiento de los objetos directamente. Si el usuario quiere visualizar la información Chimú fuera del Museo de América, basta con desplegar o imprimir los textos que la aplicación es capaz de reconocer.

El videojuego toma las piezas principales, es decir, aquellas sobre las cuales se despliega información cuando el visitante no está en modo de juego (bastón de mando, figura ancestral, vasija ceremonial) e inicia una aventura de búsqueda asociada a cada una de ellas. Esto permite al visitante observar otros objetos Chimú. Cada aventura culminada dará características especiales al objeto principal. Una vez terminadas las tres aventuras de búsqueda, el visitante obtiene un videojuego en 3D que involucra a la figura ancestral, el bastón de mando y la vasija ceremonial. Al finalizar este juego se invita a vivir la experiencia inmersiva.

(2) Un videojuego inmersivo que simula, de una manera mimético-natural, la excavación de la huaca Tantalluc en una sala independiente dentro de una sala del museo. Gracias a las acuarelas de Martínez Compañón fue posible reconstruir el proceso infográfica y tridimensionalmente con bastante fidelidad (Figura 2).

Figura 2. Reconstrucción de pirámide y elementos Chimú. Imagen de G. Martín



El sistema utiliza elementos que representan adecuadamente la pirámide y los artefactos. El visitante se convierte en lector autor rompiendo con la linealidad y favoreciendo la variabilidad del tiempo y el espacio, tal como se esperaría en un sistema de narrativa hipermedia. La interacción mimético-natural a través de gestos permite la emulación de la utilización de palas, guantes y brochas. La interacción gestual se eligió por ser una tecnología bajamente invasiva que no requiere que el visitante toque un dispositivo físico, lo que disminuye el desgaste de los recursos tecnológicos del museo. Los gestos de excavar y limpiar se pueden calcular con algoritmos geométricos.

Se realizaron estudios de públicos para mejorar la comunicación del visitante con el sistema. Participaron 35 personas en cinco etapas distintas del desarrollo. Las primeras 16 personas, estudiantes de pregrado universitario, evidenciaron la complejidad de tener que realizar todas las tareas manualmente y la dificultad de los gestos seleccionados para la interactividad inicial. Se simplificó la interactividad para que el usuario se enfocase en la búsqueda de los objetos. El segundo grupo incluyó nueve

estudiantes de posgrado del curso *Técnicas de Interacción Humano Computadora* y permitió descubrir problemas de ubicación de la cámara, limitaciones en la interactividad con los objetos encontrados, ruido visual y falta de continuidad en algunos gestos. A raíz de la evaluación, se eliminaron elementos innecesarios de la pantalla, se permitió la libre manipulación de los objetos encontrados, se adicionaron mapas de juego y se cambiaron algunos gestos. El tercer grupo incluyó tres personas del equipo interdisciplinario y tres profesores universitarios que detectaron problemas de realismo. Para resolverlo, se adicionaron sombras y modelos de iluminación apropiados que permitieran la mejor interpretación por parte de los usuarios; tal como sugieren Sundset, Chalmers y Martínez (2004), el realismo puede afectar la manera como el usuario interpreta la visualización. La prueba final se realizó con cuatro niños con edades entre los cinco y 11 años. Ésta permitió ajustar el sensor para soportar usuarios de cualquier estatura.

Figura 3. Tumba de las ofrendas. Modelos 3D de G. Martín. Desarrollo de J.D. Mejía



Figura 4. Tumba huaqueada. Modelos 3D de G. Martín. Desarrollo de J.D. Mejía



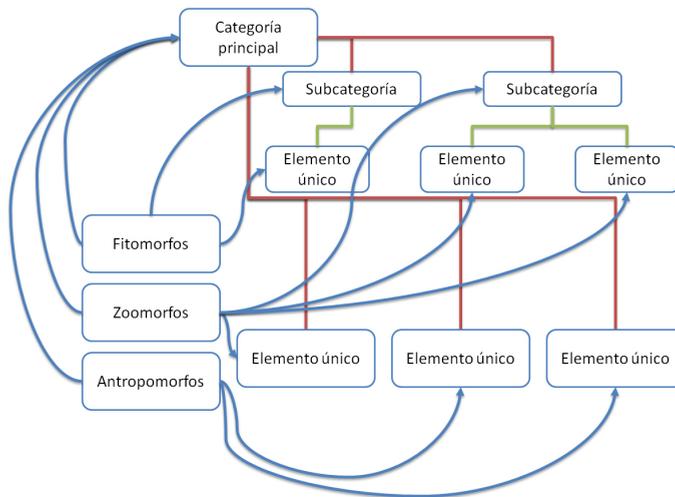
Figura 5. Tumba del cacique Chimú. Modelos 3D de G. Martín. Desarrollo de J.D. Mejía



Cuando el visitante (arqueólogo) inicia la experiencia, puede excavar cualquiera de las tres tumbas. La tumba ceremonial contiene las ofrendas para el cacique Chimú (Figura 3), la tumba huaqueada está destruida casi en su totalidad (Figura 4) y la tumba principal contiene el esqueleto del cacique y piezas significativas (Figura 5). El usuario puede excavar emulando el uso de una pala y una brocha para encontrar y observar diversos artefactos Chimú. Cuando el usuario finaliza el recorrido por las tres tumbas, se le invita a disfrutar de Chimú AR, la aplicación móvil de realidad mezclada. Además, el sistema utiliza un micro controlador que permite la comunicación del ordenador con elementos físicos, para iluminar algunos objetos Chimú reales expuestos en la misma sala del simulador.

(3) Una base de datos narrativa hipertextual abierta a la conexión con otros museos y colecciones de cualquier tipo que custodien piezas Chimú, de manera que se convierta en un completo museo Chimú, no en la colección Chimú del Museo de América. El modelo (Figura 6) inspirado en la iconografía de Iconclass (Gordon, 1990) permite incorporar categorías e iconografías de la cultura Chimú. Las categorías principales y las subcategorías pueden tener asociadas varias iconografías, solo los elementos únicos tienen una sola iconografía. Las categorías principales y las subcategorías son categorías de varios elementos o subcategorías. Una categoría principal puede ser la “colección Chimú”. El “elemento único” puede incluir imágenes de artefactos Chimú. La subcategoría puede ser “colección Chimú de Martínez Compañón”. En el discurso narrativo de Chimú América, la base de datos puede utilizarse por el visitante que desea profundizar en los objetos Chimú recolectados.

Figura 6. Estructura de la base de datos. Modelo de D. Lozada.



4. Conclusiones

Se ha logrado crear sistemas interactivos coherentes e integrados basados en la cultura Chimú del Perú: una base de datos narrativa abierta, una aplicación de realidad mezclada móvil y un videojuego inmersivo. La base de datos narrativa abierta provee información a todas las interfaces y permite que se complemente con objetos de otros museos que tengan objetos Chimú, ya que la base de datos Domus, que comparte el Museo de América con otros museos españoles, no admite entradas ajenas al Museo ni elementos multimedia, como vídeo y sistemas interactivos. Con la aplicación móvil se busca la personalización de los contenidos y evitar la inclusión de prótesis tecnológicas en el espacio museal. El juego inmersivo se ha situado en un recinto independiente dentro de una de las salas del museo. Como se anticipa en las hipótesis, solo los sistemas que implican una inmersión especial en los contenidos, imposible de lograr con las interfaces móviles, tienen sentido hoy día en el museo.

El trabajo interdisciplinar y la continua evaluación de los expertos ha permitido un resultado acorde con la rigurosidad esperada de un museo. Las continuas evaluaciones con usuarios, requeridas cuando se desarrolla un sistema interactivo complejo entre personas y ordenadores, permitió mejorar las interfaces del juego inmersivo, del sistema de realidad mezclada y de la base de datos.

Queda de manifiesto cómo la investigación interdisciplinar básica se convierte en aplicada para intentar medir los resultados y, con ello, revertir la investigación nuevamente en básica para seguir evolucionando hacia la múltiple accesibilidad de los contenidos y a su personalización participativa. Para ello, se aborda el proceso desde distintas perspectivas que interactúan entre sí, algo imprescindible en la cultura digital. El uso de principios TRIZ evidenció que el sistema debería ser fácil de utili-

zar, durable, entretenido, educativo, accesible e integrar coherentemente todos los desarrollos, tal como se plantea en las hipótesis.

5. Referencias bibliográficas

- APARICIO, A.F. et al. (2012). “Analysis and application of gamification”. En: *Proceedings of the 13th International Conference on Interacción Persona-Ordenador* (INTERACCION ‘12). New York, USA: ACM. p. 1-2. (DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/2379636.2379653>).
- ARNOLD, D. et al. (2012). *VAST12: The 13th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage - Short Papers*. Brighton, UK: Eurographics Association.
- BÉRIGNY WALL, C. de; WANG, X. (2008). “Interactive Antarctica: a museum installation based on an augmented reality system”. En: *Proceedings of the 3rd international conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts* (DIMEA ‘08). New York, USA: ACM. p. 319-325. (DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1413634.1413692>).
- (2008). “Interactive Antarctica: a museum installation based on an augmented reality system”. En: *Proceedings of the 3rd international conference on Digital Interactive Media in Entertainment and Arts* (DIMEA ‘08). New York, USA: ACM. p. 319-325. (DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1413634.1413692>).
- CACHIN, F. (1989). *Orsay Videodisque*. Paris: ODA (Laser disc).
- BOOCH, G. et al. (2007). *Object-Oriented Analysis and Design with Applications*. Boston, MA.: Addison-Wesley.
- CAVALLUCCI, D. (2002). “TRIZ, the Altshullerian approach to solving innovation problems”. En: CHAKRABARTI, A. (Ed) (2002). *Engineering Design Synthesis*. London: Springer. p. 131-149.
- COENEN, T.; MOSTMANS, L.; NAESSENS, K. (2013). “MuseUs: Case study of a pervasive cultural heritage serious game”. En: *Journal on Computing and Cultural Heritage*, vol. 6, nº 2. p. 8-19. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2460376.2460379>).
- DETERDING, S. et al. (2011). “Gamification: Using Game Design Elements in Non-Gaming Contexts”. En: *CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Canada: BC. (<http://gamification-research.org/wp-content/uploads/2011/04/01-Deterding-Sicart-Nacke-OHara-Dixon.pdf>) [15-10-2013].
- DUNN, R. (2002). The virtual dig. En: *ACM SIGGRAPH 2002 conference abstracts and applications* (SIGGRAPH ‘02). New York, USA: ACM. p. 122-123. DOI: (<http://doi.acm.org/10.1145/1242073.1242139>).
- EARNSHAW, R.A.; GIGANTE, M.A.; JONES, H. (1993). *Virtual reality systems*. London, San Diego: Academic Press.
- GORDON, C. (1990). “An introduction to ICONCLASS”. En: ROBERTS, D.A. (Ed.) *Proc Conf. Cambridge UK September 1988, Terminology for Museums*. London, UK: Museum Documentation Association. p. 233-244.

- HAGBI, N. et al. (2011). "Shape Recognition and Pose Estimation for Mobile Augmented Reality". En: *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 17, 10. p. 1369-1379. (DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TVCG.2010.241>).
- HEMMINGER, B. M.; BOLUS, G.; SCHIFF, D. (2004). "Visiting virtual reality museum exhibits". En: *Proceedings of the 4th ACM/IEEE-CS joint conference on Digital libraries (JCDL '04)*. New York, USA: ACM. p. 423-423. (DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/996350.996490>).
- HERBST, I. et al. (2008). "TimeWarp: interactive time travel with a mobile mixed reality game". En: *Proceedings of the 10th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services (MobileHCI '08)*. New York, USA: ACM. p. 235-244. (DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1409240.1409266>).
- HIGGETT, N. et al. (2012). "Virtual Romans: Virtual Reconstruction of Roman Leicester (Ratae Corieltavorum)". En: *VAST12: The 13th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Intelligent Cultural Heritage – Short and Project Papers*. Brighton, UK: Eurographics. p. 37-40. (DOI: 10.2312/PE/VAST/VAST12S/037-040).
- KAPP, K. M. (2012). *The Gamification of Learning and Instruction: Game-Based Methods and Strategies for Training and Education*. San Francisco: Pfeiffer & Company.
- MACERA, P.; JIMÉNEZ BORJA, A.; FRANKE, I. (1977). *Trujillo del Perú. Baltazar Jaime Martínez Compañón. Acuarelas, siglo XVIII*. Lima: Fundación del Banco Continental. (www.biblioteca.fundacionbbva.pe/libros/libro_000049.pdf) [15-10-2013].
- MASUDA, N. (1998). "The virtual archaeologist". En: *ACM SIGGRAPH 98 Conference abstracts and applications (SIGGRAPH '98)*. New York, USA: ACM. p. 153-160. (DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/280953.281391>).
- MATA, F.; CLARAMUNT, C.; JUAREZ, A. (2011). "An experimental virtual museum based on augmented reality and navigation". En: *Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems (GIS '11)*. New York, USA: ACM. p. 497-500. (DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/2093973.2094058>).
- PILLAT, R.; NAGENDRAN, A.; LINDGREN, R. (2012). "A mixed reality system for teaching STEM content using embodied learning and whole-body metaphors". En: *Proceedings of the 11th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry (VRCAI '12)*. New York, USA: ACM. p. 295-302. (DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/2407516.2407584>).
- RODRÍGUEZ ORTEGA, N. (2010). "La cultura histórico-artística y la Historia del Arte en la sociedad digital. Una reflexión crítica sobre los modos de hacer Historia del Arte en un nuevo contexto". *Museo y Territorio*, núm. 2 y 3. p. 9-26. (www.museoyterritorio.com/pdf/museoyterritorio02-1.pdf) [15-10-2013].
- SALAMATOV, Y. (1999). *TRIZ: The right solution at the right time*. Krasnoyarsk, Rusia: Insytec B.V.
- SUNDSTEDT, V.; CHALMERS, A.; MARTINEZ, P. (2004). "High fidelity reconstruction of the ancient Egyptian temple of Kalabsha". En: *Proceedings of the 3rd*

international conference on Computer graphics, virtual reality, visualisation and interaction in Africa (AFRIGRAPH '04). New York, USA: ACM. p. 107-113. (DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1029949.1029970>).

WOJCIECHOWSKI, R. et al. (2004). "Building Virtual and Augmented Reality museum exhibitions". En: *Proceedings of the ninth international conference on 3D Web technology (Web3D '04)*. New York, USA: ACM. p. 135-144. (DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/985040.985060>).

Referencias web

INSTITUTE FOR INFORMATION TECHNOLOGIES IN EDUCATION, UNESCO (2011). Policy Brief. (iite.unesco.org/pics/publications/en/files/3214715.pdf) [15-10-2013].

PATRIMONIO Y CULTURA DIGITAL. PORTAL DE HUMANIDADES-TIC (2013): (patrimonioculturadigital.uma.es) [15-10-2013].

6. Notas

1 Este artículo se enmarca dentro de la investigación I+D+i "Conocimiento aumentado y accesibilidad: la representación museográfica de contenidos culturales complejos" (Referencia: HAR2011-25953) del grupo de investigación Museum I+D+C y del proyecto MOMU. Ha sido financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad y por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Se ha contado con la colaboración del Museo de América de Madrid, de ADAMA y del grupo de artes escénicas El Tinglao que integra a personas con diversidad funcional, y con los apoyos de la Fundación ITMA, Museo Convento Santo Domingo-Qorikancha del Cusco, Optimedia, Schwann Beijing y Telefónica TIC .

Los autores

Isidro Moreno Sánchez es profesor Titular de la Facultad de Ciencias de la Información de la Universidad Complutense de Madrid y autor y asesor de proyectos culturales hipermedia y transmedia. Fundador y codirector del grupo de investigación Museum I+D+C, Laboratorio de Cultura Digital y Museografía Hipermedia. Ha tenido estancias de investigación en universidades de Colombia, Estados Unidos, México y Perú. Web: www.ucm.es/gi5068

Andrés Adolfo Navarro Newball. Magíster y doctor en Computación Gráfica. Es miembro del comité técnico de las conferencias VSGames y CGAT. Colabora con los grupos Museum I+D+C de la Universidad Complutense de Madrid e IRAC de la Universidad de Bedfordshire, UK. Es profesor asociado del Departamento de Electrónica y Ciencias de la Computación en la Pontificia Universidad Javeriana, Cali, pertenece al grupo de investigación DESTINO y dirige el proyecto MOMU. Web: <http://cic.puj.edu.co/~anavarro/>