

Aplicación inmersiva para el consumo de recursos digitales basada en navegación por ontologías como estrategia de interacción

Aplicación inmersiva para el consumo de recursos digitales basada en navegación por ontologías como estrategia de interacción

Paulo Alonso Gaona García
Carlos Enrique Montenegro Marín
Jhon Francined Herrera Cubides



© Universidad Distrital Francisco José de Caldas
© Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico
© Paulo Alonso Gaona García, Carlos Enrique Montenegro
Marín, Jhon Francined Herrera Cubides
Primera edición, noviembre de 2020
ISBN: 978-958-787-249-1



Dirección Sección de Publicaciones
Rubén Eliécer Carvajalino C.
Coordinación editorial
Edwin Pardo Salazar
Corrección de estilo
Michael Cruz Rodríguez
Diagramación y montaje de carátula
Diego Abello Rico
Imagen de carátula
<https://www.pexels.com/>

Editorial UD
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
Carrera 24 N.º 34-37
Teléfono: 323930ext. 6202
Correo electrónico: publicaciones@udistrital.edu.co

Catalogación en la publicación – Biblioteca Nacional de Colombia

Gaona García, Paulo Alonso
Aplicación inmersiva para el consumo de recursos digitales basada en navegación por ontologías como estrategia de interacción / Paulo Alfonso Gaona García, Carlos Enrique Montenegro Marín, Jhon Francined Herrera Cubides. -- 1a. ed. -- Bogotá : Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 2020. p. – (Espacios)

Incluye datos biográficos de los autores. -- Incluye referencias bibliográficas

ISBN 978-958-787-249-1

1. Ontologías (Recuperación de información) 2. Web semántica I. Montenegro Marín, Carlos Enrique II. Herrera Cubides, Jhon Francined III. Título IV. Serie.

CDD: 006.332 ed. 23

CO-BoBN- a106166

Todos los derechos reservados.
Esta obra no puede ser reproducida sin el permiso previo escrito de la Sección de Publicaciones de la Universidad Distrital.
Hecho en Colombia

Contenido

Introducción	9
Panorama de estudio	9
Justificación	10
Contexto del problema	12
Motivación	15
Planteamiento del problema y estructura del documento	16
Contextualización	19
Interfaz hombre-máquina	19
Elementos funcionales de los ambientes virtuales	24
Técnicas de interacción	26
Tipos de inmersión	28
Estado del arte: implementación de técnicas de interacción	29
Realidad virtual e interacción	35
Estado del arte: campos de aplicación de entornos virtuales	36
Estado del arte: tecnologías para la implementación de técnicas de interacción	37
Trabajos relacionados y su aplicación en la educación	39
Representación de información mediante ontologías	48
Modelo propuesto de trabajo	55
Aspectos de la ontología	56
Diseño navegacional a partir de la ontología	61
Arquitectura planteada	71
Consumo de datos desde Europeana	73
Arquitectura implementada para VORA	74
Requerimientos del entorno de desarrollo	77

Lenguaje de desarrollo utilizado	77
Script Core	78
Método de estudio y evaluación	81
Metodología	81
Aspectos de usabilidad	82
Evaluación heurística	86
Análisis de resultados	93
Estudio de usabilidad	93
Selección de participantes	93
Evaluación cualitativa	94
Resultados	99
Evaluación cualitativa	107
Análisis estadístico sobre usabilidad	110
Conclusiones y trabajo futuro	115
Conclusiones	115
Recomendaciones	116
Trabajos futuros	119
Anexo A. Diagramas de diseño	121
Casos de uso	121
Vista dinámica	126
Vista de despliegue	132
Anexo B. Despliegue de la aplicación sobre UNITY	135
Librerías	136
Atributos	136
Métodos	140
Referencias bibliográficas	149
Autores	165

Introducción

Panorama de estudio

La interacción entre el humano y las máquinas siempre ha sido de gran importancia. Desarrolladores de software e ingenieros han buscado mejorar y diseñar nuevas interfaces de usuario con el objetivo de que la navegación de la aplicación o sistema sea amigable y entendible. Nuevas tendencias (colores, formas, fuentes, etc.) y nuevas herramientas (tecnologías, frameworks, aplicaciones, etc.) hacen que el diseño y desarrollo sea cada vez mejor. Constantemente se ha apostado por el uso de nuevas tecnologías, como la tecnología 3D, 4D y otras, con objetivos como realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA). Estas estrategias se han considerado nuevas formas de navegar por dispositivos, lo que implica una gran captura de datos que deben ser modelados.

Asimismo, estructurar la información para hacerla más entendible ha sido un problema tratado durante las últimas décadas. Varias organizaciones buscan ordenar su información de manera tal que pueda ser entendida por humanos y permita un rápido acceso a recursos, por ejemplo dentro de los entornos de una biblioteca o librería digital. Una de las estrategias que permiten llevar a cabo actividades de organización de conocimiento se conoce como KOS (*Knowledge Organization Systems*): un sistema que permite organizar la información en esquemas navegables por humanos, mediante representaciones como mapas mentales, ontologías, taxonomías, tesauros, etc.

Las ontologías, en especial, tienen la particularidad de asociar términos que obedecen a cierta agrupación o característica, además de establecer relaciones semánticas entre conceptos. Por ejemplo, una ontología de mamíferos puede agrupar todos los animales vertebrados, vivíparos, con pelaje y de sangre caliente; adicionalmente, pueden contener subcategorías como felinos y así establecer una relación semántica que indica que los felinos son mamíferos, de tal modo que, si la subcategoría felinos contiene un animal como el tigre, se pueda inferir que el tigre es un mamífero.

Estas representaciones pueden ser de gran provecho en diferentes entornos de aprendizaje, partiendo del uso de tecnologías basadas en la web, en dispositivos móviles y, por supuesto, en entornos de inmersión basados en realidad virtual o mixtos. En este sentido, la realidad virtual se plantea dentro de este contexto como una tecnología que facilita la creación de espacios en tercera dimensión (3D) para la representación de estructuras, con el propósito de visualizar contenidos interactivos que brindan información adicional a los conceptos que se están consultando. Es decir, además de tener información gracias a las relaciones semánticas entre conceptos, también se pueden asumir recursos virtuales que ayuden al proceso de aprendizaje basados en este tipo de entornos.

Por tal motivo, dentro del presente libro se pretende llevar a cabo la conjugación de las bondades y los elementos funcionales que ofrecen los entornos de realidad virtual a partir de estructuras de navegación basadas en ontologías, como estructuras que organizan conceptos y generan nuevas relaciones entre términos-conceptos. El propósito es determinar una combinación de herramientas que faciliten el consumo de recursos digitales, además de aportar sobre escenarios de aprendizaje mediante procesos cognitivos a partir de la asociación de conceptos taxonómicos. En otras palabras, que faciliten procesos de aprendizaje de conceptos estructurados y relacionados entre sí a través de esquemas de representación del conocimiento en entornos de navegación inmersiva.

Justificación

Las búsquedas en repositorios y bibliotecas digitales se han convertido en un factor determinante para la ubicación de recursos de mayor relevancia. La implementación de técnicas convencionales de búsquedas ha orientado sus esfuerzos en métricas de acceso a través de la valoración de recursos digitales y mecanismos de búsquedas textuales, los cuales la mayoría de veces no arrojan los resultados esperados.

El proceso de búsquedas de material relevante en repositorios y bibliotecas digitales es una de las actividades que demanda mayor tiempo por parte de un usuario promedio y experimentado. Dependiendo del conocimiento, esfuerzo y destreza que pueda tener un usuario en formular una consulta mediante palabras claves, se puede garantizar el éxito o el fracaso del uso de este tipo de medios de consulta. Adicionalmente, si asociamos problemas de usabilidad en sus mecanismos de búsqueda para el acceso a material de interés, estos pueden llegar a marcar una fuerte tendencia para el abandono de la herramienta tecnológica utilizada. Como consecuencia, el usuario preferirá buscar otras fuentes de información, diferentes a las previstas por un repositorio o biblioteca digital.

En los últimos años, se ha presentado una alta demanda de registros mediante el alojamiento de grandes volúmenes de recursos digitales en bibliotecas y repositorios digitales. Estas iniciativas demuestran un alto interés en propuestas orientadas a ofrecer acceso a miles de recursos digitales de uso libre sobre una variada comunidad de usuarios. Este crecimiento genera un reto mayúsculo a nivel tecnológico para ofrecer capacidades mínimas de acceso a recursos de interés por parte de un usuario.

Para llevar a cabo este proceso los mecanismos de búsquedas son las estrategias más opcionadas. Sin embargo, las estrategias convencionales de búsquedas presentan grandes desafíos para garantizar el acceso a materiales, a saber: i) no arrojan resultados de búsquedas relevantes (poco efectivas), ii) no asocian los recursos dentro de un dominio de conocimiento específico (poco veraces), iii) no son muy flexibles para criterios de búsquedas de un usuario convencional (adaptabilidad), iv) poseen interfaces poco usables (usabilidad) y, v) son poco eficientes en términos de tiempos de respuesta (efectividad), entre otros. Estas debilidades, desde el punto de vista de la usabilidad, le restan credibilidad al uso del repositorio o de la biblioteca digital y generan frustración por parte del usuario para el acceso a materiales de calidad, al no permitir su acceso a partir de las estrategias de búsqueda convencionales presentes en repositorios digitales.

En este contexto, es importante identificar e implementar alternativas que, además de mitigar esta percepción errónea, permitan que los espacios culturales tales como bibliotecas, repositorios digitales (inicialmente planteados como soluciones para digitalizar material de museos y centros de documentación histórica), entre otros, tengan un mayor atractivo y por ende un incremento de consumo por parte de la comunidad, sin perder su carácter social, cultural, artístico y educativo.

Por su parte, dentro de entornos digitales el panorama es muy similar dado que estos se pueden identificar bajo uso de servicios de bibliotecas o repositorios digitales. Se han identificado diversas razones entre las cuales se destacan la poca difusión, poca calidad de los recursos allí alojados, así como aspectos relacionados con su diseño y usabilidad. Por estas razones es necesario ofrecer alternativas de acceso que faciliten su uso y el consumo de los recursos alojados en ellas.

En este orden de ideas, la presente investigación plantea el uso de estrategias de interacción e inmersión, basadas en realidad virtual y navegación soportada por ontologías, con el objetivo de promover el consumo y uso de material valioso de las librerías digitales, para generar así un aporte en la experiencia de acceso, ofrecer alternativas que permitan a las personas acceder a un conjunto de recursos con fines educativos y colaborar en el reúso de los mismos en diversos espacios de formación académica.

Contexto del problema

En la revisión de literatura se identificaron algunas propuestas orientadas al uso de ontologías en entornos 3D. Dentro de las propuestas documentadas se pueden resaltar las siguientes:

López-Martínez (2014) parte de la carencia de aplicaciones para dispositivos móviles que refuercen los servicios médicos ofrecidos y propone una aplicación para dispositivos móviles que, con base en un perfil y haciendo uso de los servicios de localización, proporcione al usuario recomendaciones acerca de los centros médicos más cercanos a su posición actual. Para ello, fundamenta la utilización de una ontología que describe los servicios de salud integrados por los hospitales y las especialidades que tiene cada uno.

En cuanto a la expansión y enriquecimiento de la cadena de búsqueda, De la Villa (2011) presenta un método mediante la creación de un modelo visual esquemático, un grafo de conceptos relacionados semánticamente con la ayuda de ontologías como UMLS y Freebase. Por su parte, Segura-Navarrete (2010) plantea una estrategia para la expansión de consultas basada en ontologías de dominio que permita al diseñador instruccional obtener resultados relevantes, los cuales, sin la expansión, no podrían ser recuperados desde los repositorios de objetos de aprendizaje. La autora supone que en la medida que los diseñadores instruccionales puedan acceder a recursos relevantes es posible contribuir en la calidad de los cursos e-learning o en la calidad de los nuevos recursos creados a partir de ellos.

Por su parte, Finat-Codes, Muñoz, Martín, Valverde, Martínez, Delgado y Martínez (2010) plantean que la resolución de los problemas de accesibilidad al patrimonio según los principios de “Diseño para todos” requieren una integración de herramientas y funcionalidades (orientadas hacia diferentes tipos de usuarios, con especial atención a personas en condición de discapacidad). Para abordar esta problemática sostienen el desarrollado de una aproximación conceptual a las cuestiones de interoperabilidad mediante una ontología que integra conceptos relativos a conocimiento sobre el dominio físico, usuarios y tareas de usuarios con una atención especial a técnicos y personas en condición de discapacidad. El conocimiento ha sido representado en OWL (*Ontology Web Language*) y proporcionado a través de un servicio web.

En la misma línea, Paulheim (2009) argumenta que, con la integración basada en ontologías en el nivel de fuente de datos que viene de la década de 1990 y los servicios web semánticos para integrarse en el nivel lógico de negocios, es el momento del siguiente paso lógico: emplear ontologías para la integración en el nivel de interfaz de usuario.

Su investigación plantea un primer prototipo que muestra cómo las interfaces de usuario se pueden integrar utilizando ontologías. Para esta labor, se usan tres tipos de ontologías: i) una ontología del dominio de interfaces e interacciones de usuario, que define categorías básicas para describir aplicaciones; ii) una ontología del dominio del mundo real de la aplicación, que define las categorías de objetos (del mundo real del dominio) para el que está construida la aplicación integrada; y, iii) una o más ontologías de aplicaciones, que utilizan las interfaces de usuario y las interacciones de conceptos básicos de la ontología para describir las aplicaciones que se van a integrar y las interacciones que son posibles con ellas.

Igualmente, Barchini, Álvarez y Herrera (2006) esbozan que en los sistemas de información el usuario puede interactuar con ellos usando ontologías de forma explícita (el usuario es consciente, o sea que conoce la existencia de la ontología y puede usar la misma como vocabulario) o implícita (el usuario no es consciente del uso de la ontología y la usa como parte normal de su interacción con el sistema para hacer preguntas o navegar).

Asimismo, Núñez (2007) presenta el diseño y la implementación de una ontología para el dominio del análisis del semen humano cuyo objetivo es representar, organizar, formalizar y estandarizar el conocimiento del dominio para que este pueda ser compartido y reutilizado por distintos grupos de personas y aplicaciones de software. Para visualizar la ontología se desarrolló una aplicación basada en una arquitectura cliente/servidor para ambientes web, la cual está constituida por un módulo de administración y otro de acceso público.

Como lo describe el profesor Aguilar Cuesta (2018, 21 de marzo), la interacción entre museos y aulas educativas no es una cosa novedosa, y arrastra consigo una larga lista bibliográfica con más de medio siglo, gracias a su carácter pedagógico y la multitud de posibilidades que ofrece al alumnado en su aprendizaje. Con la incorporación de la realidad virtual y la realidad aumentada, las cuales permiten sumergir al individuo en los museos a través de sus dispositivos, cada vez más lugares han incorporado visitas virtuales, como es el caso del Museo del Louvre, el Museo Británico de Londres o el Museo del Greco de Toledo. En este sentido, incluso Google ha desarrollado un *Art Project* con más de 1.000 obras disponibles y visualizaciones en 360 grados, además de *Expeditions*, el cual permite explorar lugares como el Museo Nacional de Iraq, el Museo de Historia Natural de América o la ruta de Cervantes, entre otros, que se construyen gracias al uso de las *Google Cardboard*, sin salir del aula.

Shahzad (2011) sostiene que la experiencia del usuario de cualquier software o sitio web consiste en elementos desde el nivel conceptual hasta el concreto. Estos elementos ayudan en el diseño y desarrollo de las interfaces de usuario. Por otro lado,

las ontologías proporcionan un marco para la representación computable de los elementos de la interfaz de usuario y los datos subyacentes. El autor discute estrategias de introducción de ontologías en diferentes capas de interfaz de usuario adaptadas de los elementos de experiencia del usuario. Estas capas varían desde niveles abstractos (por ejemplo, necesidades del usuario/objetivos de aplicación) hasta niveles concretos (como la interfaz de usuario de la aplicación) en términos de representación de datos. El marco ontológico propuesto permite la construcción de GUI (*Graphical User Interface*) de dispositivo independiente y semi automatizado.

La propuesta presentada por Ying y Gračanin (2012) expone el diseño de una interfaz 3D que implementa un modelo ontológico llamado *Ontology Colored Petri* (CPN). Es importante resaltar que dicha interfaz tiene gran relevancia dado que el modelo describe toda la información tanto de la parte estática como dinámica del mundo virtual. Adicionalmente, la ontología define todos los factores subjetivos, por ejemplo privilegios, plataformas, preferencias, etc. El comportamiento de la ontología es modelado por el CPN. La identificación de la parte dinámica y estática del mundo virtual ayuda a derivar varias interfaces que el usuario puede controlar mediante sus preferencias.

Por su parte, autores como Grandi (2017) y Grandi, Berndt, Nedel y Maciel (2017) presentan una propuesta 3D para la manipulación de objetos utilizando una técnica que explora las ventajas de los teléfonos inteligentes como interfaz gráfica para manipulaciones 3D. Los autores emplean la pantalla táctil y los botones de volumen para manipular un total de 7 DOF (*Degrees of Freedom*) de un objeto 3D seleccionado. No obstante, es una técnica que no usa ontologías como esquemas de navegación.

A través de la revisión de literatura llevada a cabo, se identificaron aspectos relevantes sobre las ontologías y su vinculación como estrategia de interacción que vale la pena resaltar:

- El uso como mecanismo para describir, enriquecer y proporcionar información al usuario.
- La integración de conceptos relativos a conocimiento sobre el dominio físico.
- La expansión de consultas basadas en un dominio.
- El empleo de ontologías para la integración en el nivel de interfaz de usuario.
- La interacción por parte del usuario con el sistema, usando ontologías de forma explícita e implícita.

En general, el uso de las ontologías plantea la implementación de diferentes estrategias con el fin de mejorar la experiencia del usuario para el acceso a recursos. Es

importante resaltar que aunque en algunas de estas propuestas se proyecta el uso de taxonomías para realizar descripciones —taxonomías que en algunos casos son diseñadas por los autores—, se evidencian algunos escenarios relevantes para los propósitos del presente libro.

Por un lado, el impacto que podrían ofrecer las taxonomías como mecanismos de interacción navegacional en entornos virtuales. En otras palabras, se visualiza como un referente estratégico el uso de las ontologías, no solamente como un esquema clasificatorio. A través de la integración de las ontologías a los esquemas de diseño de las interfaces, se puede generar un esquema navegacional que le permita al usuario, además de flexibilidad, una mayor accesibilidad al conocimiento.

Por otro lado, el desarrollo de entornos inmersivos, que contribuyan a mejorar factores de interacción con el usuario, tales como la facilidad de uso, la navegación y la estética, entre otros. Algunos de los autores analizados argumentan que la transición de interfaces WIMP (*Windows, Icons, Menus, Pointer*) a esquemas de inmersión plantean una mejor experiencia de usuario. De la misma manera, es evidente que los costos en los equipos y el acceso a herramientas de desarrollo han cambiado y facilitan todo el proceso.

Adicionalmente, el esquema tradicional de interacción ofrecido por repositorios y bibliotecas de recursos ha contribuido a la disminución del consumo de sus recursos por parte de los usuarios regulares (*Semana*, 2017; *Agencia de Noticias UN*, 2015). Mientras que el formato ESE (*Europeana Semantic Elements*) reducía los distintos formatos a un mínimo común denominador, el modelo EDM (*Europeana Data Model*) de Europeana, pretende invertir la situación mediante el enriquecimiento de los datos y la implementación de funcionalidades de la web semántica. En este contexto, se plantea como reto de investigación la integración de los medios inmersivos, la interacción navegacional y el consumo de recursos digitales abiertos como estrategia para contribuir al consumo y reúso de los recursos digitales publicados en diferentes repositorios y librerías digitales.

Motivación

El presente libro se configura como uno de los resultados del proyecto de investigación código 2-20-522-16, financiado por Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico (CIDC) de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. La motivación principal de esta investigación se enfoca en plantear una propuesta que permita integrar las variables identificadas en el problema: por un lado, las ontologías como estrategia que permite representar el conocimiento trabajando con conceptos, relaciones, etc. (Gruber, 1993). Es decir, una especificación explícita de una conceptualización.

Este tipo de representación además de permitir organizar el conocimiento, brinda herramientas para la adquisición de nuevo conocimiento, y su correspondiente relación con otros conceptos.

Por otro lado, la realidad virtual, que corresponde a un entorno tridimensional generado por computadora que puede ser explorado e interactuado por una persona. Esa persona se convierte en parte de este mundo virtual o está inmersa en este entorno y, mientras está allí, puede manipular objetos o realizar una serie de acciones (Virtual Reality Society, 2017).

Esta integración, basada en los elementos funcionales de los ambientes virtuales y apoyada en el consumo de las API (*Application Programming Interface*) provistas por las bibliotecas o repositorios digitales, se plantea como estrategia para contribuir en el mejoramiento del uso de los recursos digitales publicados en dichos repositorios. Esta integración permitirá generar un ambiente inmersivo, apoyado en navegación definido por conceptos de una ontología predefinida a partir de un área de conocimiento. Adicionalmente, posibilitará un ambiente de aprendizaje virtual vinculando recursos digitales mediante consultas a bibliotecas o repositorios con recursos abiertos.

Planteamiento del problema y estructura del documento

A partir de la exploración realizada, que permitió identificar las variables objeto de esta investigación, a continuación se plantea la pregunta de investigación que guiará este proceso: ¿cómo contribuir en el mejoramiento de la experiencia del usuario en el acceso a recursos digitales abiertos a través del uso de mecanismos de interacción basados en taxonomías utilizando para ello entornos de inmersión virtual?

A partir de esta problemática se abre un objetivo general que se enmarca como propósito y lineamiento de trabajo para completar nuestra investigación: diseñar e implementar una aplicación inmersiva para el consumo de recursos digitales abiertos, basada en navegación por ontologías como estrategia de interacción.

Entretanto, para el desarrollo del objetivo principal se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Diseñar e implementar un ambiente de trabajo, basado en realidad virtual, como estrategia de inmersión.
- Identificar un método de navegación a través de taxonomías, como estrategia de interacción, soportado en el consumo de los API provistos por los repositorios digitales.
- Llevar a cabo la integración del ambiente inmersivo, junto con el método de navegación, con el fin de llevar a cabo el consumo de recursos digitales abiertos.

- Implementar una prueba de usabilidad del ambiente inmersivo con el fin de determinar el grado de aceptación de la aplicación desarrollada.

Para finalizar, en cuanto a la estructura del libro advertimos que este se divide en cinco capítulos. El primero reúne una contextualización de las temáticas que comprenden el presente estudio: elementos funcionales de los ambientes virtuales, estado del arte de las técnicas de interacción, y por último, estrategias de representación del conocimiento. El segundo describe el modelo de trabajo planteado, partiendo de los principios utilizados para plantear la arquitectura, así como los escenarios de trabajos diseñados. El tercer apartado expone la metodología y las estrategias de usabilidad y evaluaciones heurísticas utilizadas como estrategias para validar la solución planteada. El cuarto discute los resultados obtenidos, así como un análisis de los mismos. Finalmente, en el último capítulo se presentan las conclusiones y trabajos futuros.

Contextualización

Interfaz hombre-máquina

Como lo plantean Barrios y Galeano (2014), “la interfaz de usuario es el medio de comunicación entre éste y una máquina, computadora o dispositivo en general; y su objetivo se orienta a que el usuario pueda suministrar información y así operarlo, por lo que debe ser fácil de entender y accionar” (p. 1).

Una interfaz de usuario asistida por ordenador o interfaz de uso, también conocida como interfaz hombre-máquina (HMI, *Human Machine Interface*), forma parte del programa informático que se comunica con el usuario. En ISO (2006), el término interfaz de usuario (*user interface*) se define como “todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo” (p. 3, traducción propia).

La interfaz de usuario/interfaz hombre-máquina (HMI) es el punto de acción en que un hombre entra en contacto con una máquina. El caso más simple es el de un interruptor: no se trata de un humano ni de una “máquina” (la lámpara), sino una interfaz entre los dos. Para que una HMI sea útil y significativa para las personas, debe estar adaptada a sus requisitos y capacidades (Copodata, 2008).

Como detalles de los inicios de la HMI, se encuentran entre otros autores Wolf (2010), Valero (1996), Watters (2015), Garmendia (2016) y la Interaction Design Foundation (2015). Computadores como la ENIAC (*Electronic Numerical Integrator and Computer*) de 1943, no presentaban componentes que hoy se reconocerían como interfaz:

[...] tanto instrucciones como datos eran introducidos directamente a las ubicaciones de memoria al iniciar la ejecución a través de tarjetas perforadas, y eran leídos de los registros del procesador, mostrándolos directamente en un volcado binario, hacia tarjetas o cintas perforadas, que debían ser traducidas a algo legible empleando dispositivos mecánicos independientes. (Wolf, 2010)

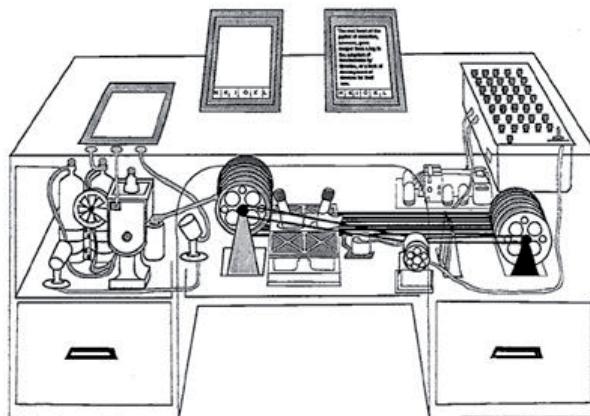
Seguidamente se introduce la interfaz textual como:

[...] adecuación del teletipo híbrido de teclado e impresora, que comenzó su existencia como un reemplazo más ágil y confiable que el código Morse para la comunicación a larga distancia. El teletipo permitía ingresar programas mucho más complejos a memoria. Aparecieron los primeros editores y, como consecuencia directa, los programas pudieron comenzar a presentar una mayor complejidad, llevando a la introducción de bibliotecas de código y a las diversas abstracciones y estrategias para manejar la complejidad. (Wolf, 2010)

En 1945, Vannevar Bush publicó dos artículos que marcarían un antes y un después en la sociedad a diferentes niveles: *As We May Think* y *Science, The endless frontier* (Watters, 2015). En estas publicaciones se presentó un dispositivo para uso personal, el cual es una especie de archivo privado mecanizado y biblioteca a la vez al que denominó MEMEX (*memory extender* o extensor de la memoria) (figura 1).

Un MEMEX es [entonces] un dispositivo en el cual un individuo almacena todos sus libros, registros y comunicados, y está automatizado de tal forma que puede ser consultado con enorme velocidad y flexibilidad. Es una adición enorme e íntima a su propia memoria. (Bush citado en Watters, 2015, traducción propia)

Figura 1. MEMEX



Fuente: Garmendia, 2016

Posteriormente, con la transición del teletipo a la pantalla:

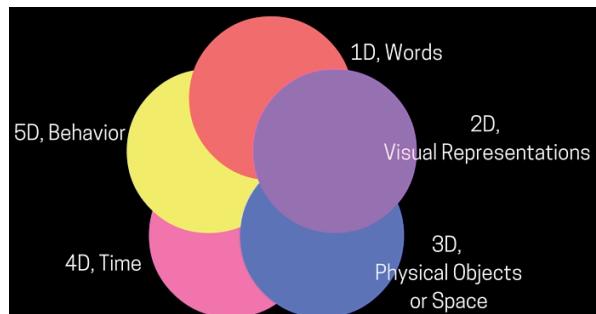
[...] comenzaron a aparecer terminales con diferentes estándares capaces de reponer el cursor o de desplegar texto con atributos (negritas, subrayado, colores), caracteres semi-gráficos, hasta verdaderas capacidades de formularios como las que manejaban las IBM 3270, que comenzaron a permitir desacoplar la lógica de un programa de su presentación. (Wolf, 2010)

En diciembre de 1968, se presentó la interfaz gráfica básica WIMP (*Window, Icon, Menu, Pointer*):

[...] que aún se sigue utilizando hoy en día, manejada a través de un apuntador controlado por un mouse, que presenta ventanas para la visualización de las diferentes aplicaciones en uso (o vistas de una misma aplicación), iconos representando atajos a las acciones de sistema disponibles y con un menú como elemento estándar que expone las acciones relacionadas con cada aplicación activa. Por supuesto, para la entrada y manipulación de datos dentro de cada aplicación, el dispositivo primario seguirá siendo el teclado. (Wolf, 2010)

Dada la convergencia tecnológica con la articulación de aspectos como las dimensiones del diseño de la interacción (Interaction Design Foundation, 2015), se plantean una serie de dimensiones del lenguaje en el diseño de la interacción (figura 2).

Figura 2. Dimensiones del lenguaje en el diseño de la interacción



Fuente: Zdravic, 2015

Vale la pena retomar las definiciones de la Interaction Design Foundation (2015, traducción propia):

[Primera dimensión: las palabras]. Esta dimensión representa la semántica o significado y la naturaleza de las interacciones de un usuario.

[Segunda dimensión: las representaciones visuales]. Esta dimensión se refiere a los elementos que no son palabras dentro de un producto, como la tipografía, diagramas, iconos y otros gráficos. Estos elementos no son menos poderosos que las palabras, ya que los humanos son capaces de procesar imágenes con la misma rapidez y extraer significado en una fracción de segundo. Las representaciones visuales 2D son ahora comunes en las interfaces de usuario, y se han almacenado miles de estos elementos en la memoria a largo plazo, lo que permite interpretar las pantallas —cuando el diseño lo permite— inmediatamente en beneficio de la experiencia del usuario.

[Tercera dimensión: objetos físicos o espacio]. Los medios tangibles de control, como un teclado de computadora, ratón, pantalla táctil, joystick, controladores de juegos y teclado. Las palabras, las representaciones visuales y los objetos físicos 3D definen las interacciones del usuario, proporcionando las herramientas y

la retroalimentación perceptible para guiar sus acciones y permitir la finalización de las metas.

[Cuarta dimensión: el tiempo]. El tiempo en el que el usuario interactúa y hace uso de las tres primeras dimensiones y, por ejemplo, durante el que puede comprobarse el progreso de estas interacciones. 4D abarca también el sonido, el cine y la animación, a su vez, cada uno de los cuales representa otro medio de transmitir información y mejorar la experiencia del usuario.

[Quinta dimensión: el comportamiento]. Esta dimensión incluye acción u operación y presentación o reacción. [A este respecto el IDF sigue a Kevin Silver].

Unido a aspectos que producen una abstracción gráfica, resultado de la reducción del espacio n-dimensional a un número de dimensiones comprensibles y perceptibles por el ojo humano (Incera, 2007), se han desarrollado avances, por ejemplo, en sistemas llamados de imágenes integrales en los que se capturan imágenes en 2D desde distintos ángulos de vista y se proyectan simultáneamente, creando la sensación de 3D, etc. Gran parte de los primeros trabajos sobre interfaces de usuario 3D se realizaron en el contexto de la interacción con sistemas de realidad virtual que utilizan algún tipo de pantalla “inmersiva”, como pantallas montadas en la cabeza (HMD, *Head Mounted Display*), pantalla envolvente (por ejemplo, CAVE, *Cave Automatic Virtual Environment*) o pantallas estereoscópicas de tamaño de pared (Bowman, 2013; Cherbakov, Brunner, Smart y Lu, 2009).

En este contexto, como lo exponen Hettinger y Haas (2003):

[...] en el diseño de sistemas humanos-máquina se encuentran dos enfoques altamente innovadores: los ambientes virtuales y los ambientes adaptativos. Cada uno de ellos está destinado a ampliar y facilitar significativamente las interacciones humanas con las tecnologías basadas en computadoras. (p. 3, traducción propia)

En primera instancia, los ambientes virtuales:

[...] representan un acercamiento al diseño del sistema humano-máquina que busca producir en diferentes grados, un sentido de *inmersión* o *presencia* dentro de un ambiente generado por ordenador o sintético. (p. 3, traducción propia),

[...] enfatizando [...] el uso de pantallas inmersivas y multi sensoriales que simulan aspectos clave de la información específica de entornos reales o imaginarios. A su vez, los usuarios interactúan con estos entornos mediante una serie de mecanismos de control más o menos naturales que trabajan en conjunto con los sistemas de detección de movimientos corporales. El producto final deseado es un entorno sintético generado por computadora que responde de una manera natural y predecible a entradas de usuario relativamente intuitivas y actividades normales de movimientos corporales. (p. 4, traducción propia)

Por su parte, los ambientes adaptativos:

[...] buscan establecer un canal de comunicación amplio y simétrico entre un sistema informático y su usuario, permitiendo a los primeros detectar la condición o estado actual de estos últimos y, de este modo, ajustar su propia actividad para facilitar el logro de algún objetivo conductual específico. (p. 3, traducción propia)

[...] se basan en la recopilación y aplicación de información conductual, biológica y/o psicofisiológica sobre el usuario, así como datos sobre la situación en la que se encuentra inmerso el sistema humano-máquina. Esta información se procesa en tiempo real para extraer inferencias confiables sobre el estado actual de la condición del usuario con el fin de alterar dinámicamente y mejorar la naturaleza de las características de información y control del sistema humano-máquina. (p. 4, traducción propia)

[...] Tanto los ambientes virtuales como los adaptativos se preocupan por producir interfaces hombre-máquina que a menudo se describen como más *intuitivas*, *inmersivas* y *transparentes* que los diseños tradicionales. (p. 5, traducción propia)

[...] y la superposición de dichas características ha generado lo que se denomina una mayor *presencia*. (p. 6, traducción propia)

A continuación, se definen de forma muy breve cada una de dichas características.

[*Interfaz intuitiva*]. Una interfaz intuitiva puede definirse como un conjunto de controles y pantallas cuyo diseño permite a los usuarios aprehender de forma rápida y precisa las reglas que rigen su uso, al tiempo que les permite percibir y comprender los efectos de sus acciones al usarlo. Además, una interfaz intuitiva debe permitir una comprensión clara de la naturaleza y las consecuencias potenciales de los errores cuando se cometen, mientras que también se especifican claramente las acciones que deben tomarse para corregir esos errores. (p. 6, traducción propia)

[*Interfaz transparente*]. Una interfaz transparente es un conjunto de pantallas y controles cuyo funcionamiento y uso es tan natural y sin esfuerzo, que casi se puede olvidar que uno está interactuando con un conjunto de pantallas y controles. En otras palabras, el uso del sistema es tan natural e intuitivo que es casi como si la interfaz ni siquiera estuviera allí, el usuario ha logrado una conexión funcional de alto nivel con el objeto real de atención-el proceso subyacente que está siendo monitoreado y controlado. (p. 8, traducción propia)

[*Interfaces inmersivas*]. El término inmersión en los ambientes adaptativos se refiere a sumergir al usuario en una interacción más directa, de circuito cerrado con el sistema basado en ordenador, en el que la máquina está equipada para detectar cambios significativos en la condición del usuario, siendo éste un tipo de inmersión de naturaleza más cognitiva. La inmersión, para la tecnología virtual, es el principal medio técnico por el cual los diseñadores intentan producir conceptos de interfaz hombre-máquina más intuitivos y transparentes. En este contexto, el tipo de inmersión que ocurre es de tipo perceptivo-motora, que busca rodear al usuario en un entorno sintético (aunque con comportamientos realistas). (p. 9, traducción propia)

[*Presencia*. La presencia] [...] está compuesta por el sentido conductual y fenomenal de la fidelidad en la percepción y la acción que ocasionalmente puede acompañar y caracterizar la experiencia de los individuos en ambientes virtuales y adaptativos. Es más importante manifestarse como funcionamiento humano funcional y eficaz, y secundariamente como un sentido fenomenal de la realidad o suspensión de la incredulidad que caracteriza la relación ontológica del operador con el sistema técnico con el que está interactuando. [...] la presencia existe en la intersección de los atributos de interfaz intuitiva, interfaz transparente e inmersión. (p. 10, traducción propia)

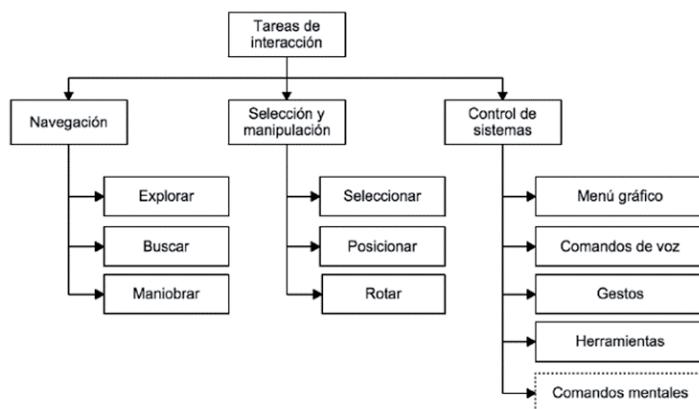
Elementos funcionales de los ambientes virtuales

Como un primer eje del proceso investigativo adelantado, es necesario contextualizar de forma adecuada los elementos funcionales que circunscriben los ambientes virtuales. Para ello, y como lo plantean Sarmiento (2014), Carreño y Lozano (2014), Zamora y Villa (2013), Domínguez Figaredo (2011) y Ávila-Buitrago (2016), el estudio de los ambientes virtuales se enmarca en tres grandes elementos funcionales: la interacción en 3D, la inmersión y la colaboración.

La interacción en 3D

La interacción define cómo el usuario puede realizar cualquier acción en el ambiente virtual, desde caminar o tomar objetos hasta realizar tareas complejas. La interacción en 3D permite la realización de la actividad colaborativa y, hasta cierto punto la define, ya que, por ejemplo, una misma tarea puede ser realizada de diferentes maneras cuando se emplean distintos dispositivos de interacción. Dentro de las dificultades de la interacción en 3D se encuentra el gran número de tareas que pueden ser realizadas en un entorno 3D. Para contextualizar la problemática, estas tareas se han agrupado en las siguientes cuatro categorías (figura 3).

Figura 3. Tareas de interacción



Fuente: Ávila-Buitrago, 2016, p. 40

- a. *La manipulación.* Estas tareas se enfocan en el cambio del estado actual de un objeto 3D, es decir, cómo manejar un objeto con una o dos manos. Las tareas básicas de manipulación son: selección, posicionamiento y rotación.
- b. *La selección.* Grupo de tareas que hacen referencia al evento de elegir un objeto de interés en una escena, lo cual aunque aparenta ser un problema trivial, enfrenta problemas complejos: si el objeto está en movimiento, objetos circundantes, etc.
- c. *La navegación.* Este grupo de tareas hace referencia al desplazamiento libre que puede hacer un usuario en una escena 3D. Es generalmente estudiada a través de dos componentes: por un lado, el componente mecánico de la navegación, denominado locomoción, que hace referencia a la subtarea de cambiar la posición del usuario en la escena 3D; por otro lado, el componente cognitivo de la navegación, que se refiere a la planificación mental de la exploración, el planeamiento de la ruta a ser seguida por el usuario. La navegación es de gran importancia, pues muchas veces es la forma de mediar entre dos tareas u objetivos en el entorno. Debe ser intuitiva para evitar distracciones del usuario.
- d. *El control del sistema.* A este grupo de tareas pertenecen todas aquellas acciones que se refieren a la interacción del usuario con el software para realizar actividades rutinarias como por ejemplo cambio de herramientas, salvar archivos o enviar mensajes. En general, esta tarea trata de enviar comandos al sistema para que realice procedimientos específicos. Dichos comandos se pueden enviar mediante botones y menús en la interfaz, comandos de voz, gestos y herramientas. Cuando la actividad que está realizando el usuario implica un alto nivel de inmersión no es recomendable desligarlo del entorno 3D para hacer estas tareas.

En la actualidad no existe un artefacto de interacción que cubra todas las tareas de la interacción 3D. Por tal motivo, identificar un artefacto adecuado de interacción es fundamental en cómo el usuario se conecta con una actividad y desarrolla conciencia de que la está realizando. En este contexto, como lo plantea Sarmiento (2014), la interacción en 3D se sigue considerando un problema abierto de investigación, dado que esta:

[...] busca proveer herramientas para generar un mayor sentido de inmersión al usuario y propiciar ambientes adecuados, para que el equipo que colabora se integre eficientemente [...] Desafortunadamente, la oferta de herramientas correctamente diseñadas para ambientes de colaboración, que brinden a los usuarios las alternativas y ventajas de los diferentes esquemas de interacción en 3D es limitada. (p. 22)

Además de ello, estos requerimientos se acentúan con los desafíos en una red de cómputo, datos y servicios altamente distribuida.

En De la Rosa, Duque y Hernández (2013) y Ávila-Buitrago (2016), se encuentran algunos trabajos relacionados donde se describe las operaciones básicas de interacción 2D/3D que soportan dichas tareas.

La inmersión

La inmersión, como componente cognitivo, hace referencia a la capacidad del usuario de conectarse con una actividad.

La colaboración.

Como indica Sarmiento (2014): “La colaboración es el objetivo de cualquier sistema colaborativo. Puntualmente, en sistemas en entornos 3D, la inmersión y la interacción son un camino para llegar a ella [...] Los tres principales elementos del trabajo colaborativo asistido por computador son” (p. 43): a) el equipo de trabajo, que corresponde a los personajes que se encuentran realizando una b) actividad colaborativa que se lleva a cabo a través de tareas de interacción, sobre un c) soporte tecnológico (software y hardware) que incluye elementos que permiten un alto grado de inmersión (p. 43). En síntesis, el proceso de investigación adelantado en este proyecto tiene en cuenta para su diseño e implementación los elementos funcionales definidos en el contexto de los ambientes virtuales, aspectos que se especificarán en los capítulos siguientes.

Técnicas de interacción

Teniendo claramente definidos los elementos funcionales de los ambientes virtuales, para esta investigación es de vital importancia contextualizar las técnicas genéricas de interacción que se han venido desarrollando a través del tiempo. Acorde con el centro ISYS (2012), Bautista y Archila (2012) y Baldassarri (2013), los estilos o técnicas de interacción agrupan las diferentes maneras en que los usuarios se comunican o interactúan con el ordenador. Dentro de estos estilos se hallan, entre otras, las que se mencionan a continuación siguiendo a Baldasarri (2013):

- *Interfaz por línea de comandos.* “Primer estilo de interacción de uso generalizado [a través del cual se dan] instrucciones directamente al ordenador. [Estas instrucciones] pueden tener la forma de teclas de función, un carácter, abreviaciones cortas o palabras enteras”.
- *Interfaces WIMP/GUI.* WIMP corresponde al acrónimo:
 - Windows: [Ventanas] que pueden abrirse, cerrarse, moverse en la pantalla usando el ratón, superponerse, agrandarse y achicarse, hacer scroll.
 - Icons: Representan aplicaciones, objetos, comandos, y herramientas que se abren al hacer click sobre ellas.

- Menús: Ofrecen listas de opciones sobre las que el usuario puede moverse y seleccionar.
- Pointer Device: Un mouse, por ejemplo, controla el cursor como punto de entrada a las ventanas, menús e iconos de la pantalla.
- Por su lado, *GUI-Interfaz Gráfica de Usuario*,

[...] [corresponde a] bloques básicos de construcción similares a las WIMP pero más variados, [como por ejemplo] color, 3D, sonido, animación [...] Varios tipos de menús, iconos, ventanas. [Se incorporan] nuevos elementos gráficos como barras de herramientas, desplegables [entre otros].

- Interfaces multimedia.

Consisten en la combinación de varios medios (texto, gráficos, audio, vídeo, animación) en una sola interfaz con diferentes formas de interactuar. [En este tipo de interfaces] los usuarios interactúan a través de enlaces en imágenes o texto para: lanzar una aplicación o programa, ejecutar videos o animaciones, moverse de un lugar a otro de la aplicación.

- Realidad virtual.

La realidad virtual tiene su base en sustituir el mundo real por otro mundo virtual, creado por ordenador. Las experiencias de realidad virtual se basan en el aislamiento del usuario del mundo real para acercarlos a un mundo inmersivo, generalmente con la utilización de dispositivos tales como los HMD (Head mounted displays) o cascos/gafas de realidad virtual. Casos concretos son las Oculus Rift, o las HTC Vive; que permiten disfrutar de experiencias inmersivas muy sorprendentes. Además, con la realidad virtual, el usuario puede interactuar, pero siempre sin salirse del mundo virtual en el que está integrado. (Neosentec, 2017)

- Realidad aumentada.

Término que se usa para definir una visión directa o indirecta de un entorno físico del mundo real, cuyos elementos se combinan con elementos virtuales para la creación de una realidad mixta a tiempo real. [...] la Realidad Aumentada permite al usuario ver el mundo real con objetos virtuales superpuestos o mezclados con el mundo real. (Bautista y Archila, 2012)

Según Bautista y Archila (2012), algunas de las formas en las cuales un usuario podría interactuar con un sistema de realidad virtual son: (i) manipulación de objetos virtuales/reales: control directo, control físico, control virtual o a través de control mediante agentes; (ii) interfaces tangibles basadas en el uso de marcadores: interacción basada en objetos físicos que tienen una representación digital. Cuando una persona manipula los objetos físicos produce un efecto digital, como lanzar una animación. Los efectos digitales pueden tener lugar en diferentes medios o espacios físicos, o pueden estar embebidos en el objeto físico (Baldassarri, 2013); (iii) interacción basada en movimiento corporal: son técnicas

que permiten la interacción mediante el movimiento natural de algunas partes del cuerpo; (iv) interacción basada en dispositivos de bajo costo: se usan dispositivos existentes en el mercado que incorporan sistemas de tracking para la interacción con el entorno realidad aumentada.

- *Interfaz por voz.* La persona interactúa con un sistema a través del lenguaje. Generalmente se utiliza para sistemas que ofrecen información muy específica, como realización de determinadas transacciones.
- *Interfaces móviles.* Dispositivos para llevar en la mano y utilizarlos mientras la persona se mueve. Por ejemplo, PDAs (*Personal Digital Assistant*) o teléfonos móviles.
- *Interfaces colaborativas.* Están diseñadas para que se usen por más de un usuario al mismo tiempo.
- *Interfaces portables.* Permiten que el usuario pueda interactuar con información digital mientras se mueve. Algunos de estos ejemplos son cámaras montadas en la cabeza o en gafas que permitían al usuario grabar lo que veía y acceder a información digital; sombreros, ropa inteligente, zapatos, chaquetas, etc.

Tipos de inmersión

Enfocándonos en el objeto de la presente investigación y teniendo en cuenta los elementos funcionales y las técnicas de interacción descrita, a continuación se plantea la caracterización acerca de las formas en las que el usuario puede contactarse con las actividades propuestas en un proyecto de ambientes virtuales.

Al interior de los ambientes virtuales se identifican diferentes tipos de inmersión, dentro de los cuales se categorizan los siguientes (Pérez, Ramírez, Rojo, y Rojo, 2015; e-ISEA y Ministerio de Industria y Comercio-España, 2008; y López y Martínez, 2006).

a. Sistemas inmersivos.

Son aquellos sistemas donde el usuario se siente dentro del mundo virtual que está explorando. Este tipo de sistemas utiliza diferentes dispositivos denominados accesorios de interacción, como pueden ser guantes, trajes especiales, visores o cascos, estos últimos le permiten al usuario visualizar los mundos a través de ellos, y precisamente estos son el principal elemento que lo hace sentir inmerso dentro de estos mundos. Este tipo de sistemas son ideales para aplicaciones de entrenamiento o capacitación. (Ministerio de Industria y Comercio-España, 2008, p. 7)

Una de las ventajas de poder utilizar ambientes virtuales inmersivos es el acceso a espacios inaccesibles o con riesgo y poder modificar los eventos que ahí ocurren. Por ejemplo: recorrer libremente ambientes arquitectónicos ya desaparecidos; diseñar edificios, casas, autos u otros objetos, teniendo una proyección en escala real y realizar modificaciones antes de pasar a la construcción real; recrear ambientes

para entrenamiento que serían muy costosos o no son posibles, por ejemplo, para el adiestramiento en casos de siniestros. En los ambientes virtuales se pueden generar diversas situaciones de riesgo, por lo que es posible que el usuario interactúe con ellos, así se le permite tener fallas, con esto se tiene una simulación real, que podría ser peligrosa o de alto costo (Ramos, Larios, Cervantes, y Leriche, 2007).

- b. *Sistemas semi-inmersivos.* También denominados inmersivos de proyección:

[...] se caracterizan por ser 4 pantallas en forma de cubo (tres pantallas forman las paredes y una el piso), las cuales rodean al observador, el usuario usa lentes y un dispositivo de seguimiento de movimientos de la cabeza, de esta manera al moverse el usuario las proyecciones perspectivas son calculadas por el motor de Realidad Virtual para cada pared y se despliegan en proyectores que están conectados a la computadora. Este tipo de sistemas son usados principalmente para visualizaciones donde se requiere que el usuario se mantenga en contacto con elementos del mundo real. (Pérez, Ramírez, Rojo y Rojo, 2015, p. 81)

- c. *Sistemas no inmersivos.* También denominados de escritorio:

[...] son aquellos donde el monitor es la ventana hacia el mundo virtual y la interacción es por medio del teclado, micrófono, *mouse* o *joystick*. Este tipo de sistemas son idóneas para visualizaciones científicas, también son usadas como medio de entretenimiento (como son los casos de los juegos de arcade) y aunque no ofrecen una total inmersión son una buena alternativa de bajo costo. (Pérez, Ramírez, Rojo y Rojo, 2015, p. 81)

Estado del arte: implementación de técnicas de interacción

Para contextualizar el estado del arte en cuanto a las diferentes técnicas de interacción se presentan algunas de las estrategias implementadas (Barrios y Galeano, 2014).

Realidad virtual

La realidad virtual como estrategia de los ambientes virtuales permite la creación de mundos virtuales, entornos artificiales semejantes a la vida real donde el hombre interactúa con la máquina. Se trata de:

[...] una tecnología de visualización y control que puede rodear a una persona con un ambiente virtual interactivo generado o mediado por el ordenador. Mediante dispositivos de visualización montados sobre la cabeza [figura 4] y que siguen sus movimientos, y otros dispositivos que registran los gestos y sonido en 3D, se crea un mundo artificial de experiencia visual y auditiva [...] se crea un lugar artificial que puede ser explorado y que contiene objetos virtuales que pueden ser manipulados. (Michael W. McGreevy citado en Felipe, 2010, p. 127)

Figura 4. Aplicación de realidad virtual



Fuente: Yupán, 2016

Como lo plantean Pérez, Tovar, Sánchez, Ayala y Sagaz (2016):

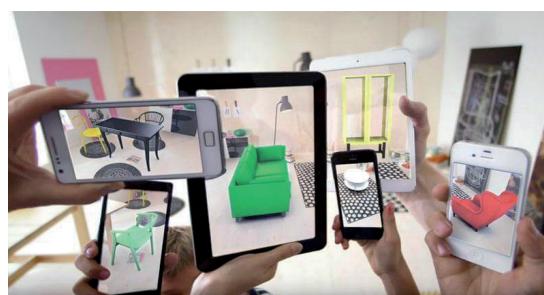
[...] la realidad virtual es una ciencia basada en el empleo de computadoras y otros dispositivos cuyo fin es producir entornos visuales, sonoros y táctiles que permita al usuario tener la sensación de estar presente en ella. Para lograr una mejor inmersión se debe contar con gafas sofisticadas que permitan al usuario tener un campo de visión más amplio y con baja latencia de modo que la animación parezca más realista. Aparte del entorno visual, que es probablemente el más importante, la experiencia se puede mejorar utilizando otros sentidos como el oído, por medio de sonido tridimensional, o el tacto, por medio de sensores hápticos. (p. 11)

Realidad aumentada

A diferencia de la realidad virtual, no genera un mundo netamente virtual, sino que añade componentes virtuales a la realidad existente. Así se crea:

[...] una realidad mixta en tiempo real, es decir, sobreimprime los datos informáticos al mundo real. Con la ayuda de la tecnología (por ejemplo, añadiendo la visión por computador y reconocimiento de objetos) la información sobre el mundo real alrededor del usuario se convierte en interactiva y digital (figura 5). La información artificial sobre el medio ambiente y los objetos puede ser almacenada y recuperada como una capa de información en la parte superior de la visión del mundo real. (Ruiz, 2012)

Figura 5. Aplicación de realidad aumentada



Fuente: Vargas, 2016

Como lo describe Vargas (2016), un ejemplo de la aplicación de la realidad aumentada se puede evidenciar en “la efervescencia mundial del fenómeno *Pokemon Go*, aplicación para dispositivos móviles que usa sus cámaras para *cazar* pokemones en las calles y recintos de la vida real” (figura 6).

Figura 6. Aplicación Pokemon Go

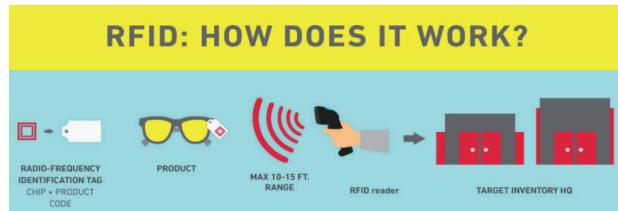


Fuente: Alwani, 2016

RFID y geolocalización

- RFID, *Identificación por radiofrecuencia*. Como lo describe Manley (2015), consiste en el uso de pequeños sensores o etiquetas RFID que se pueden pegar o incrustar en un objeto con el propósito de rastreo (figura 7). Su apariencia es de una pequeña calcomanía del tamaño de una estampilla o chip que puede ser incrustado en objetos del día a día. Utilizada inicialmente para identificar objetos remotamente, desde un animal, libros a artículos de supermercado, son las aplicaciones más reconocidas de dicha tecnología.

Figura 7. Cómo funciona RFID



Fuente: RFDHY, 2016

- *Geolocalización*. Acorde con lo expuesto por Díaz (2016), al igual que la tecnología de RFID, la geolocalización permite obtener datos de localización de un objeto, animal o persona de forma remota. La diferencia entre ambas está en que la geolocalización es específica en enviar datos de localización, más que otro tipo de información. Actualmente el elemento más utilizado para la geolocalización es el sistema de posicionamiento global (GPS) (figura 8).

Figura 8. Geolocalización



Fuente: Movilion, 2014

Wearable computing

También conocidas como computadoras para vestir. Conforme con Velasco (2013), es un esfuerzo por miniaturizar los dispositivos electrónicos para hacerlos parte de nuestro día a día, incorporándolos en nuestra ropa o accesorios como gafas, pulseras, relojes, etc. (figura 9).

Figura 9. Wearable Computing



Fuente: Future Converged, 2007

Como lo enuncia Barrios y Galeano (2014):

[...] Este nivel de acceso a la computación revoluciona, por donde se le mire, a la forma en que nos relacionamos con las máquinas y también con los humanos. [...] Entre sus aplicaciones más importantes se encuentran los teléfonos móviles, sistemas de monitoreo para cuidados de la salud, moda, gestión de servicios e integración sensorial. Esto último, utilizando la tecnología de BCI (*Brain Computer Interface*) y/o realidad aumentada, bastante útil en brindar asistencia a personas con capacidades limitadas, ya sea física (mejorar los sentidos de audición, vista) o entender mejor el mundo.

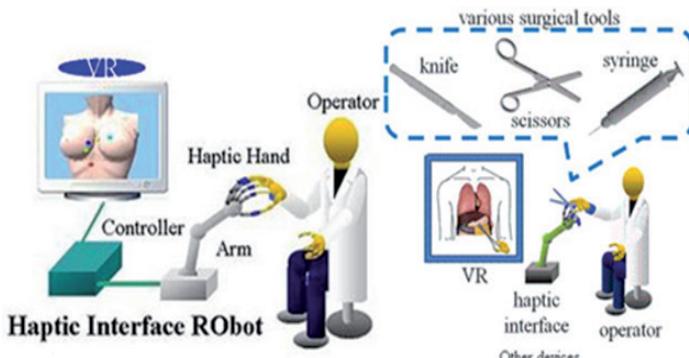
Interfaces hapticas

Según Barrios y Galeano (2014),

[...] La palabra haptica proviene del griego hápto (tocar, relativo al tacto) y se refiere a la ciencia que estudia todo lo relativo al tacto y sus sensaciones como medio de control e interacción con máquinas y computadores. Si bien la vista

y el oído son los sentidos que más se utilizan para relacionarse con el mundo circundante, sobre todo cuando se trata de entornos virtuales, el tacto tiene vital importancia porque hace del mundo virtual un ambiente más real (figura 10).

Figura 10. HIRO III



Fuente: fayerwayer.com, 2010

Según Barrios y Galeano (2014), la sensación háptica puede simularse de varias formas mediante interfaces táctiles o de retroalimentación de fuerza.

- *Interfaz táctil:*

[...] Permite estimular a los mecanorreceptores que se encuentran en la piel. Los mecanorreceptores no se encuentran distribuidos de forma homogénea a lo largo de la toda la piel, sino que se encuentran concentrados en zonas como son las yemas de los dedos, la mano, etc. Si bien se podría hacer dispositivos para cualquier zona, se suele realizar para las yemas de los dedos, ya que es una zona muy estudiada y donde se encuentran los distintos tipos de mecanorreceptores. Se identifican cinco tipos de interfaces posibles: (i) vibradores, (ii) neumáticos, (iii) mecánicos, (iv) electrocútenos y (v) térmicos. (Barrios y Galeano, 2014)

- *Interfaces de realimentación de fuerza:*

[...] Las interfaces táctiles sólo simulan la presión ejercida al usuario de forma localizada. Existe un conjunto de características de los objetos como elasticidad, viscosidad, adherencia, etc., que no se pueden conseguir con estas interfaces. Sin embargo, con las interfaces de fuerza sí es posible. Es por ello que actualmente éstas son las más aplicadas en realidad virtual. Cuando en un entorno virtual se desea tocar un objeto (apretarlo, manipularlo, etc.) se puede hacer de forma realista, notando que el objeto ocupa realmente un volumen determinado en el espacio. Con estas interfaces se podría establecer un plano virtual y, cuando el usuario lo toque y quiera traspasarlo, de alguna forma el sistema virtual se lo impida. Las interfaces de fuerza pueden ser de dos tipos a) exoesqueletos y b) interactuadores puntuales. (Barrios y Galeano, 2014)

Interfaces con consolas

Dentro de este grupo se pueden encontrar los que se describen a continuación.

Wii

[...] Consola producida por Nintendo en colaboración con IBM y ATI perteneciente a la séptima generación de consolas. La tecnología resultó ser una novedad tras su lanzamiento por la peculiaridad de su mando inalámbrico, el cual detecta movimientos. (Barrios y Galeano, 2014)

PS Move

[...] El PlayStation Move es un mando para la consola PlayStation 3, el cual por medio de sensores detecta movimientos para controlar comandos en una variedad de videojuegos. (Barrios y Galeano, 2014)

Kinect

[...] Este dispositivo permite a los usuarios controlar e interactuar mediante una interfaz natural de usuario (NUI) que reconoce gestos, comandos de voz, objetos e imágenes (figura 11). (Pérez, Tovar, Sánchez, Ayala y Sagaz, 2016, p. 11)

Figura 11. Kinect



Fuente: Haslam, 2011

El Kinect tiene un sensor de distancia que está conformado por un proyector de luz infrarroja, el cual manda haz de luces con un patrón constante sobre los objetos frente al dispositivo, y una cámara infrarroja con la cual se captura una imagen de dichos puntos. Esta imagen es comparada con un patrón de referencia previamente obtenido con una pantalla frente al dispositivo. Dependiendo del desplazamiento de los puntos sobre los objetos en relación a los puntos de la imagen de referencia es como se puede localizar la distancia de cada uno de ellos. De esta manera se obtiene una nube de puntos los cuales en conjunto dan forma a los objetos. Estos datos son enviados a la computadora donde se procesan con un algoritmo que determina la posición de las articulaciones del usuario. Este algoritmo infiere la distribución de las partes del cuerpo en relación a una base de datos obtenida de personas con diferentes características. Para esto se utilizan bosques de árboles de decisiones donde cada hoja contiene una descripción de un usuario distinto. (Pérez, Tovar, Sánchez, Ayala y Sagaz, 2016, p. 11)

Realidad virtual e interacción

Según García-Blanco (2002), lo virtual está relacionado con un escenario paralelo a la realidad o una dimensión que sustituye lo real, donde los sentidos del ser humano que sirven para comprender el entorno son manipulados “a través de espacios sintetizados por computadora” (p. 82). En términos generales, la realidad virtual es una simulación interactiva por computador desde el punto de vista del participante, en la cual se sustituye o se aumenta la información sensorial que recibe (Rowell, 1997).

Dicha definición involucra los siguientes elementos: simulación interactiva, interacción implícita e inmersión sensorial.

Simulación interactiva. [...] Una aplicación de realidad virtual es una simulación en el sentido de que se recrea un mundo virtual que sólo existe como una representación digital en la memoria de un ordenador. El hecho de que la simulación sea interactiva es lo que distingue la realidad virtual de una animación, el usuario puede escoger libremente su movimiento por la escena y, por tanto, sus acciones afectan de forma directa a las imágenes que verá [...]

Interacción implícita. [...] La realidad virtual utiliza la interacción implícita en contraposición a la interacción explícita o interacción clásica. En la realidad virtual el sistema captura la voluntad del usuario implícita en sus movimientos naturales [...]

Inmersión sensorial. [...] Vista como la desconexión de los sentidos del mundo real y la conexión al mundo virtual. Como consecuencia, el usuario deja de percibir el entorno que le rodea y pasa a estar inmerso dentro del mundo virtual que recrea el computador en tiempo real básicos [...]. (Universidad Politécnica de Cataluña, 2018, p. 3)

Como lo plantean Freina y Ott (2015):

[...] si bien la realidad virtual no inmersiva puede basarse en una computadora estándar, la realidad virtual inmersiva, fundamentada en los anteriores elementos básicos, sigue evolucionando a medida que los dispositivos necesarios se vuelven más amigables para el usuario y más accesibles económicamente. En el pasado, existía una gran dificultad para usar equipos como un casco con gafas, mientras que ahora se están desarrollando nuevos dispositivos para mejorar la usabilidad del usuario. La realidad virtual ofrece un potencial muy alto en diferentes campos, como por ejemplo en la formación, al hacer que el aprendizaje sea más motivador y atractivo. (p. 1, traducción propia)

Sin embargo, a pesar de los grandes adelantos llevados a cabo en tecnologías para el trabajo en realidad virtual, aún se mantiene la siguiente problemática expuesta por Reyes (2005):

A menudo, la mayor parte de los esfuerzos del desarrollador de aplicaciones de Realidad Virtual se dedican al diseño del mundo virtual y el modelado e implementación de los objetos, personajes y situaciones que allí se dan cita. Sin

embargo, los mecanismos que el usuario empleará para interactuar con el mundo virtual se tratan a la ligera y se dejan para la última fase del trabajo, suponiendo que el uso de pos periféricos habituales en RV resolverá el problema. (p. 12)

La realidad virtual y la realidad aumentada presentan muchas tareas de alto nivel, como la necesidad de identificar qué información se debe proporcionar, cuál es la representación adecuada para esa información y cómo el usuario debe realizar consultas e informes. (Azuma, Baillot, Behringer, Feiner, Julier y MacIntyre, 2001, p. 43, traducción propia)

Desde hace unos años, se presentan dos tendencias principales en la investigación de interacción de realidad virtual y realidad aumentada; por un lado, “utilizar dispositivos heterogéneos para aprovechar las ventajas de diferentes pantallas”; y por otro, “integrarse con el mundo físico a través de la interfaz tangible” (Azuma, Baillot, Behringer, Feiner, Julier y MacIntyre, 2001, p. 38, traducción propia).

Estado del arte: campos de aplicación de entornos virtuales

Como se describe en Ayala (2017):

[...] anteriormente estar en una actividad real de diferentes campos profesionales era algo difícil, sobre todo por la seguridad. Es por este tipo de situaciones que se ha visto la necesidad de aplicar entornos virtuales en el entrenamiento y aprendizaje de los humanos, y así tener experiencias reales que formen mejores profesionales, capacitados y a partir de las situaciones tan auténticas como la realidad. Algunas de estas aplicaciones corresponden a:

- El entrenamiento de soldados es uno de los campos que ha decidido hacer de esta tecnología, el más común es llamado *Dismounted Soldier Training System*, un mundo virtual creado a partir de diferentes escenarios de guerra y enfrentamiento por los que son puestos a prueba diferentes soldados para darle realidad a sus entrenamientos.
- En medicina, los estudiantes pueden tener una experiencia muy cercana a la realidad a la hora de manipular órganos internos del cuerpo en medio de intervenciones quirúrgicas creadas en escenarios que le den una verdadera enseñanza a los futuros médicos, esta tecnología es muy usada para intervenciones de alto impacto que normalmente los estudiantes no pueden hacer o asistir.
- En la educación o el entrenamiento hay otro tipo de campos que también se sienten interesados por la realidad virtual, los pilotos, astronautas y bomberos usan esta herramienta para mejorar sus experiencias y aprendizajes a partir de escenarios reales que simulan situaciones de dichos campos. Entonces, la realidad virtual es realmente útil para videojuegos o su uso debería estar más enfocado en campos que aporten al desarrollo de diversos campos.
- Pero no solo es la educación la que se siente atraída por la realidad virtual, también la creación de entornos visuales como museos, tiendas y aulas o la

utilización de esta tecnología para la disminución de fobias como aracnofobia o claustrofobia entre otras.

Estado del arte: tecnologías para la implementación de técnicas de interacción

Dentro de las propuestas existentes en el mercado acerca de diferentes técnicas de interacción a continuación se presentan algunas de ellas (Bañuelos y Carsi, 2016; Canales y Pariona, 2017; CAVA, 2016).

HoloLens

El visor HoloLens combina las tecnologías de realidad virtual y realidad aumentada, mezclando elementos del mundo real con imágenes holográficas. Utiliza una tecnología similar a la de Kinect para el reconocimiento de gestos y comandos por voz, el visor cuenta con un campo de visión de 120 [°] y es capaz de reproducir imágenes en alta definición. No requiere conexión a una computadora ya que el dispositivo cuenta con su propia versión de Windows 10. (Bañuelos y Carsi, 2016)

PlayStation VR

Es la apuesta de realidad virtual de Sony, el cual comenzó con el nombre de Project Morpheus. A diferencia de Oculus Rift, no se requiere una computadora de grandes capacidades para poder correr las aplicaciones, en este caso, los usuarios lo podrán usar con la consola de videojuegos PlayStation 4. (Bañuelos y Carsi, 2016)

Fove

Es una nueva propuesta financiada por medio de Kickstarter para otro set de realidad virtual. Su distintivo radica en que posee un sistema que permite hacer seguimiento de los ojos y con ello utilizar la mirada para manipular lo que ocurre en pantalla de otra forma. Fove hace uso de su propia plataforma de software, aunque también es compatible con los motores gráficos como Unity, Unreal y CryEngine. (Bañuelos y Carsi, 2016)

Oculus Rift

Es un dispositivo HMD, binocular y ligero que permite al usuario experimentar inmersión en un entorno virtual y le permite mirar en cualquier dirección. Actualmente, el Oculus Rift dispone de 2 versiones orientadas para desarrolladores llamadas Developer Kit versión 1 (DK1) y Developer Kit versión 2 (DK2). La versión DK2 del Oculus Rift es la más reciente y avanzada. (Canales y Pariona, 2017, p. 23)

STEM System

[...] sistema de detección de movimiento orientado a videojuegos y realidad virtual. Conecta sus componentes mediante varias conexiones inalámbricas entre los componentes secundarios y el central. Dispone de 1 STEM Base, 2 STEM Controller y 1 STEM Pack. El primero se comunica mediante conexión USB al computador y a los demás componentes de forma inalámbrica. El segundo es un conjunto de controles que son detectados por la base y determinan su posición e interacción con los botones en base a esta. El tercero es un dispositivo que es detectado por la base y puede determinar su posición en tiempo real. Actualmente se encuentra en distribución por pre-orden. (Canales y Pariona, 2017, p. 28)

Unity

[...] motor gráfico 3D que viene empaquetado como una herramienta para crear juegos, aplicaciones interactivas, visualizaciones y animaciones en 3D (Unity, 2020). El editor de Unity es el centro de la línea de producción y ofrece un completo editor visual para crear juegos. El contenido del juego es construido desde el editor y el gameplay se programa usando un lenguaje de scripts. Esto significa que los desarrolladores no necesitan ser unos expertos en C++ para crear juegos con Unity, ya que las mecánicas de juego son compiladas usando una versión de JavaScript, C# o Boo (un dialecto de Python). Los juegos creados en Unity son estructurados en escenas que puede ser cualquier parte del juego, desde el menú de inicio como un nivel o área de tu juego, ya que una escena es un lienzo en blanco sobre el que dibujar cada parte del juego usando las herramientas de Unity. (Canales y Pariona, 2017, p. 31)

CryEngine

Es un motor de juego desarrollado por Crytek (empresa alemana desarrolladora de software) para Microsoft, Playstation 3 y Xbox 360. Además, cuenta con soporte para Oculus Rift. Para el desarrollo, cuenta con un SDK (Software Development Kit). Dentro de las funcionalidades de éste se encuentra la facilidad de scripting (Desarrollo del gameplay en base a scripts), animaciones y creación de objetos. Además, dispone de soporte para el modding de versiones finales de un juego. (Canales y Pariona, 2017, p. 31)

Aumentaty Author

Software para la creación de escenas de Realidad Aumentada basada en marcadores, que permite asociar modelos 3D a patrones mediante una sencilla operación de arrastrar y soltar. Consta de una herramienta de autor para la creación de contenido y otra de visualización para ordenador, además también está disponible una app para dispositivos móviles. La página web de Aumentaty Author está disponible en <http://author.aumentaty.com/>. (CAVA, 2016, p. 20)

Aurasma

Software que utiliza técnicas de reconocimiento de imágenes y las enriquece con contenido virtual. Aurasma dispone de una herramienta de autor llamada Aurasma Studio, que permite cargar fácilmente imágenes activadoras a las que se puede asociar vídeos, imágenes, animaciones, enlaces, etc. Además, dispone también de una app para dispositivos móviles. La herramienta de autor online está disponible en <https://studio.aurasma.com>. La aplicación para dispositivos móviles está disponible para Android e iOS. (CAVA, 2016, p. 20)

Aumentaty Vsearch

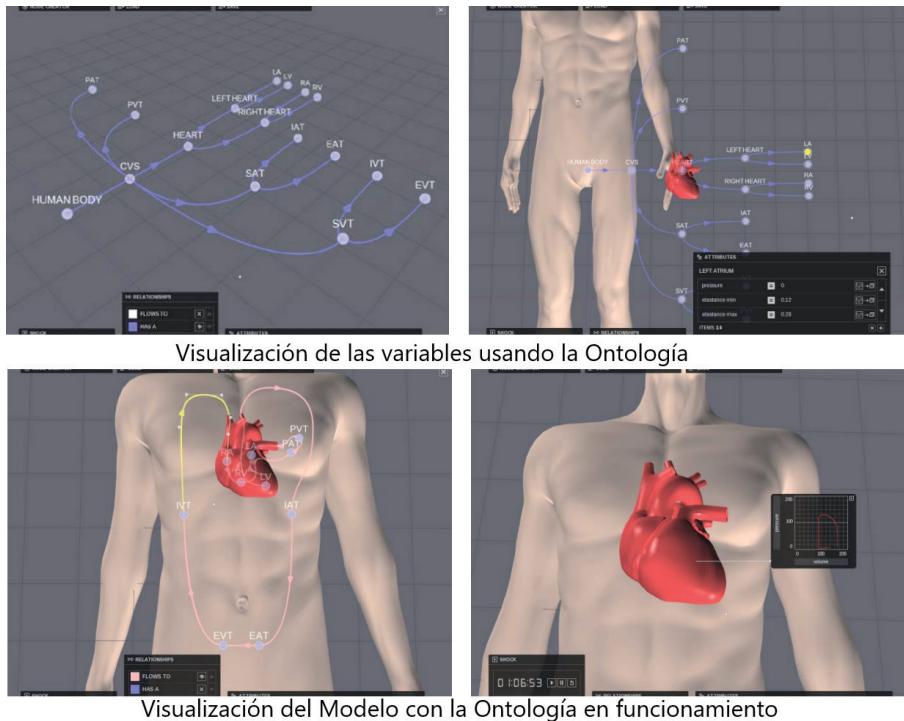
Software de reconocimiento visual o Visual Search que permite asociar bajo una misma imágenes diferentes tipos de contenido. Con esta tecnología se pueden asociar fichas virtuales con texto, imágenes, vídeo, lugares, enlaces, etc., que pueden ser consultadas por los usuarios de la app cuando escanean las imágenes con sus dispositivos móviles. La página de Aumentaty VSearch está disponible en <http://visualsearch.aumentaty.com>. (CAVA, 2016, p. 20)

Trabajos relacionados y su aplicación en la educación

Con referencia a la utilización de entornos inmersivos se encuentran propuestas como la realizada por Ezzell, Fishwick y Cendan (2011), la cual tiene como base la visualización de una ontología en un ambiente de simulación 3D como herramienta para el manejo de variables y parámetros. Las pruebas de simulación realizadas al prototipo se basaron en un modelo de shock hipovolémico (fenómeno que se produce cuando se pierde mucha sangre, por lo que el corazón deja de bombear suficiente líquido al cuerpo).

Para tal fin se construyó una ontología sobre las conexiones arteriales que se veían implicadas en shock hipovolémico, así se usó el modelo de Beneken, el cual corresponde a una ecuación diferencial que modela cómo el corazón retiene y bombea sangre. El uso de la ontología se orienta básicamente a la especificación y el manejo de todas las variables que intervienen en el modelo de simulación. Su interfaz se puede apreciar en la figura 12.

Figura 12. Modelo de visualización basado en ontología



Fuente: Ezzell, Fishwick y Cendan, 2011, pp. 2926 y 2928

Autores como Van-Harmelen, Broekstra, Fluit, Ter-Horst, Kampman, Van-der-Meer y Sabou (2001) introducen formas para representar distintas ontologías. Inicialmente presentan una estructura básica de cómo se construirá la representación. Esta se basa en el “qué” se quiere representar (información en forma de tablas) y el “cómo” (una estructura de ontología definida). Al final se puede representar la información de la ontología de distintas maneras: i) un conjunto de datos, múltiples ontologías: se visualiza en forma de nodos organizados por diferentes secciones como educación, agricultura, salud, etc.; ii) una ontología, múltiples conjuntos de datos: visualización por ejemplo de varias páginas web de bancos; y iii) visualización de relaciones de consulta: muestra la forma en que se podría visualizar el inventario de un almacén de impresoras exponiendo la cantidad de cada tipo a través del uso de un grafo dirigido.

Por su parte, autores como Ramos, Aguirre, Zaragoza, y Razo (2006) abordan el tema de creación de ambientes o escenarios virtuales a través del uso de ontologías. Definen el problema de la generación de escenarios en 3D de forma manual, proponiendo su construcción a través del uso de esquemas para la definición del ambiente (UML, RDF y OWL).

En primera instancia se definen todas las reglas, los objetos y las animaciones que debe tener el ambiente virtual a generar. Posteriormente, mediante funciones de inferencia, se crea un paquete que permite desplegar el mundo en 3D que se ha diseñado en los esquemas. Este proyecto plantea GeDa-3D como motor 2D y 3D para la representación de las estructuras de conocimiento propuestas. Básicamente trata de componer ambientes en 3D mediante una ontología parecida a la forma en cómo se genera un software a través de diagramas y estructuras UML.

En cuanto a la realidad virtual se puede apreciar que existe un amplio nicho de investigación, que permite la solución de problemas existentes de manera óptima. Este es el caso expuesto por Lipton, Fay y Rus (2018), en el cual se muestra un sistema tele robótico de bajo costo, que aprovecha la tecnología de realidad virtual y la integra con la infraestructura de control de robótica existente. El sistema se ejecuta en un motor de juego comercial, utilizando hardware de realidad virtual estándar. Puede implementarse en múltiples arquitecturas de red.

En el campo de la medicina se han desarrollado varias investigaciones con esta tecnología de visualización. Uno de los hallazgos se puede apreciar en Zhang, Wade, Bian, Fan, Swanson, Weitlauf y Sarkar (2017), trabajo en el cual se busca, por medio de las herramientas de realidad virtual, enseñar a conducir a pacientes con desorden del espectro autista. Paralelamente se hace un trabajo de medición de la carga cognitiva de los pacientes para obtener resultados que puedan servir en investigaciones futuras.

Adicionalmente, en el trabajo de Chen, Sesto, Ponto, Leonard, Mason, Vanderheiden y Radwin (2017), se examinó cómo los individuos, con y sin dolor de cuello, realizaron ejercicios bajo la influencia de la regeneración visual alterada en la realidad virtual. En esta investigación las personas debían hacer diversos ejercicios con su cabeza mientras estaban en un entorno de realidad virtual. Como resultado, se pudo apreciar que la retroalimentación generada permitía que los movimientos fueran de mayor amplitud, componiendo así un tratamiento más rápido para los especialistas.

Un referente adicional se identifica en Bekele, Bian, Peterman, Park y Sarkar (2017), aquí se presenta un nuevo sistema basado en la realidad virtual para entender los trastornos del procesamiento de las emociones faciales, los cuales pueden conducir a un resultado social en la esquizofrenia. En esta investigación se usa un entorno de virtualización en el que se manejan las expresiones faciales de avatares y se estudia cómo responden pacientes con este trastorno ante los diferentes cambios.

Por su parte, la realidad aumentada y la educación son dos componentes que han tenido un alto nivel de investigación en conjunto. Esta interacción se puede apreciar

en Fombona, Pascual y Gonzalez (2017), trabajo en la cual se realiza una recopilación y análisis de la implementación sobre las tecnologías de realidad aumentada enfocadas al m-learning. Dicha implementación da soporte técnico y uso a la realidad aumentada como nuevo espacio del aprendizaje, desligándose de los espacios físicos.

De igual forma este estudio implementa contenido con realidad aumentada enfocado a conceptualización terminológica, cambios metodológicos, análisis de factores de uso, dimensión lúdica y motivacional, deslocalización y tema seleccionado con mayor ejecución de realidad aumentada. En el escrito se brinda una contextualización del modelo de investigación, dado que hace referencia a cómo se efectúa una revisión del contenido científico existente, sobre temas de realidad aumentada, m-learning y educación móvil; con esta compilación, se exhibe una manera de analizar la información obtenida para generar resultados que indiquen los factores críticos de estudio.

Adicionalmente, Ibáñez, Di-Serio, Villarán-Molina y Delgado-Kloos (2016) presentan el diseño de un sistema de simulación basado en realidad aumentada, que integra el conocimiento de los antecedentes y el apoyo experimental (como una herramienta de aprendizaje para enseñar principios básicos de electricidad a estudiantes de noveno grado). El objeto de estudio se orientó a hacer comparaciones entre estudiantes de grado noveno que usaban ayudas de virtualización y los que no lo hacían. Como resultado se observó cómo los estudiantes que utilizaban esta herramienta de visualización obtenían mejores resultados académicos.

Por su parte, en el trabajo realizado por CAVA (2016) se analizó el impacto que tiene la utilización de tecnologías de visualización en áreas como medicina, educación, ingeniería e incluso el turismo. Como observación se afirmó que, dependiendo de nuestras necesidades e intereses, se dispone de una capa de información que permitirá aumentar la percepción requerida.

Actualmente la iniciativa *Aumenta.me* de Espiral, Educación y Tecnología (De la Horra, 2017) integra alumnos de todas las etapas educativas y reúne los esfuerzos de diversos investigadores en el campo de la tecnología educativa, diseñadores de materiales didácticos, empresas e instituciones relacionadas con las tecnologías de la información en el ámbito educativo.

Espiral, desde el Proyecto *Aumenta.me*, apuesta fuertemente por la realidad aumentada y la realidad virtual aplicadas a la educación. Para ello, hasta ahora ha desarrollado diferentes líneas de actuación (Reinoso, 2018). Partiendo de la premisa “el estudiante debe ser protagonista de su formación”, Raúl Reinoso expresa que es necesario adaptar los métodos y contenidos de aprendizaje, para que los alumnos es-

tén en la capacidad de aplicar lo aprendido en su contexto cotidiano (Reinoso, 2018). A continuación se presentan algunas herramientas identificadas en este proyecto.

Aula ART-MAT

La iniciativa *Aumenta.me*, a su vez creo el proyecto ART-MAT 2.0 “Geometría Virtual Interactiva” (De la Horra, 2017), con el objetivo de mejorar el rendimiento de sus alumnos en el estudio de la geometría, debido a que los estudiantes encuentran numerosas dificultades en el estudio de los cuerpos tridimensionales, sobre todo cuando las explicaciones son muy tradicionales. AR-MAT 2.0 representa el elemento dinamizador que permite un rápido aprendizaje de los conceptos teóricos y prácticos para el estudiante.

Los escenarios virtuales asociados a AR-MAT 2.0 tienen como objetivo fomentar el trabajo colaborativo de los estudiantes en su aprendizaje de la geometría. Esta opción de empleo permite aumentar notablemente el trabajo emocional necesario para motivar a los alumnos en su etapa de aprendizaje. Dentro de las opciones provistas en esta aplicación se encuentra el uso de diseño de mundos virtuales y avatares que interactúan en estos escenarios (figura 13), aspectos que dotan a los contenidos de una mayor interactividad y accesibilidad.

Figura 13. Mundo virtual. Proyecto ART-MAT 2.0



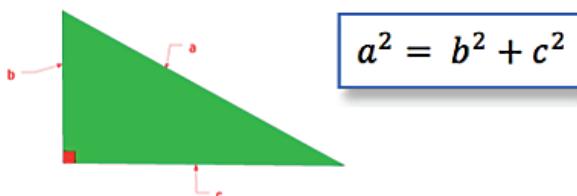
Fuente: De la Horra, 2017

El proyecto trabaja los siguientes componentes:

- *Aula*. El aula permite acceder a los contenidos de las fichas así como a múltiples explicaciones de diversos contenidos del proyecto. Cada uno de los paneles presentes en este espacio posibilita al usuario acceder a la zona de descarga de las fichas. La sala está dividida en dos zonas bien diferenciadas:

- *Zona de áreas*: zona destinada al estudio bidimensional de los diferentes elementos geométricos.
- *Zona de volúmenes*: zona destinada al estudio tridimensional de los elementos geométricos.
- *Libro*. Debido a que todo el contenido programático del curso se encuentra fundamentado en el libro guía, todos los conceptos teóricos y prácticos que se trabajan en fichas interactivas se basan en una serie de marcadores que le permitirán al alumno acceder a contenidos soportados en realidad aumentada. Para ello se debe escanear el código QR. Una vez descargada la aplicación *Aumentaty* se abren los objetos 3D asociados al ejercicio (figura 14).

Figura 14. Proyecto ART-MAT 2.0



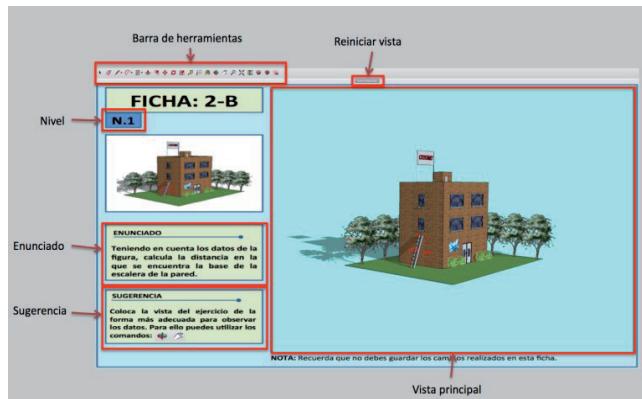
Supongamos que partimos de la figura 8, en la que tenemos el cuadrado de color rojo. Calculamos su área mediante dos métodos:

$$A_1 = (b + c)^2 = b^2 + 2bc + c^2$$

Fuente: Citecmat, 2020

- *Fichas interactivas*. AR-MAT 2.0 posee una gran colección de fichas interactivas con las que el alumno podrá completar su formación (figura 15). Distribuidas por niveles, estas fichas creadas mediante el programa de software Sketchup, permiten un grado de interacción máxima tanto con los contenidos teóricos como con los ejercicios. La interactividad con los diversos contenidos es esencial para entender conceptos trabajados en el aula. Este tipo de fichas concederá al alumno aumentar su motivación por la asignatura, abriendo con ello las puertas de una mejor asimilación en el proceso de aprendizaje.

Figura 15. Libro, fichas interactivas. Proyecto ART-MAT 2.0



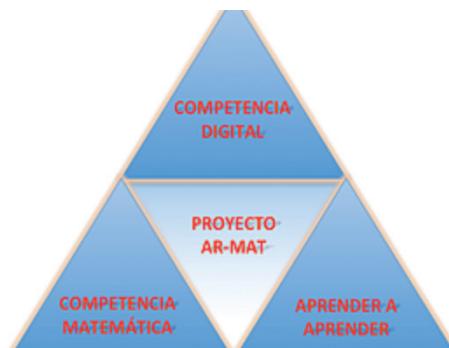
Fuente: De la Horra, 2017

Varias son las innovaciones presentes en este proyecto, las cuales se reflejan en el uso de la realidad aumentada y virtual que hace a ART-MAT 2.0 único en su categoría, ya que el uso de la realidad aumentada permite tanto al alumno como al profesor interacciones de forma intuitiva y sencilla en el manejo de contenidos.

El uso de la realidad virtual permite a los alumnos acceder a los diferentes contenidos que el proyecto presenta. Con ello, los autores afirman que: “conseguimos que el alumno sea protagonista de su propia enseñanza y pueda aprender a su ritmo. Tendremos en cuenta las inteligencias múltiples presentes en nuestras aulas” (De la Horra, 2017).

Finalmente, el uso de este tipo de tecnologías en la educación ayuda a los alumnos a desarrollar diferentes tipos de competencias (figura 16) que los autores clasifican, siguiendo a Citecmat (2018), así:

Figura 16. Competencias Proyecto ART-MAT 2.0



Fuente: Citecmat, 2018

- *Competencia digital*: se consigue a través del uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), en las explicaciones del profesor y en el uso del ordenador a la hora de trabajar tanto los conceptos teóricos como los ejercicios prácticos.
- *Competencia matemática*: se obtiene trabajando los propios conceptos de la asignatura.
- *Aprender a aprender*: dotar al alumno de las herramientas necesarias para realizar un trabajo autodidacta a través de las fichas interactivas que posee el libro.

DUI

Autores como Grandi (2017) presentan una nueva 3DUI para la manipulación de objetos. Explora las ventajas de los teléfonos inteligentes como interfaz gráfica para manipulaciones 3D. Hacen uso de la pantalla táctil y los botones de volumen para manipular un total de 7 DOFs (*Degrees of freedom*) de un objeto 3D seleccionado. Esta técnica acepta la conexión simultánea entre dispositivos, además ganó el Concurso del Simposio IEEE sobre interfaces 3D.

Como se muestra en la figura 17, se plantea el diseño de interfaces para manipular objetos en entornos virtuales 3D, dentro de las cuales se detallan las siguientes:

- a. Interfaz 3D colaborativa usando teléfonos móviles
- b. Interfaz colaborativa-realidad aumentada
- c. Interfaz móvil con visualización HDM

Figura 17. Diseño de interfaces para manipular objetos en entornos virtuales 3D



Fuente: Grandi, 2017, p. 420

Grandi (2017) no describe el tratamiento de los datos, sin embargo se refiere a la interacción de los usuarios con tres tipos de interfaces 3D, analizando la interacción grupal, es decir cómo se desempeñan los usuarios al realizar tareas en equipo

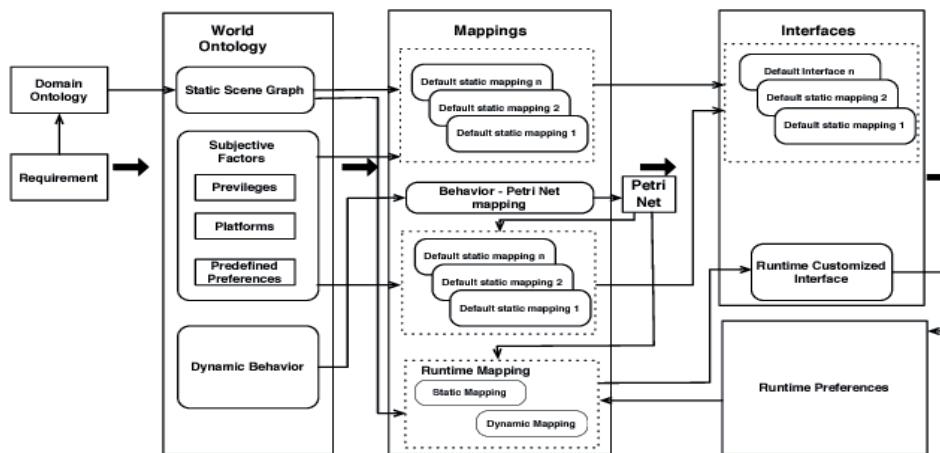
CPN

Autores como Ying y Gračanin (2012) plantean el diseño de una interfaz 3D que implementa un modelo ontológico llamado *Ontology Colored Petri* (CPN). Es importante resaltar que esta interfaz tiene gran relevancia dado que su modelo describe toda la información tanto de la parte estática como dinámica del mundo virtual. Adicionalmente, todos los factores subjetivos se definen en la ontología, como por ejemplo privilegios, plataformas, preferencias, etc.

El comportamiento de la ontología es modelado por el CPN. La identificación de la parte dinámica y estática del mundo virtual ayuda a derivar varias interfaces que el usuario va a controlar mediante sus preferencias. Los diseñadores implementan ontologías y PN (Preti-Nets, métodos formales basados en comportamiento) para el diseño de partes dinámicas y estáticas de la *User Interface* (UI).

La ontología es usada para representar el dominio del conocimiento (datos) que la aplicación relata (muestra). Así, el dominio ontológico provee suficiente información para generar una CVE UI (*User Interface-Collaborative Virtual Environment*) (figura 18).

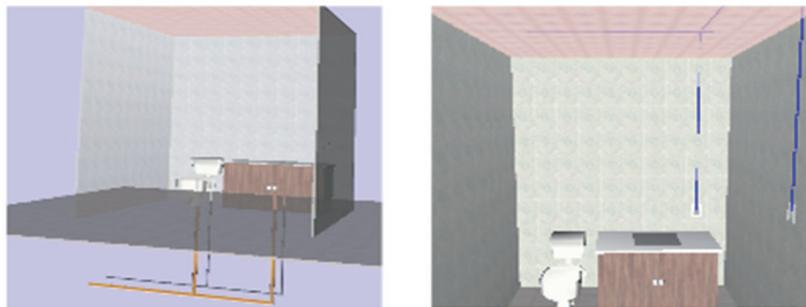
Figura 18. Framework para el diseño y desarrollo de interfaces de usuario 3D



Fuente: Ying y Gračanin, 2012, p. 169

Este proyecto describe un enfoque para el desarrollo de interfaces 3D basado en ontologías y PN, que tiene en cuenta factores subjetivos que pueden afectar la interfaz de usuario. La ontología describe la información necesaria para el mundo virtual en un determinado dominio. Un PN provee un sólido diseño en el comportamiento del mundo virtual, que en un futuro se espera poder implementar automáticamente (figura 19).

Figura 19. Vista de baño para plomeros (izquierda) y electricistas (derecha)



Fuente: Ying y Gračanin, 2012, p. 170

Representación de información mediante ontologías

Como otro de los componentes básicos de este proyecto de investigación, se exterioriza la representación del conocimiento mediante ontologías. En primera instancia es importante resaltar que la situación actual de los recursos de información en internet y el estado de desarrollo de las herramientas de búsqueda dificultan el análisis de la información y crean incertidumbre sobre si aquello que se recupera es realmente relevante, así como si estos son verdaderamente los recursos existentes en la red en la materia objeto de búsqueda (Suárez, 2018).

En este marco, los usuarios necesitan recuperar información con mayor precisión, para ello requieren hacerlo de manera vinculada con posibilidades de navegación y generación de conocimiento. Ante tales exigencias, los sistemas para la organización del conocimiento tradicionales (encabezamientos de materia, tesauros, etc), están en posibilidad de responder a varias de las exigencias. Sin embargo, en el ámbito de la representación y organización de la información, y en el contexto digital ha surgido un nuevo sistema denominado ontología (González, 2006).

Como lo describe Velásquez, Puentes y Guzmán (2011), en la web semántica, entendida como una extensión de la web actual en la que la información tiene un significado bien definido, posibilitando que las máquinas y las personas trabajen en cooperación, se necesita que el conocimiento esté representado de forma que sea legible para las máquinas, esté consensuado y sea reutilizable. Las ontologías proporcionan la vía para representar este conocimiento. En el contexto de la web semántica, esta ha sido estructurada por niveles, ello establece una jerarquía de abstracción y unas dependencias entre los distintos niveles (Fernández, 2009; Rodríguez, 2014).

Dentro de estos niveles, Velásquez, Puentes y Guzmán (2011) describen los siguientes:

- *Nivel de recursos*: se incluye la identificación de los recursos web.
- *Nivel sintáctico*: soluciona el problema de cómo definir distintos lenguajes de etiquetado para añadir contenido semántico a las páginas web.
- *Nivel de descripción de recursos*: define el lenguaje universal (RDF), con el cual se expresan diferentes ideas en la web semántica. Tanto este nivel como el anterior, corresponden a las anotaciones de la información (metadata).
- *Nivel de ontologías*: permite extender la funcionalidad de la web semántica, agregando nuevas clases y propiedades para describir los recursos. Se ofrecen, de esta forma, criterios para catalogar y clasificar la información.
- *Nivel de lógica*: precisa reglas de inferencia, con el fin de dar flexibilidad a la arquitectura para realizar consultas e inferir conocimiento a partir de las ontologías.
- *Nivel de pruebas*: se enfoca al intercambio de pruebas, escritas en el lenguaje unificador de la web semántica.
- *Nivel de confianza*: nivel en el cual los agentes comprueban de forma exhaustiva las fuentes de información que le suministran la información requerida.

Por otro lado, García (2004), citando el trabajo de Ding y Foo, expone a las ontologías como un instrumentos válido de representación del conocimiento. Para tal fin, el autor plantea que las diferencias fundamentales entre una ontología y un vocabulario de representación convencional se sitúan en el nivel de abstracción, en las relaciones entre conceptos, en la capacidad para que sea comprensible para las máquinas y, lo más importante, en la expresividad que pueden proporcionar. Así:

- a. Una ontología puede estar elaborada de acuerdo con diferentes requerimientos y, al mismo tiempo, puede funcionar como un esquema de base de datos, como una auténtica base de conocimiento, para definir varias tareas o aplicaciones.
- b. Una ontología potencia la comunicación entre humanos y ordenadores mientras que un vocabulario convencional en el mundo de lo que ellos llaman Library Science sólo permite la comunicación entre seres humanos.
- c. Una ontología promueve la normalización y reutilización de la representación de la información mediante la identificación del conocimiento común y compartido.
- d. Las ontologías añaden valor a los tesauros tradicionales a través de una semántica más profunda, así como desde un prisma conceptual, relacional e informático. De hecho, una mayor profundidad semántica puede implicar niveles más profundos de jerarquía, unas enriquecidas relaciones entre clases y conceptos, así como la capacidad de formular reglas de inferencia, etc. (p. 89)

Seguidamente se detallan de forma individual cada uno de los componentes participantes en los niveles de la arquitectura de la web semántica.

Ontología

Según Míguez, Santos, Alonso, Álvarez y Mikic (2012),

[...] mientras que RDF garantiza la interoperabilidad sintáctica de los datos, queda por resolver el problema de la interoperabilidad semántica de los mismos. Para ello es preciso establecer un consenso sobre el significado concreto de los términos (nombre de conceptos y relaciones) que existen en un dominio particular. La Web Semántica dispone de un instrumento específico para realizar esta labor, la ontología, entendiendo como tal una especificación explícita de una conceptualización que puede ser descrita formalmente mediante la especificación RDFS o bien, si la potencia semántica de esta no es suficiente, mediante OWL, ambas especificaciones basadas en RDF definidas por el W3C.

Metadata

Los metadatos son datos altamente estructurados que describen la información, el contenido, la calidad, la condición y otras características de los datos. Es “información sobre información” o “datos sobre los datos”. Algunos ejemplos que se puede describir usando metadatos son de tipo impreso, audiovisual, geoespacial, etc. (GeaIntec, 2018). Asimismo, para la construcción de estos metadatos basados en las ontologías definidas se plantean un conjunto de buenas prácticas (Vandenbussche y Vatant, 2012) y se usan vocabularios específicos para su publicación en la web (Laufer, 2015).

Recursos

Un recurso es cualquier entidad u objeto publicado en la web, y que es susceptible de ser enriquecido con cualquier tipo de información especializada, incluso la que no se espera que sea combinable. De forma inversa, al publicar información en RDF y utilizando URIs, cualquiera podría hacer referencia a dichos datos del recurso (Rob, 2013).

Dataset

Un dataset es una colección de triplets de RDF que son publicados, mantenidos o agregados por un único proveedor. El principio que permite poder navegar a través de recursos de Linked Data consiste en el establecimiento de enlaces entre recursos identificados por sus URIs. Estos enlaces se consiguen mediante el predicado de las triplets. Los enlaces pueden ser internos, establecidos entre URIs pertenecientes al mismo dataset, o externos, entre URIs pertenecientes a diferentes dataset (Rob, 2013).

RDF, Marco de Descripción de Recursos

Presenta la información como una serie de declaraciones simples. Cada declaración (tripleta) describe que algún sujeto tiene alguna propiedad con algún valor. El sujeto es normalmente identificado por un URI, así como la propiedad o predicado que describe. El valor de la propiedad y el objeto de la sentencia puede tener un valor literal o ser otro URI (W3C, 2014).

Vocabularios semánticos

Una parte fundamental del modelo de datos RDF son los vocabularios. RDF aumenta su capacidad de estructuración de la información si se combina con vocabularios específicos para la descripción semántica. Estos vocabularios RDF son definiciones de términos utilizados para efectuar los vínculos entre los diversos elementos de una descripción RDF.

Los vocabularios RDF más utilizados son estándares que se han formado por la amplia utilización y desarrollo de la comunidad y constituyen el pilar básico de la reutilización de la información.

Con el fin de abordar esta problemática se determina la ontología a utilizar para modelar el dominio de las fuentes de datos. Para ello se busca reutilizar el vocabulario disponible, con el fin de hacer más eficientes los procesos de búsqueda y acelerar el desarrollo de la ontología. Esta actividad consta de las siguientes tareas (Wood, 2011).

- *Búsqueda de vocabularios adecuados.* Existen algunos repositorios útiles para encontrar vocabularios disponibles, como por ejemplo Schema, SchemaCache, Swoogle y LOV. Para la elección de los vocabularios más adecuados se recomienda seguir las directrices propuestas en Open Nepal Blog (2014), como tener cuidado con las declaraciones de los espacios de nombres de los vocabularios, que sirven para evitar que las definiciones de dos vocabularios se solapen (Saquete, 2013).
- En caso de no encontrar ningún vocabulario adecuado, este se debe crear tratando de reutilizar gran parte de los posibles recursos existentes.
- Por último, si no se halla un vocabulario disponible ni los recursos para la construcción de la ontología, se debe crear la ontología desde cero.

Para la construcción de la ontología se presenta la problemática sobre la existencia y pertinencia del vocabulario requerido para modelar los datos del área de conocimiento específico. Para muchos casos, los vocabularios ya se encuentran definidos en ontologías disponibles al público y han sido ampliamente utilizados por muchas de las fuentes más importantes de datos enlazados disponibles en la actualidad. De conformidad con Laufer (2015), entre ellos se destacan los siguientes:

- *Dublin Core*. Se trata de una de las primeras iniciativas de considerar la definición de un vocabulario para la descripción de metadatos, teniendo como premisas que las descripciones posean independencia en relación con la sintaxis y tengan una semántica bien definida. Es un vocabulario adecuado para la descripción de recursos (documentos).
- *SKOS*. Es una recomendación del W3C (W3C, 2009), que ofrece una manera de representar esquemas de clasificación, tales como vocabularios controlados, taxonomías y tesauros. Muchos de estos sistemas comparten una estructura semejante, y son utilizados en aplicaciones parecidas. SKOS toma gran parte de esas semejanzas y las hace explícitas, haciendo que sea posible compartir datos entre esas diversas aplicaciones.
- *Schema.org*. Ofrece una colección de vocabularios que pueden ser utilizados para embeber metadatos en páginas web, siendo comprensibles por parte de los principales motores de búsqueda: Google, Microsoft, Yandex y Yahoo!. Los metadatos pueden embeberse utilizando microdatos, RDF o JSON-LD.
- *DCAT*. Es una recomendación del W3C (Maali, Erickson, y Archer, 2014) que permite crear catálogos con descripciones de conjuntos de datos. La utilización de una forma estándar de descripción de catálogos aumenta la capacidad de descubrimiento y permite que las aplicaciones sean capaces de encontrar metadatos distribuidos por diferentes catálogos. También permite la publicación descentralizada de catálogos y facilita la búsqueda federada de conjuntos de datos publicados en diferentes páginas o portales.

Asimismo, siguiendo a Bustos (2015, pp. 50-52):

- *RDFS y OWL*. Estos vocabularios “contienen elementos que son bien conocidos y de utilidad al crear datos enlazados” (p. 51).
- *FOAF*. El vocabulario (amigo de un amigo) define los términos para describir a las personas, sus actividades y sus relaciones con otras personas. FOAF precisa un vocabulario de tipo RDF/XML para concretar la información personal, como nombre, buzón y relaciones con amigos y otras propiedades.
- *vCard*. El formato vCard (Iannella y McKinney, 2014), fue diseñado para la definición de las tarjetas de visita electrónicas. Es ampliamente utilizado por los clientes de correo electrónico y a menudo utilizado para transmitir datos de contacto entre las personas u organizaciones. Dado que es un formato muy popular, existe una codificación RDF que se puede utilizar al crear datos enlazados.

- **BIBO**. La ontología bibliográfica (BIBO) (Bibo Project, 2013), ofrece los principales conceptos y propiedades para describir citas y referencias bibliográficas (es decir, libros, artículos, etc.).
- **VIVO**. La ontología de VIVO (Vivo, 2017) ofrece un conjunto de tipos (clases) y relaciones (propiedades) para representar a los investigadores y todo el contexto en el que se desempeñan.

Estos vocabularios contienen tanto definiciones informales, en forma de documentación legible por humanos, como definiciones formales, en forma de reglas y restricciones que permiten detectar inconsistencias o deducir nuevos hechos a partir de otros datos.

Por ejemplo, una ontología puede definir clases para libros, pinturas y personas, o una propiedad “autor”, y declarar formalmente que todos los recursos conectados a libros mediante la propiedad “autor” serán del tipo “persona”. Puede igualmente definir un objeto de otra clase como una superclase de autor y pintura. Mediante un motor de inferencia que trabaje con los datos de una colección de libros y pinturas, y buscando por todos los objetos creados por una persona, se podrían recuperar todos ellos sin conocer a priori su tipología, una característica crucial para la integración de información. (Doerr, Gradmann, Hennicke, Isaac, Meghini y Van-de-Sompel, 2010, p. 4)

Sistemas de información basados en ontologías

Un sistema de información puede definirse técnicamente como un conjunto de componentes interrelacionados que permiten capturar, procesar, almacenar y distribuir información para apoyar la toma de decisiones y el control en una organización [...] La mayoría de los sistemas de información están constituidos, principalmente, por tres componentes estructurales: interfaces, programas de aplicación y base de datos. [...] Un sistema de información está basado en ontologías cuando éstas cumplen un rol central manejando aspectos de desarrollo en sus componentes principales (bases de datos, interfaz de usuario y programas). (Álvarez, Barchini, Díaz y Chanferoni, 2008; Barchini, Álvarez y Herrera, 2006, p. 2)

Como lo describe Garrido (2013), se pueden identificar dos ámbitos en los cuales las ontologías pueden contribuir en las interfaces de usuario: mejorando las capacidades de visualización y las posibilidades de interacción:

Las Ontologías pueden utilizarse para mejorar la apariencia de la interfaz de usuario, es decir, la manera que se presenta la información al usuario. Esto significa que, dado un conjunto de elementos de información, la transformación en elementos visuales en la pantalla se ve influenciada por las ontologías. Además de la visualización de datos, el segundo propósito importante de una interfaz de usuario es proporcionar un punto de acceso a las funcionalidades de un sistema. Con este fin, el usuario tiene que interactuar con el sistema mediante la introducción de datos, seleccionar los elementos, activar comandos, etc. (p. 65)

[En síntesis,] las Ontologías pueden utilizarse para agrupar información al subsumir cada elemento de información a una clase en la jerarquía de clases de la ontología. Así, el usuario puede navegar a través de la visualización interactiva de elementos gráficos y también de etiquetas. Además, las ontologías sirven para encontrar recursos mediante la creación de nuevas visualizaciones más allá de las listas de palabras. (p. 68)

En el ámbito de las interacciones, las ontologías pueden contribuir de varias maneras, por ejemplo, mejorando el proceso de navegación, facilitando la búsqueda o adaptando las interfaces de usuario.

En el ámbito de las mejoras en las interacciones, las Ontologías permiten la adaptación dinámica de las interfaces de usuario, es decir pueden dirigir tanto la apariencia y composición de espacios funcionales, como conducir al sistema en la elección de software, hardware. (Garrido, 2013, p. 69)

Algunos trabajos acerca del desarrollo de interfaz de usuario basado en ontologías, se encuentran en Paulheim (2009), Barchini, Álvarez y Herrera (2006), Ramos, Pereira, Núñez, Castro y Casañas (2007), Shahzad, (2011) y García y Sicilia (2003).

Modelo propuesto de trabajo

Dado que aspectos como la realidad virtual y la representación de conocimiento basada en ontologías son ejes temáticos que se han venido trabajando desde hace algún tiempo, este proyecto orienta su contribución a representar y documentar una experiencia de integración de estas tecnologías junto con la implementación de un modelo de navegación como estrategia de interacción basado en ontologías.

Para tal efecto, se enfoca en el consumo de recursos abiertos expuestos en repositorios o bibliotecas digitales, teniendo en cuenta que es uno de los mayores proveedores de estos recursos digitales en varios formatos de patrimonio cultural europeo, así como la catalogación de sus recursos mediante el modelo EDM y la proporción de flexibilidad para obtener los elementos navegacionales requeridos en esta investigación.

La experiencia construida contribuyó en la generación de estrategias para el aprovechamiento de los recursos digitales abiertos a través del uso de mecanismos inmersivos y de estrategias de navegación que potencien la comunicación entre humanos y ordenadores.

Para ilustrar el proceso desarrollado a continuación se presentan los elementos de diseño e implementación llevados a cabo. En primera instancia los relacionados con la ontología, desde los aspectos de definición de los conceptos, terminología, niveles de navegación, asociación de conceptos a nivel navegacional y aspectos de diseño asociados con la interfaz de búsqueda navegacional. Luego, se abordará desde el punto de vista técnico la arquitectura planteada y las especificaciones técnicas para la vinculación de la ontología con la biblioteca digital Europeana desde el ambiente de trabajo de realidad virtual, así como las especificaciones definidas para conectar los recursos con la ontología.

Aspectos de la ontología

La construcción de una ontología se puede abordar desde varios ángulos. Sin embargo, según estudios realizados por Chen y Williams (2008), ninguna de las metodologías actuales puede considerarse madura si se compara con otras disciplinas como la ingeniería de software o las metodologías de ingeniería del conocimiento. Por tal motivo, para este caso en particular el diseño de la ontología utilizada para la navegación de conceptos se basó en una adaptación realizada sobre el tesauro de Arte y Arquitectura (AAT) (Sánchez-Alonso, Cáceres, Holm, Lieblein, Breland, Mills y Manouselis, 2008).

Lo anterior, teniendo en cuenta que la mayoría de conceptos de este tesauro están directamente relacionados con recursos digitales que se desean consumir de la biblioteca digital Europeana (Gaona, Fermoso y Sánchez, 2017). Esta biblioteca se centra en desplegar la mayor cantidad de recursos digitales de patrimonio cultural europeo. Mediante el apoyo de la Unión Europea, ha permitido la integración de cientos de proveedores y agregadores de contenidos entre bibliotecas y centros de documentación, dispuestos con el fin de facilitar el acceso a millones de registros digitales consignados a través de repositorios externos. Esto convierte a Europeana en un proyecto ambicioso para la representación y el despliegue de la mayor cantidad de colecciones digitales de patrimonio cultural europeo.

Al tener el gran reto de ser un portal que permita conectar con millones de recursos digitales vinculados a través de repositorios externos, Europeana dispone de algunos mecanismos de búsqueda y estrategias de despliegue de información, siendo por tanto una de las áreas de mayor responsabilidad para facilitar el acceso a los materiales y las colecciones de recursos por parte de los usuarios. A continuación se describen las características más relevantes que dieron lugar a la adaptación de esta ontología llamada VORA.

La ontología generada se basó en procedimientos definidos por Sánchez-Alonso y García-Barriocanal (2006). Esta se estructuró en los siguientes aspectos:

- Encontrar uno o varios términos en la ontología a partir de conceptos relacionados.
- Verifique cuidadosamente que el mapeo sea consistente con el resto de los subsumidores dentro de la ontología.
- Proporcionar los predicados apropiados para caracterizar la nueva categoría.
- Edita el término en un editor de ontología para obtener la versión formal final.

- Validar mediante un ejemplo, utilizando escenarios de interacción típica de usuario para buscar y recuperar recursos como una forma de mejorar y refinar la ontología. (p. 272)

Como se mencionó anteriormente, la ontología se basó en términos asociados al tesoro AAT, dado que contiene términos relacionados con el patrimonio cultural. Algunos términos, por ejemplo la noción de Neolithic, es relevante para eras o períodos históricos en general, por lo tanto formó parte de más de una lista, con niveles de profundidad. Particularmente, la figura 20 presenta un ejemplo de este listado de términos referidos.

Figura 20. Representación de conceptos asociados con dominio de conocimiento



Fuente: elaboración propia

A partir de esta exemplificación se realizó una estructuración de la ontología teniendo en cuenta la estructura de navegación taxonómica requerida para su despliegue. Lo anterior basado en los siguientes principios para guiar el proceso de refinamiento e iteración:

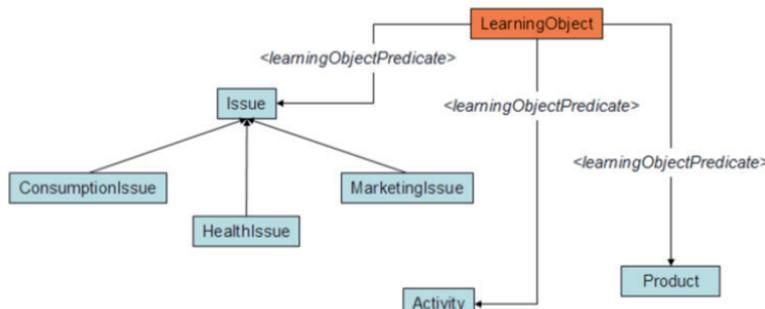
- Los conceptos en la ontología deben relacionarse directamente con recursos digitales que proporciona la biblioteca digital Europeana.
- Al completar los términos relacionados con cada categoría, estos deben colocarse en un subnivel entre el término principal y el nuevo término asociado a la categoría.
- No se contemplan sinónimos, sino el término preferido de acuerdo con la especificación definida por el tesoro AAT.

En la construcción de tesauros, “is a” denota una relación entre dos términos, pero tiene un significado muy amplio que debe reducirse para desambiguar y formalizar el conocimiento en una ontología. De hecho, las relaciones habituales en tesauros como “broader”, “narrower”, “used for” o “related” no se definen con precisión en forma semántica.

A continuación se describe la estructura de la ontología y su contenido. Se entiende que el esquema de navegación taxonómico utilizado es a partir de un tesauro, por lo tanto la ontología es una adaptación. Se ha utilizado como una herramienta destinada a la navegación de conceptos y su objetivo final es proporcionar búsquedas inmersivas dentro de escenarios virtuales.

Dentro de las descripciones lógicas, el formalismo de representación del conocimiento es en el que se basan las ontologías. Una ontología está formada por dos “cajas” diferentes: la caja A (A-box) y la caja T (T-box). Mientras que la T-box conjunta los axiomas que definen los conceptos y las relaciones en la ontología, la A-box contiene las aserciones sobre los individuos (también llamadas instancias). En esta ontología, la mayoría de los términos presentes en la lista de términos que se usó como entrada principal fueron modelados como ejemplos, instancias de una clase o concepto que modela los puntos en común de todos los individuos de la clase. La figura 21 presenta un ejemplo de predicados de una ontología.

Figura 21. Ejemplos de predicados



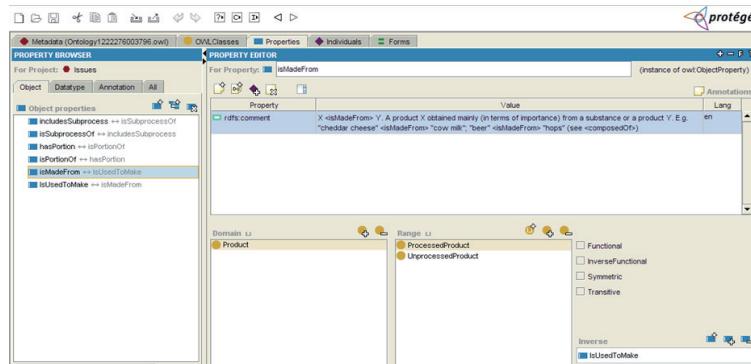
Fuente: elaboración propia

Relaciones de conceptos

Como se sugirió, las relaciones entre conceptos son especialmente importantes en la ontología, ya que serán el soporte para la navegación en la interfaz de búsqueda inmersiva. La mayoría de las relaciones mostradas son bidireccionales, lo que permite la navegación desde ambos extremos. Es fundamental tener en cuenta que las relaciones extraídas del conjunto de relaciones del tesauro de Arte AAT a veces son demasiado

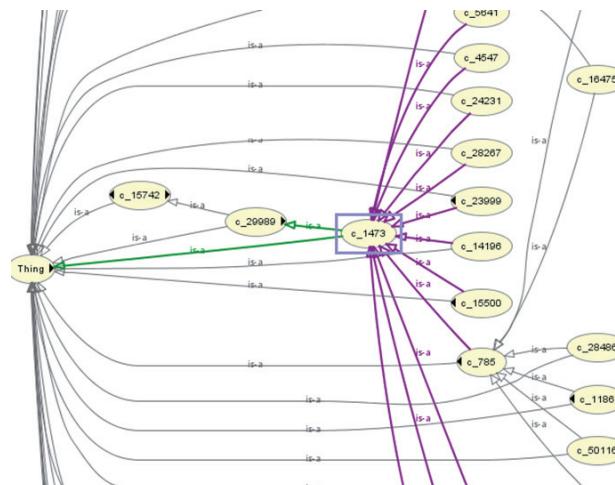
específicas para ser utilizadas en anotaciones reales de recursos de aprendizaje. Sin embargo, como los conocimientos que capturan estas relaciones son relevantes, se decidió dar apoyo a todos con el propósito de que se permitiera la asociación de conceptos. Para llevar a cabo esta edición se utilizó la herramienta *Protege*, el procedimiento se puede visualizar en las figuras 22 y 23.

Figura 22. Edición de relaciones en *Protege*



Fuente: elaboración propia

Figura 23. Visualizador de relaciones en *Protege*



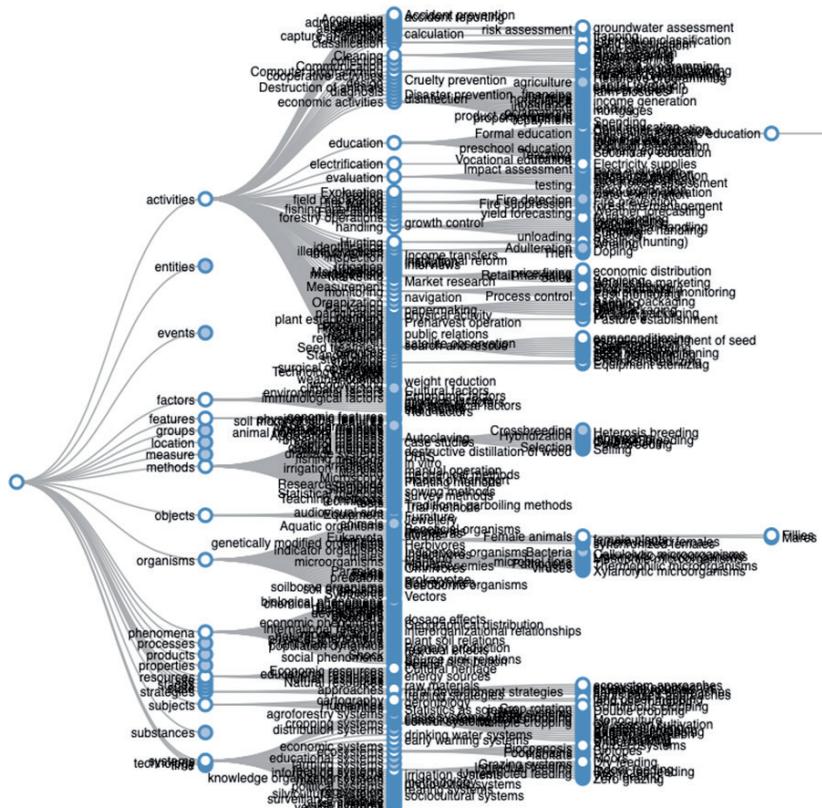
Fuente: elaboración propia

Clasificación de conceptos

La ontología fue adaptada para ayudar a los usuarios del entorno de navegación inmersivo a tener búsquedas sobre recursos digitales alojados en la biblioteca digital Europeana. Es por lo tanto una aplicación específica y dependiente. Según la clasificación de

Guarino (1998), esta es una ontología de aplicación, ya que describe “conceptos que dependen de un dominio y una tarea en particular”. La figura 24 presenta un ejemplo del esquema global de toda la ontología.

Figura 24. Representación global de la ontología



Fuente: elaboración propia

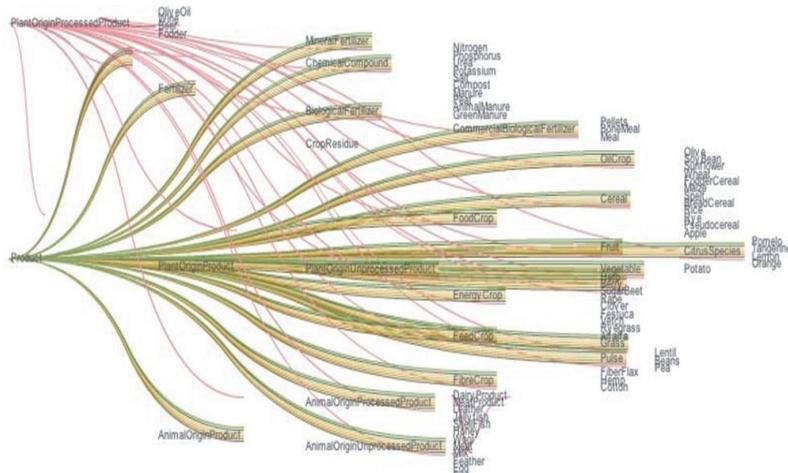
Al ser una ontología que contiene más de 40.000 términos, es necesario utilizar solamente aquellas ramas que permitan asociar conceptos con recursos digitales de Europeana.

Conceptos de navegación y relaciones

Teniendo en cuenta que el número de relaciones (propiedades) en la ontología era inusualmente bajo en comparación con esquemas de clasificación similares, se realizó un estudio sobre las relaciones en la ontología. El principal hallazgo fue que existían muchas relaciones entre términos genéricos, pero muy pocos que realmente eran útiles para la navegación. Como consecuencia, el diseño de la interfaz de usuario de

búsqueda para el escenario inmersivo —una de las razones principales para adaptar la ontología— se centró a propósito en explorar la jerarquía, relegando las relaciones no jerárquicas a un estado de “información complementaria”. Un ejemplo de esto se puede ver gráficamente en la figura 25, donde se muestra una vista parcial de la ontología.

Figura 25. Vista parcial de las relaciones de la ontología



Fuente: elaboración propia

La figura 25 exhibe que muchos términos de nivel bajo (la mayoría de ellos individuos) en el lado derecho están relacionados (vinculados) con términos en el lado izquierdo (clases de alto nivel). De hecho, la distribución gráfica de estas relaciones sigue un patrón muy similar al de las relaciones jerárquicas.

Diseño navegacional a partir de la ontología

Los buscadores jerárquicos son comunes y, a menudo, eficaces, fáciles de reducir en su complejidad de organizar información relacionada a través de estructuras de navegación comprensibles. Las jerarquías normalmente se muestran en las listas textuales de un nivel a la vez, a través de diagramas de nodos de enlace, árbol (Hearst y Karadi, 1997) o líneas donde los niveles y las ramas se pueden expandir y contraer (Ordoñez, Nigro, Tennyson, González y Karwowski, 2012). La presente sección analiza la forma en que se llevará a cabo la elección de nodos y categorías para el esquema navegacional.

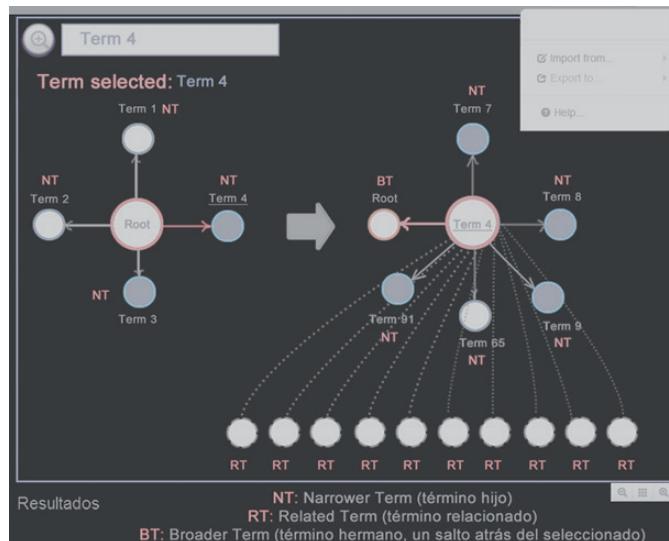
Teniendo como base los aspectos generales para la adaptación de la ontología, se llevaron a cabo varios estudios para definir el diseño que permitiría determinar un esquema de navegación dentro del entorno inmersivo. A continuación, se exemplifican

los primeros diseños que se realizaron para determinar el mejor método que permitiera adaptarse al entorno inmersivo.

Análisis de jerarquía

El objetivo para definir una taxonomía es facilitar las tareas de clasificación y organización para llevar a cabo actividades de exploración y navegación. Desde este punto de vista, los aspectos más importantes de los usos de las taxonomías se abordan en la misma perspectiva ofrecida por Gilchrist, Kibby y Mahon (2000). Específicamente la figura 26 permite determinar aspectos relacionados con conceptos de la ontología.

Figura 26. Nomenclatura de términos de acuerdo con especificación del tesauro



Fuente: elaboración propia

Esta estructura forma parte del tesauro Arte y Arquitectura AAT, que consiste en elementos léxicos llamados términos preferidos (D) y *no* términos preferidos (ND). Los primeros (descriptores) son unidades lingüísticas que expresan conceptos en un área de conocimiento específico. Un concepto se expresa a partir de un solo término, el cual responde a un concepto único. En cambio, los *no* preferidos (sin descriptores) son sinónimos de términos preferidos (descriptores). Dentro del tesauro de construcción, se definen algunas relaciones que permiten el manejo de jerarquías, asociaciones o equivalentes:

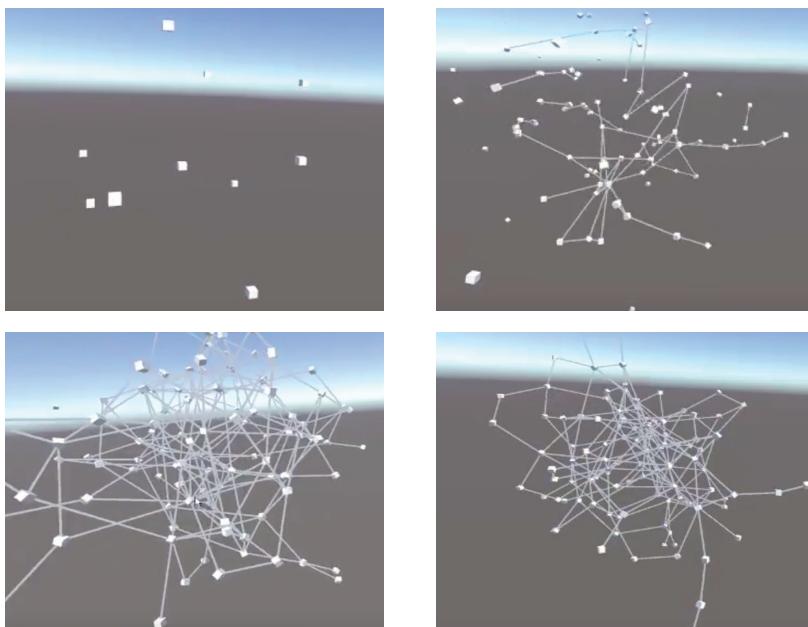
- *Relación jerárquica*: término más amplio (BT), expresa la subordinación entre dos términos según su significado. Por esta razón, una relación es jerárquica cuando un término superior (genérico) abarca conceptualmente otro (específico), generalmente conocido como relaciones de tipo Padre/Hijo o Género/Especie.

- *Relaciones de asociación*: término más estrecho (NT), se establece entre los términos cercanos entre sí, para representar conceptos asociados con ideas pero no equivalentes, ni entre ellos ni en ninguna relación de jerarquía.
- *Relaciones de equivalencia*: conocidas como el término relacionado (RT), las relaciones son sinónimos o nombres que hacen referencia al mismo concepto.

Representación del esquema navegacional en entorno inmersivo

La figura 27 es una representación a escala de construcción de toda la ontología dentro de un entorno inmersivo.

Figura 27. Esquematización de nodos dentro de entorno inmersivo



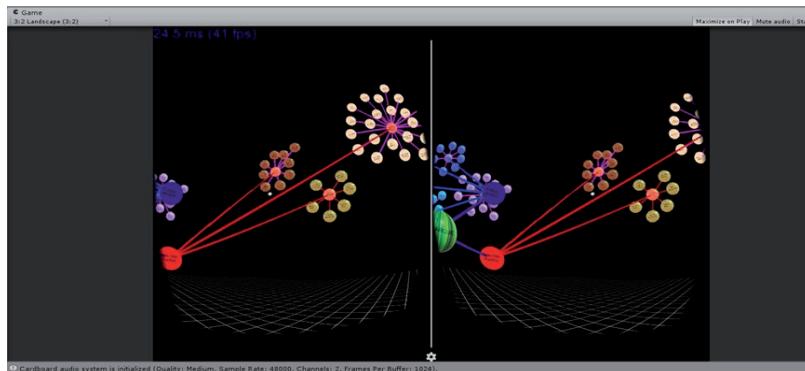
Fuente: elaboración propia

La figura 27 es una representación del despliegue parcial de la ontología dentro del escenario inmersivo. En la parte superior izquierda se presenta la ontología con la carga de algunos nodos, a continuación se despliega la ontología y las relaciones que se abordan desde nodos padres y nodos hijos. Finalmente se enseña el despliegue parcial de una de las ramas de la ontología.

Como se puede visualizar, un esquema de navegación basado en la figura 27 no es un buen elemento para tomarlo como esquema de navegación, por tal motivo se

tiene en cuenta una rama de conocimiento que presente aspectos básicos de navegación a nivel de: 1) pocos niveles de profundidad; 2) despliegue de un número de nodos hijos considerable dentro de la jerarquía seleccionada (nodo padre); y 3) número de nodos hijo adecuado para fácil navegación. La figura 28 presenta un ejemplo de esta selección.

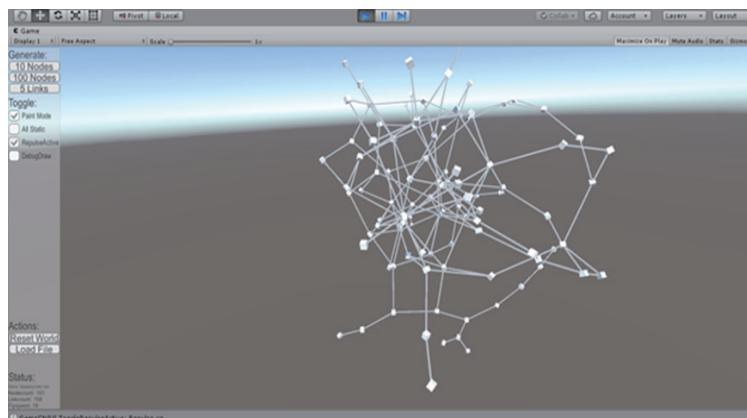
Figura 28. Entorno navegacional a partir de nodos seleccionados



Fuente: elaboración propia

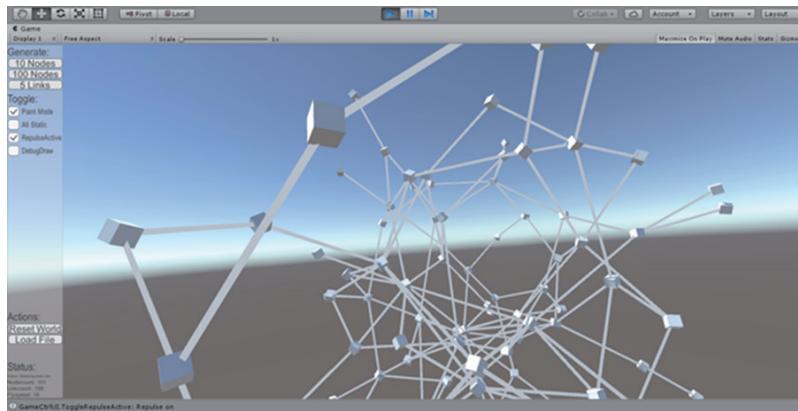
En este caso, en las figuras 29 y 30 no se muestran los nombres de las categorías ni de los objetos individuales, ya que se pretende dejar esta parte para la siguiente iteración, con el propósito de visualizar los nodos de la ontología.

Figura 29. Representación inicial de los términos de la ontología parte 1



Fuente: elaboración propia

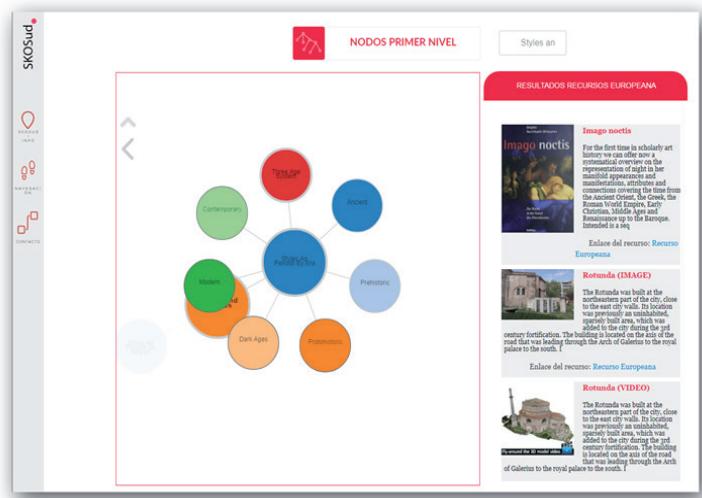
Figura 30. Representación inicial de los términos de la ontología parte 2



Fuente: elaboración propia

El proyecto SKOS (figura 31) es un acercamiento a un nivel interactivo de una navegación con nodos de primer nivel —se definen en Gaona y Montenegro (2015)—. Con este se representan diversos escenarios web bajo esquemas visuales para acceso a recursos digitales.

Figura 31. Proyecto SKOS. Navegación nodos primer nivel

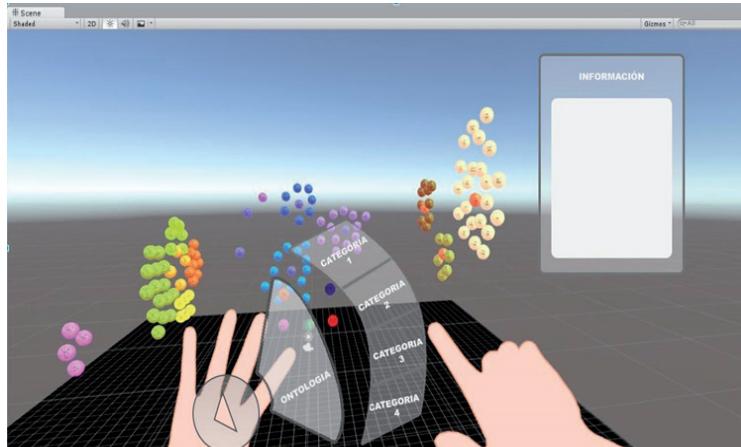


Fuente: elaboración propia

El manejo de los nodos facilita el acercamiento conceptual al vínculo padre hijo, de modo que desde el nodo principal (padre) sus hijos son potenciales padres de nuevas subsecciones. De esta manera se genera un árbol genealógico, multidireccional, que

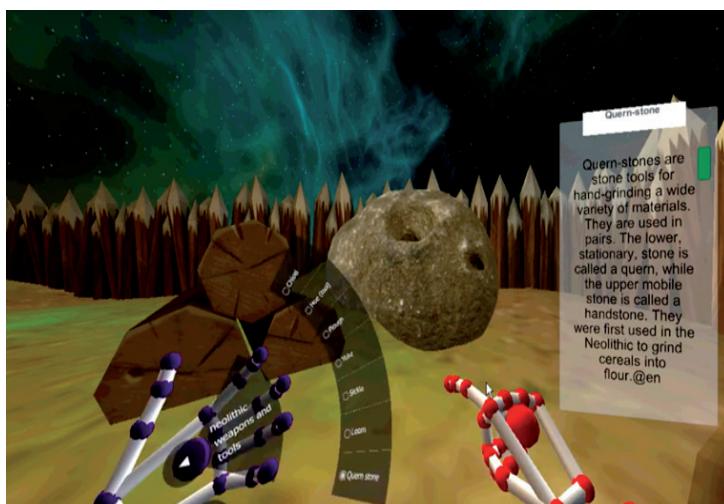
se reproduce en la pantalla de acuerdo con la estructura que tiene el archivo data y las selecciones de búsqueda que hace el usuario (figuras 32 a 35).

Figura 32. Diseño de navegación por categorías



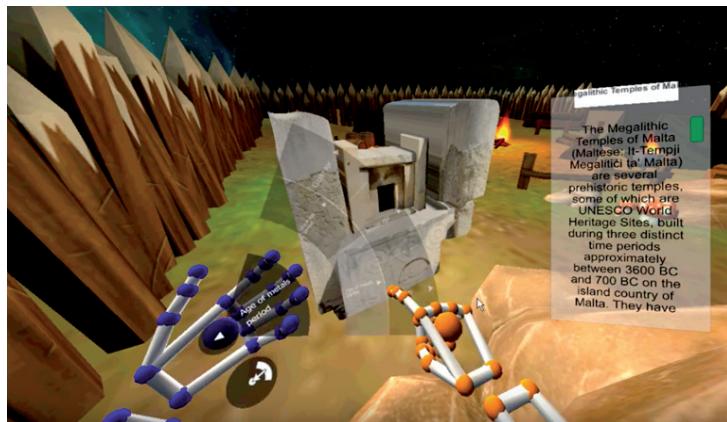
Fuente: elaboración propia

Figura 33. Representación de navegación por categorías en escenario 1



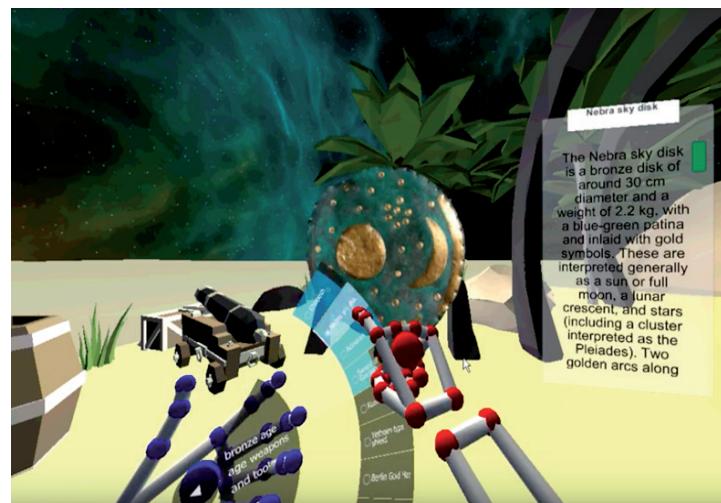
Fuente: elaboración propia

Figura 34. Representación de navegación por categorías en escenario 2



Fuente: elaboración propia

Figura 35. Ejemplificación de navegación por categorías en escenario 3



Fuente: elaboración propia

El grafo presenta un comportamiento repulsivo de fuerza directa, es decir, los nodos se repelen mutuamente para no sobreponerse, no obstante no exhiben un comportamiento ordenado ya que las posiciones se propagan de manera totalmente aleatoria en una porción del espacio 3D limitada por la fuerza de repulsión definida y el índice de estiramiento que pueden tener los arcos que unen los nodos.

Entornos inmersivos desarrollados

Al iniciar el entorno inmersivo, el participante encontrará un mensaje de bienvenida, tal como se presenta en la figura 36.

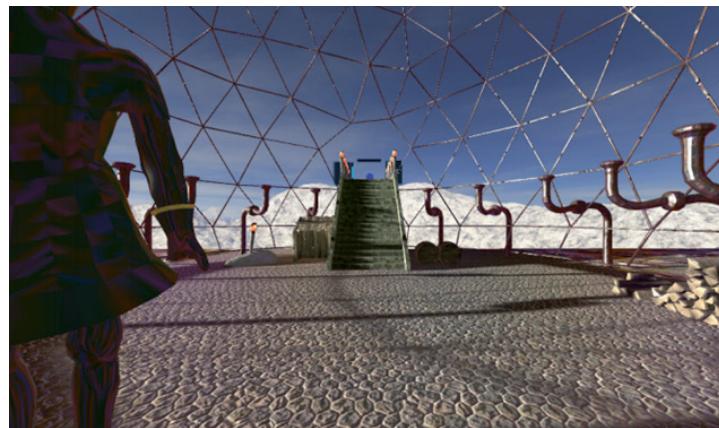
Figura 36. Pantalla de bienvenida



Fuente: elaboración propia

A continuación, el usuario se dirige al área de trabajo mediante un diseño orientado hacia un domo, tal como se presenta en la figura 37.

Figura 37. Área de trabajo



Fuente: elaboración propia

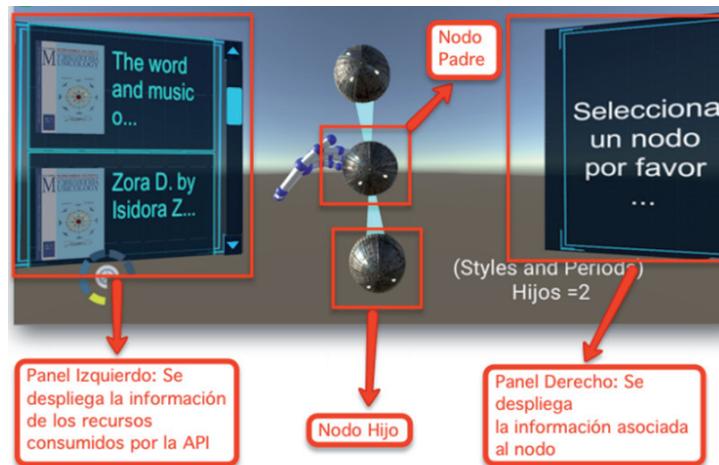
Figura 38. Rutas de áreas de trabajo



Fuente: elaboración propia

Una vez dentro del área de trabajo (figura 38), el participante podrá ubicar cada una de las áreas de navegación (figura 39).

Figura 39. Áreas de navegación



Fuente: elaboración propia

La figura 40 es una representación del escenario de trabajo donde cada participante empezará su experiencia de navegación.

Figura 40. Escenario de trabajo



Fuente: elaboración propia

Cuando existe un contacto con el entorno de navegación, se despliega una representación de niveles que corresponde a algún nodo seleccionado. Visualmente esto se muestra en la figura 41.

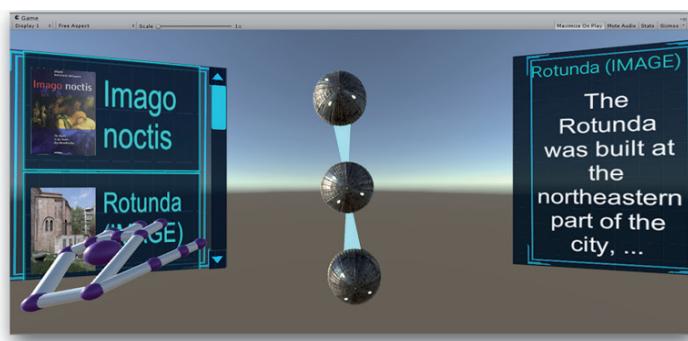
Figura 41. Despliegue de nodos



Fuente: elaboración propia

La figura 42 presenta la exploración de nodos a través de una animación de un círculo llenándose. De igual forma, presenta la información de los hijos por nodo. Cuando se selecciona un nodo siempre se va a asociar a un concepto, en el caso de que se escoja otro, el valor cambia.

Figura 42. Exploración de nodos



Fuente: elaboración propia

La siguiente sección presenta una breve descripción del proceso definido para la construcción del entorno de navegación inmersivo basado en una ontología a partir de la vinculación de recursos digitales alojados en la biblioteca digital Europeana mediante su entorno de desarrollo.

Arquitectura planteada

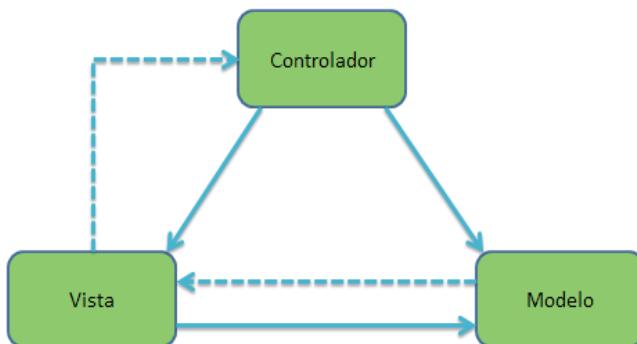
Esta sección tiene como propósito presentar la arquitectura planteada junto con el modelo propuesto para el proyecto objeto de esta investigación. Por lo anterior y para facilidad del lector, se mencionará el modelo propuesto de inmersión virtual basado en ontologías para acceso a recursos digitales como VORA. La siguiente descripción detalla el punto de vista procedural y los diversos métodos utilizados para llevar a cabo su desarrollo.

Modelo-Vista-Controlador (MVC)

El patrón de arquitectura de software Modelo-Vista-Controlador MVC (figura 43) tiene como fundamento la separación de los datos y la lógica de negocio de una aplicación, de la interfaz de usuario, además de tener por separado un módulo encargado de gestionar los eventos y las comunicaciones en el sistema.

El patrón propone la construcción de tres componentes: Modelo, Vista y Controlador, los cuales originan las estructuras para la representación de información y la interacción del usuario. Para ello se tiene en cuenta como pilar la separación de conceptos dispuestos con el fin de facilitar la tarea de desarrollo y su posterior mantenimiento (Reenskaug y Coplien, 2009).

Figura 43. Modelo general del patrón MVC



Fuente: Blancarte, 2014

Componentes

Modelo

El modelo tiene como objetivo la representación de la información con la cual el sistema opera, es decir, gestiona todos los accesos a la información, como lo pueden ser las consultas y las actualizaciones. Todo lo anterior está determinado y estructurado dentro de la lógica del negocio, dado que en este componente se encontrará toda la lógica de negocio y los datos que son necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

En cuanto a la comunicación con los otros componentes se tiene que, por medio del controlador, recibirá una serie de peticiones de acceso o manipulación de la información. Por otra parte, con la Vista se tiene un envío por parte del modelo de toda la información que ha sido solicitada previamente para la actualización de la perspectiva (Fernández y Díaz, 2012).

Vista

Este componente representa el entorno que interactúa con el usuario. Tiene como objetivo presentar al modelo, es decir, mostrar la información y la lógica de negocio que provienen de él. Al presentar estos datos se debe tener un formato o una estructura de visualización predeterminada, denominada interfaz del usuario, en la cual la información que se tendrá será representada como una salida a raíz de una acción y procesamiento de esta, realizada por el usuario (Fernández y Díaz, 2012).

Controlador

La funcionalidad de este componente radica en la captura y respuesta a eventos, los cuales por lo general son acciones del usuario, esto con el fin de invocar peticiones al Modelo cuando se tiene una solicitud referente a la información. Además de esto, el controlador puede enviar comandos a su Vista, dado que cada perspectiva debe tener asociada un controlador, por lo tanto se puede decir que el controlador hace de intermediario entre la vista y el modelo para llevar a cabo un conjunto de procesos y funciones (Fernández y Díaz, 2012).

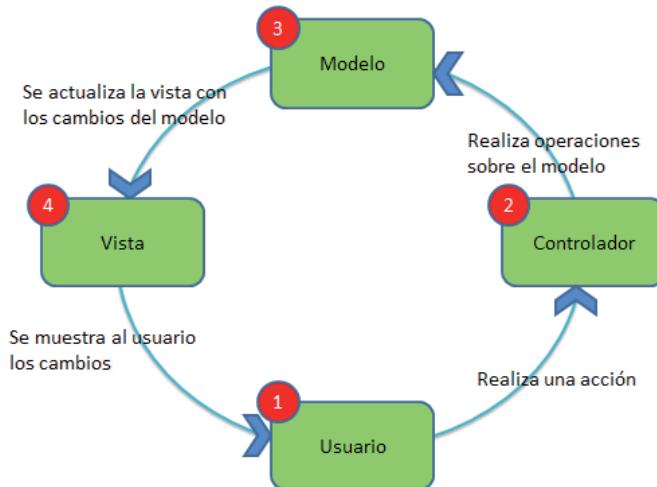
Descripción del patrón

Para la descripción del patrón (figura 44) se plantean los siguientes pasos:

1. El usuario realiza una operación en la pantalla, como presionar un botón.
2. El controlador recibe la petición de realizar una acción.
3. El modelo es actualizado por medio del controlador, el cual puede agregar, actualizar o borrar información.

4. La vista es actualizada con los cambios realizados al modelo.
5. El usuario recibe las actualizaciones en pantalla (Blancarte, 2014).

Figura 44. Descripción del patrón MVC



Fuente: Blancarte, 2014

Consumo de datos desde Europeana

El API de Europeana

Los repositorios digitales permiten hacer uso de los recursos allí alojados a través de las funcionalidades que provee API (*Application Programming Interface*), como consultar los metadatos (información acerca del dato alojado), descargar la lista de los Dataset alojados, información de organizaciones, etiquetas que identifican determinado Dataset, entre otras funciones (Herrera, Gaona y Gordillo, 2017).

Para esta investigación se planteó el uso de Europeana (<https://www.europeana.eu/portal/es>), una plataforma digital de la Comisión Europea para el patrimonio cultural. A través de esta los ciudadanos y las industrias culturales y creativas (CCI) pueden acceder a la cultura europea con la mayor variedad de propósitos.

Las API de Europeana (<https://pro.europeana.eu/page/europeana-rest-api>) permiten crear aplicaciones que utilizan la riqueza de las colecciones extraídas de los principales museos y galerías de Europa. Su alcance incluye más de 50 millones de elementos del patrimonio cultural (desde libros y pinturas hasta objetos en 3D y material audiovisual) que celebran más de 3.500 instituciones culturales en todo el continente.

La API utiliza la tecnología web estándar de llamadas REST a través de HTTP. Las respuestas se devuelven en el popular formato JSON.

La ontología de Europeana

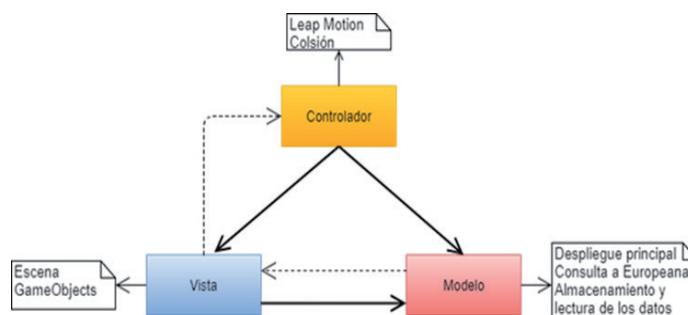
Los metadatos para todos los objetos en el portal de Europeana están abiertos, ya que se encuentran licenciados bajo la dedicación de dominio público (CC0) bajo los términos del Acuerdo de Intercambio de Datos (DEA), y se pueden descargar libremente a través de la API. Los datos están representados en el modelo de datos de Europeana (EDM) y los recursos descritos son direccionables y no discriminables por sus URI.

El modelo de datos de Europeana (EDM) ha sustituido al modelo anterior, denominado Elementos Semánticos de Europeana (ESE). Este nuevo modelo es mucho más flexible y preciso que ESE, y ofrece la oportunidad de adjuntar cada declaración al recurso específico al que se aplica, además se encarga de reflejar alguna forma básica de procedencia de datos. Se puede acceder a la ontología EDM OWL a través de la negociación de contenido, pero también está directamente disponible.

Arquitectura implementada para VORA

Para el desarrollo de este aplicativo se utilizó una arquitectura basada en el patrón de arquitectura de software MVC, dado que se buscaba una implementación de forma modular. Esta presenta un alto grado de extensibilidad y mantenibilidad, separando y agrupando las responsabilidades del aplicativo en diferentes componentes como el Modelo, la Vista y el Controlador planteados en el esquema de la figura 45.

Figura 45. Modelo MVC para VORA



Fuente: elaboración propia

Modelo

Dado que el modelo está compuesto por la lógica de negocio y los datos del aplicativo, en este caso se tiene un eje central o principal, el cual es el *core.js*. Este eje central

es considerado el armazón de la lógica del proyecto, dado que concentra todas las diferentes funcionalidades que se encuentran en el modelo. Adicionalmente, se tienen elementos relevantes como las funciones relacionadas con el acceso y la consulta al repositorio educativo de recursos digitales Europeana y el almacenamiento de datos en JSON de cada uno de los nodos que se encuentran en escena para posteriormente leer y hacer uso de la información almacenada.

El modelo planteado en este aplicativo cuenta con un conjunto de atributos y operaciones enfocados en poder tratar y procesar la información de acuerdo con la petición que se reciba por parte del controlador.

Vista

El componente de la vista en este aplicativo se puede ver representado dentro de Unity como la escena VORA que se está manejando dentro de este aplicativo. La escena es el entorno en el cual el usuario va a navegar e interactuar con el aplicativo por medio del Leap Motion. Este aplicativo cuenta con una única escena, en la cual se implementó el diseño de un ambiente de museo. En esta vista se maneja una temática relacionada con la historia y cultura europea.

Al revisar a fondo esta vista, se tiene que está compuesta por un conjunto de objetos llamados GameObjects, los cuales son el objeto más importante en Unity, pues corresponden a contenedores a los cuales se les pueden ir agregando determinadas características para cambiar su comportamiento —por eso reciben el nombre de componentes—.

Al hacer referencia a VoraWin, se cuenta con estructuras diseñadas para el museo y otros GameObjects enfocados en el ambiente de navegación del usuario.

Controlador

El controlador está enfocado en la interacción mediante eventos. Para llevarlos a cabo se hace uso de técnicas de realidad aumentada por medio de algún sensor o dispositivo que cumpla esta función. En este caso se emplea un Leap Motion, el cual es un “dispositivo de control gestual para captura de movimiento de las manos del usuario con un alto nivel de precisión” (Michan, 2012).

Al tener inmersas nuestras manos en el entorno de navegación se busca hacer colisión con determinados elementos para poder realizar consultas y visualizar información, en este caso el controlador recurre a una operación llamada *OnTriggerStay* *YO* (*other: Collider*), en donde se cuenta con un conjunto de condiciones para definir el comportamiento o la respuesta a la petición realizada.

Dicho comportamiento depende de la capa con la cual el elemento colisionador está haciendo la colisión. Cabe resaltar que el comportamiento está estructurado de

acuerdo con los elementos que se requiera implementar, localizados en el modelo y en consonancia con la condición que se esté cumpliendo.

Interacción de los componentes

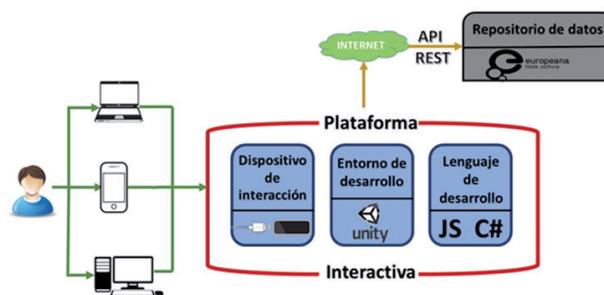
Para poder detallar la interacción de los componentes implementados se presenta una secuencia de pasos que describe a grandes rasgos la comunicación entre los componentes:

1. Como primera instancia, el usuario interactúa con la escena desarrollada en Unity mediante el Leap Motion.
2. El controlador recibe la acción solicitada por el usuario, donde al hacer colisión con un objeto se gestionará el evento de acuerdo con la capa a la cual pertenece el objeto con el cual se está presentando la colisión.
3. El controlador accede al modelo manipulando de forma adecuada la acción solicitada por el usuario, y a su vez utilizando algunos elementos de la lógica para poder procesar los datos.
4. El controlador delega a los objetos de la vista que se encuentran en la parte del ambiente de la navegación la tarea de desplegar los datos procesados en el modelo.
5. El ambiente de navegación espera nuevas interacciones por parte del usuario y el ciclo comienza nuevamente.

Diagrama de comunicación

Este diagrama de comunicación (figura 46) aplica para dos entornos de trabajo: de manera local a partir del uso de un computador o portátil, así como mediante el uso de dispositivos móviles. A continuación se detalla el uso para escenario móvil y las implicaciones en su empleo¹.

Figura 46. Diagrama de comunicación VORA



Fuente: D'Aquin, Dietze, Drachsler, Guy, Herder y Parodi, 2014

¹ Para detallar mejor esta parte de la arquitectura el lector puede remitirse al anexo A.

Requerimientos del entorno de desarrollo

El Proyecto VORA se desarrolló bajo el motor de videojuegos Unity. Su entorno de desarrollo se instaló en la plataforma Windows, posteriormente también se logró portar a Mac OS X. En teoría el entorno de sistema también podría ser compatible con algunas distribuciones Linux, aunque su Build es experimental.

Dentro de los requisitos de software para poner en funcionamiento el proyecto VORA se encuentran los siguientes:

Plataformas S.O.

Requerimientos

- Windows 7/8/10 o superior o Mac OS X 10.11.4 o posterior, sistema 64 bits.
- Unity 3D 5.5.0f3 (se ejecuta el paquete VORA sobre esta versión).
 - Nota: es necesario considerar que la compilación de la aplicación se dio bajo una versión específica de Unity y Leap Motion, por lo cual, para no tener errores, es indispensable manejar las mismas versiones que se especifican en este manual.
- Software Leap Motion Orion 3.2.0.
- Leap Motion Core Asset Orion 4.1.5 (UnityPackage).

Requerimientos opcionales para escalar el proyecto

- Leap Motion Hands Module 2.1.0 (UnityPackage).
- Interaction Engine 0.3.0 (UnityPackage).

Lenguaje de desarrollo utilizado

El lenguaje de programación adoptado para este desarrollo es C# y JavaScript. Este último cuenta con algunas nociones que involucran el motor de compilación propio de Unity 3D, en la referencia general del manual se adopta el término UnityScript.

Existen en el programa varias clases dedicadas a fines específicos dentro de la programación del proyecto, cada una con sus métodos y atributos propios de la programación orientada a objetos. A continuación se describirá la función y objetivo de cada una de ellas, tratando al máximo de ser preciso con respecto a la lógica desarrollada.

Librerías internas y externas a Unity 3D

A lo largo del desarrollo de este aplicativo, y en cada uno de los scripts, estas son las librerías llamadas mediante *namespace* usando *using*.

Librería SimpleJSON

```
import SimpleJSON;
```

La librería SimpleJSON sirve para la lectura y el tratamiento de archivos JSON.

Librería UnityEngine.UI

```
Import UI;
```

UI maneja todas las librerías encargadas de los paneles e interfaz gráfica de VORA (botones, *labels*, paneles, barras de desplazamiento, imágenes, textos, GUI en general).

Librería System.Collections.Generic

```
System.Collections.Generic
```

Maneja métodos que en general son útiles y dependen de usar esta directiva, como las corutinas, *arrays* y listas.

Librería UnityEngine

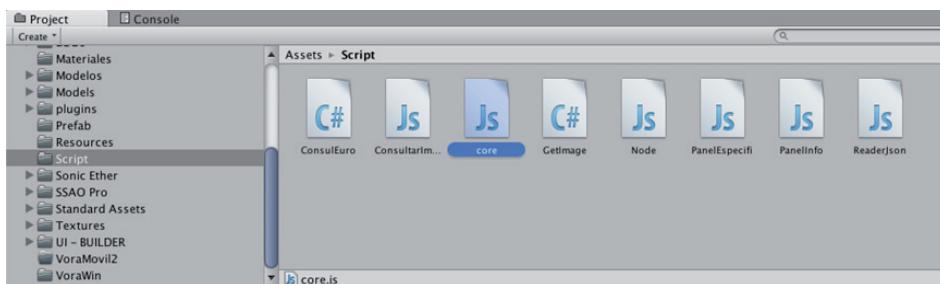
```
using UnityEngine;
```

Librerías del núcleo del motor de videojuegos Unity. En el Script ConsulEuro fue usada para poder usar las co-rutinas.

Script Core

El eje de la lógica de programación de la aplicación es el script “core.js” (figura 47), que lee la información contenida en el json “data”, el cual conjunta información referida a la estructura de las ramificaciones de los nodos.

Figura 47. Script Core, ubicación en Project



Fuente: elaboración propia

Core.js maneja la estructura que actúa como la armazón del proyecto. Esta acción constituye los paneles que aparecen al final del recorrido y dan inicio a la experiencia interactiva con la información en el GUI.

Es necesario entender el core como el recetario que va ejecutando las órdenes dispuestas en él, y la data como un ingrediente indispensable, pero que al final se convierte en un recurso para el desarrollo del proyecto.

El Script Core contiene toda la lógica de la aplicación, del manejo de nodos, de su replicación, la dinámica de la información en los paneles, el manejo de los datos de la consulta en listas de *gameobject* que representen interfaces de objetos de texto e imágenes, y en general la interacción del usuario con la plataforma².

² Para detallar mejor esta parte de desarrollo, el lector puede remitirse al anexo B.

Método de estudio y evaluación

En este capítulo se presenta un estudio de usabilidad de los métodos de búsqueda definidos en el modelo de inmersión VORA, necesario para la localización de recursos en la biblioteca digital Europeana a partir de la ontología definida para tal fin. Partiendo de una revisión heurística se ha realizado un profundo análisis centrado en las pruebas con usuarios y técnicas de apoyo basadas en cuestionarios, lo que permitió descubrir un importante número de problemas de usabilidad y aportar posibles soluciones para subsanarlos.

Para la realización del estudio de usabilidad se ha considerado el uso de distintas técnicas, que se llevarán a cabo en etapas sucesivas y diferenciadas. A continuación se describen estos pasos, con el fin de tener una visión global previa, que ayude a comprender el rumbo que toma el proceso en su aplicación.

Metodología

La metodología aplicada para esta investigación es de tipo experimental, debido a que las interfaces de usuario desarrolladas en los ambientes virtuales ofrecen una forma de interacción diferente a la de las interfaces gráficas tradicionales, como las evaluadas en Gaona, Fermoso, Sánchez y Gaona (2014), Gaona y Sánchez (2016) y Gaona, Gordillo, y Martín (2016). Por lo tanto, como soporte a esta metodología, el propósito del presente apartado es evaluar aspectos relacionados con *usabilidad* y complementarlos con una evaluación basada en *métodos heurísticos*.

Respecto a la *usabilidad*, los criterios seleccionados para el análisis se centran en aspectos relacionados con: i) facilidad de uso, ii) interacción, iii) navegación y iv) estética. Dentro del entorno heurístico se tomaron en cuenta cuatro criterios asociados con: i) diseño, ii) contenidos, iii) navegación y iv) búsqueda.

A continuación se presenta un soporte que permita sustentar la selección de estos criterios, así como el diseño de todo el experimento.

Aspectos de usabilidad

El objeto de esta sección es evaluar la usabilidad de las distintas funcionalidades de búsqueda de recursos de aprendizaje consumidos a través de la API de Europeana sobre el entorno inmersivo propuesto, intentando analizar aspectos relacionados con la facilidad de uso, interacción, navegación y estética.

Para la realización del estudio de usabilidad se ha considerado el empleo de distintas técnicas. Dentro de las seleccionadas se plantea por un lado el análisis heurístico, elaborado por un experto en usabilidad, con la intención de identificar y tratar prontamente los problemas subyacentes a las deficiencias detectadas. Por otro lado, la aplicación de una prueba, en la que se le hace una serie de preguntas a un grupo de usuarios representativos.

Para la selección de estas técnicas se partió del estudio realizado por Alva (2005), en donde la autora analiza los métodos representativos en este campo, estudiando características como la participación del usuario, la participación del experto y las herramientas utilizadas para la obtención de la información. Todo esto con el objetivo de efectuar una evaluación de un mayor número de atributos.

Decidir cuál sería la técnica utilizada para evaluar los aspectos de usabilidad descritos anteriormente partió de una minuciosa y concienzuda revisión de las técnicas empleadas actualmente.

Trabajos como los desarrollados por Perurena y Morález (2013), Suárez (2011), Sierra (2016), Iñiguez y García (2009), realizaron una adaptación a los cuestionarios existentes para evaluar la usabilidad de su sistema, concluyendo que las técnicas tradicionales son aplicables a los ambientes virtuales, sin embargo no son suficientes.

Por esta razón para la realización del estudio de usabilidad llevado a cabo en este proyecto se eligieron dos técnicas, dispuestas con el objetivo de construir una evaluación de un mayor número de atributos. Por un lado, el análisis heurístico efectuado por un experto en usabilidad, con la intención de identificar y tratar los problemas subyacentes a las deficiencias detectadas. Por otro lado, la aplicación de un test de usabilidad que busca medir las opiniones cualitativas y cuantitativas de un grupo de usuarios representativos a partir de los estudios de González, Lorés, Pascual y Granollers (2006), Alva (2005) y Masip (2010).

Dentro de todo este proceso fue de vital importancia el trabajo de Alva (2005), dado que proporcionó el punto de partida para sopesar las ventajas y desventajas ofrecidas por los distintos métodos. En este aspecto, Alva (2005) analiza los métodos representativos en este campo, estudiando características como la participación del

usuario, la participación del experto y las herramientas utilizadas para la obtención de la información.

La prueba de usabilidad que se diseñó para el proyecto VORA se fundamentó en el manual de técnicas para el diseño participativo de interfaces de usuario de sistemas basados en software y hardware propuesto por Alva (2005) y Masip (2010) y el trabajo desarrollado por González, Lorés, Pascual y Granollers (2006). En estas referencias, los autores diseñan una prueba de usabilidad concreta, enfocada a sitios del estilo de una biblioteca, las cuales ofrecen gran cantidad de información y documentación, adicionalmente en estos sitios los usuarios deben navegar por el contenido en busca de elementos específicos que les sirvan en sus tareas.

Dada la naturaleza de estos estudios y la esencia misma del entorno de inmersión virtual, que para efectos del documento se denominará VORA, la prueba de usabilidad que se ofrece a través de esta investigación está enfocada en evaluar cada uno de los siguientes aspectos de manera individual:

- Facilidad de uso
- Interacción
- Navegación
- Estética

En las áreas señaladas la prueba analiza diferentes elementos con el objetivo de medir cuantitativa y cualitativamente los aspectos de mayor interés para los autores de este trabajo. En este sentido, cabe aclarar que la prueba diseñada para este proyecto busca identificar elementos generales que permitan entender y analizar cuál es la percepción de un usuario frente a los recursos consumidos desde la API de Europeana y que se visualizan en VORA.

Evaluación de usabilidad

La evaluación de usabilidad se basó en aspectos cuantitativos, los cuales se definen en una escala de uno a cinco, siendo uno la escala más baja y cinco la más alta de calificación sobre las siguientes preguntas.

Aspectos de evaluación cuantitativa

En la tabla 1 se presentan los criterios seleccionados para el aspecto “Facilidad de uso”.

Tabla 1. Criterios seleccionados para la evaluación sobre “Usabilidad”

Categoría	Pregunta	Calificación				
		1	2	3	4	5
Facilidad de uso	¿Qué tan fácil le resultó moverse por la aplicación?					
	¿Puede encontrar rápidamente el recurso educativo que está buscando?					
	¿Cree que necesita más explicaciones introductorias?					
	¿Las imágenes están etiquetadas y aparece un título al pasar por encima con el ratón?					
	¿Es difícil decir si la aplicación tiene lo que quiere?					
	¿Ha sabido en qué página estaba en todo momento?					

Fuente: elaboración propia

La tabla 2 presenta los aspectos seleccionados para el criterio “Interacción”:

Tabla 2. Criterios seleccionados para la evaluación sobre “Interacción”

Categoría	Pregunta	Calificación				
		1	2	3	4	5
Interacción	¿Los textos usados en los contenidos de los enlaces son suficientemente descriptivos?					
	¿La aplicación le notifica mediante mensaje si ha ocurrido algún tipo de error?	Sí		No		
	¿Hay algún tipo de <i>feedback</i> sobre sus acciones?					
	¿Los tiempos de respuesta de VORA son adecuados?					
	¿Cree que los contenidos y servicios que se ofrecen en este sitio son de utilidad para su caso personal?					

Fuente: elaboración propia

En la tabla 3 se presentan criterios seleccionados para evaluar aspectos relacionados con “Navegación”.

Tabla 3. Criterios seleccionados para la evaluación sobre “Navegación”

Categoría	Pregunta	Calificación				
		1	2	3	4	5
Navegación	¿Existen elementos de navegación que lo orienten acerca de dónde está y cómo deshacer su navegación?					
	¿Logra distinguir gráficamente los enlaces visitados de aquellos que no ha visitado aún?					
	¿Considera que el diseño gráfico le ha ayudado a encontrar lo que buscaba?					

Fuente: elaboración propia

Finalmente en la tabla 4 se presentan las preguntas seleccionadas para evaluar aspectos relacionados con “Estética”.

Tabla 4. Criterios seleccionados para la evaluación sobre “Estética”

Categoría	Pregunta	Calificación				
		1	2	3	4	5
Estética	¿Le pareció adecuada la forma en que se muestran las imágenes y los contenidos en VORA?					
	¿Considera que gráficamente VORA está equilibrado, muy simple o recargado?		Equilibrado	Muy Simple	Recargado	
	¿Cree que la herramienta tiene un aspecto estético agradable?					
	¿Considera que el diseño gráfico le ha ayudado a encontrar lo que buscaba?					

Fuente: elaboración propia

Aspectos de evaluación cualitativa

Finalmente, y con el propósito de complementar esta evaluación, se organizaron una serie de consultas de tipo cualitativo para evaluar aspectos transversales tanto de la herramienta como del propósito de formación. A continuación se describen las preguntas orientadoras utilizadas para llevar a cabo este apartado.

1. ¿Hacia qué tipo de audiencia cree usted que está dirigido este sitio? ¿Por qué?
2. (Antes de realizar una búsqueda) ¿Qué espera encontrar? (Al ver la página de resultados) ¿Es lo que esperaba encontrar? ¿Le sirve?

3. ¿Qué fue lo que más le llamó la atención positiva o negativamente de la utilidad que ofrece VORA?

Evaluación heurística

El análisis heurístico es aquel que realiza un experto en usabilidad a partir de su experiencia particular y la descrita en numerosas publicaciones sobre el tema con el objetivo de localizar problemas en su empleo y aportar soluciones.

En muchas ocasiones se emplea esta técnica en solitario, pues es bastante eficaz y rápida. Para estudios más amplios es una técnica totalmente necesaria, que ha de tomarse como punto de partida. El análisis experto permite identificar problemas subyacentes de usabilidad, como la falta de consistencia o navegabilidad pobre, aspectos que son difíciles de discernir sin la precisión de un profesional experimentado.

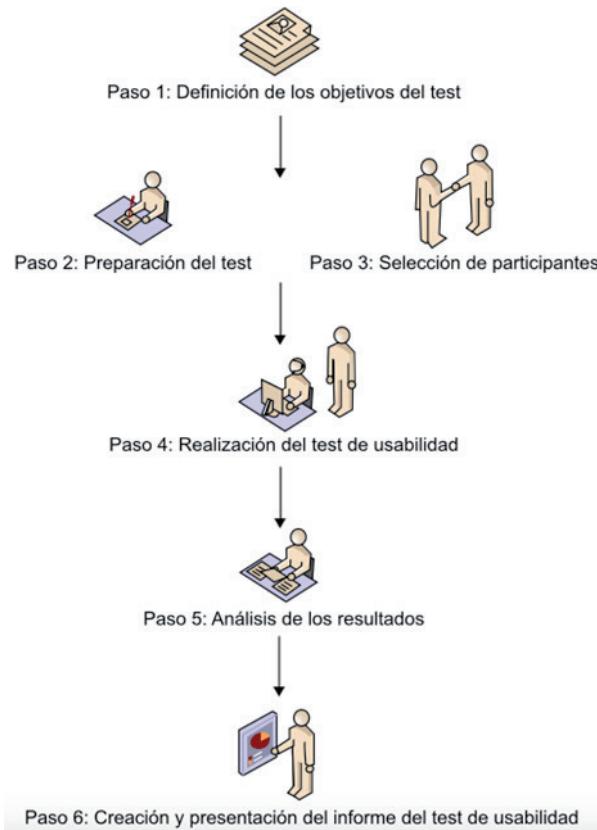
Existen problemas de base que deben ser abordados antes de realizar los test, de otro modo podríamos plantear pruebas que no tuvieran ningún sentido y arrojaran datos inútiles. Por ejemplo, nosotros podemos sentar a una persona frente a un formulario y obligarla a usar un método de búsqueda que diera unos datos determinados, pero la realidad es que si esa persona no entiende el método de búsqueda, y tiene más opciones, no se va a empeñar en utilizarlo, pues pasará directamente a emplear aquel con el que esté más familiarizado.

Esto provocará que, independientemente que los estudios realizados en laboratorio muestren que el método de búsqueda “X” es mucho más efectivo que el “Y”, en la realidad nadie usará “X”, ya que el usuario no será capaz de ver su utilidad, no sabrá llegar a él navegando o no quiere molestarse en aprender a usarlo.

De acuerdo con Suárez (2011), el proceso que se debe llevar a cabo para realizar un test de usabilidad es el descrito en la figura 48.

La estrategia de evaluación seleccionada para este apartado fue la heurística, debido a que la interacción se realizará directamente con los participantes. Acto seguido, describiremos las características de la evaluación centrada en experto y demás criterios seleccionados para su formulación y análisis.

Figura 48. Aspectos a considerar para llevar a cabo evaluación



Fuente: elaboración propia basada en Suárez (2011)

Evaluación centrada en experto

De acuerdo con aspectos de evaluación heurística definidos por González, Granoillers, Pascual y Lorés (2008) y a los resultados obtenidos por Alva (2005) y Masip (2010), en donde afirman que al ser la evaluación centrada en el experto un método de inspección que permite obtener medidas predictivas de carácter cualitativo, esta contribuye a verificar los principios generales de diseño a partir de una métrica asociada. Este panorama resulta especialmente útil en las etapas iniciales del desarrollo.

La evaluación centrada en experto se basa en la inspección crítica de una interfaz de usuario conforme con un conjunto de principios de diseño, los cuales describen las propiedades comunes de una interfaz usable y se asumen como los criterios claves para identificar qué aspectos no se cumplen en la misma (Suárez, 2011).

En este caso se contó con la participación de un experto doctor en Ingeniería de la Información y del Conocimiento, quien se encargó de la evaluación de heurísticas basándose en su experiencia y el trabajo realizado por la Asociación Interacción Persona Ordenador (AIPO), que planteó en 2004 la Iniciativa UsabAIPO (González, Lorés, Pascual y Granollers, 2006).

La elección de esta propuesta fue seleccionada debido a que permite obtener un valor cuantitativo del nivel de usabilidad al evaluar heurísticas enfocadas en criterios de diseño, navegación, contenido y búsqueda.

Aspectos de evaluación heurística

Dentro de cada heurística el revisor experto asigna un valor (0,2 o 4) a los aspectos definidos anteriormente. De esta forma, los autores obtienen el valor porcentual del objeto de estudio evaluado, el cual está dado por la ecuación 1:

Ecuación 1. Ecuación heurística utilizada para evaluación

$$\text{USA - AIPO - } H(w) = \frac{\text{Diseño}}{0,28} + \frac{\text{Navegación}}{0,28} + \frac{\text{Contenido}}{0,2} + \frac{\text{Búsqueda}}{0,24}$$

Fuente: Suárez (2011)

Resulta entonces interesante analizar de dónde salen los denominadores de la expresión anterior. Pues bien, como lo describe González, Lorés, Pascual y Granollers (2006), dentro de la propuesta Iniciativa UsabIPO, los autores definen 25 subheurísticas inmersas en las cuatro categorías mencionadas anteriormente. Cada subheurística posee un número distinto de preguntas, que de acuerdo con el criterio de los autores quedan distribuidas de la siguiente manera:

- Diseño: 28 %
- Navegación: 28 %
- Contenido: 20 %
- Búsqueda: 24 %

Sin embargo, debido a la particularidad de las pruebas a realizar sobre el entorno virtual, no se tuvieron en cuenta todas las subheurísticas planteadas inicialmente, por lo tanto dichas asignaciones varían. Cabe también mencionar que algunas de las heurísticas fueron redefinidas para el proyecto, conservando siempre la esencia de la pregunta.

Elementos seleccionados para la evaluación heurística

La tabla 5 resume los criterios que se tuvieron en cuenta para llevar a cabo la evaluación asociada con el aspecto “Diseño”.

Tabla 5. Criterios de evaluación asociados con el “Diseño”

Categoría	Pregunta	Calificación		
		0	2	4
Diseño	¿Tiene la aplicación una interfaz amigable, con colores uniformes en la mayoría de las páginas y que concuerde con la imagen que ofrece el proyecto?			
	¿La aplicación ofrece una interfaz limpia, sin ruido visual y un correcto uso del espacio?			
	¿Tiene el texto un diseño sencillo, con suficiente contraste entre el fondo y el texto y limita el estilo de fuente y otros formatos de texto?			
	¿Las imágenes están etiquetadas y aparece un título al pasar por encima el cursor con el ratón?			
	¿Existen elementos animados?			
	¿Se ha cuidado la resolución de las imágenes para que no se vean pixeladas y de un tamaño adecuado para su correcta visualización?			

Fuente: elaboración propia

En la tabla 6 se resumen los criterios que se tuvieron en cuenta para la aplicación de la evaluación asociada con el aspecto de “Navegación”.

Tabla 6. Criterios de evaluación asociados con “Navegación”

Categoría	Pregunta	Calificación		
		0	2	4
Navegación	¿Se ha controlado el número de elementos y términos por elemento para no producir sobrecarga memorística?			
	¿La totalidad de elementos del área de navegación está visible sin que el usuario realice ninguna iteración?			
	¿Existe un mapa?			
	¿Si un nodo posee hijos se indica claramente?			
	¿Se puede llegar siempre a la página de inicio desde cualquier nivel de navegación?			
	¿Existen elementos que permitan al usuario saber exactamente dónde se encuentra dentro del sitio y cómo volver atrás?			
	¿Indican los enlaces claramente hacia dónde apuntan con un título apropiado para que el usuario pueda predecir la respuesta del sistema ante su acción?			

Fuente: elaboración propia

Finalmente, en las tablas 7 y 8 se resumen los criterios que se tuvieron en cuenta para evaluar aspectos relacionados con el “Contenido” y la “Búsqueda”.

Tabla 7. Criterios de evaluación asociados con los “Contenidos”

Categoría	Pregunta	Calificación		
		0	2	4
Contenido	¿Los recursos consumidos son fiables y están actualizados?			
	¿Es fácil acceder a la información de las distintas áreas de la aplicación?			
	¿Ofrece la opción de varios idiomas?			

Fuente: elaboración propia

Tabla 8. Criterios de evaluación asociados a “Búsqueda”

Categoría	Pregunta	Calificación		
		0	2	4
Búsqueda	¿Es fácil iniciar una búsqueda?			
	¿Existe la opción de búsqueda avanzada?			
	¿Se ofrecen opciones para realizar una búsqueda lo suficientemente acotada?			
	¿Se incluyen vínculos a motores de búsqueda de internet?			
	¿Se muestran los resultados de la búsqueda de forma clara y comprensible para el usuario?			
	¿Se asiste al usuario en caso de no poder ofrecer resultados?			

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con el cuestionario descrito, la expresión que mide el nivel de usabilidad que puede llegar a obtenerse a partir de las apreciaciones emitidas por el experto se calcula a partir de la ecuación 2:

Ecuación 2. Porcentaje de evaluación asignado a criterios

$$\text{USABAPO}(-\text{ORA}) - H(w) = \frac{\text{Diseño}}{0,29} + \frac{\text{Navegación}}{0,33} + \frac{\text{Contenidos}}{0,14} + \frac{\text{Búsqueda}}{0,24}$$

Fuente: elaboración propia

Estudio de seguimiento, elección de usuarios representativos

Un estudio de usabilidad busca que un producto alcance unos objetivos específicos a determinados usuarios en un contexto de uso. Es por ello que antes de realizar los test se deben localizar estos usuarios, conocidos como usuarios representativos.

Del mismo modo, gracias al estudio de seguimiento o *feedback* que hayan realizado los desarrolladores, se pueden apreciar problemas habituales y pensar en distintas alternativas para llegar a la solución más adecuada —esto, según los resultados que arrojen los test de usabilidad—.

Mediante las ya citadas entrevistas a desarrolladores podremos preparar una encuesta siguiendo sus indicaciones para posteriormente encontrar los usuarios representativos y diferenciarlos en grupos mediante su caracterización.

Planificación de los test

La fase de planificación constituye la base para que estos se desarrolleen correctamente, pues aborda el cómo, cuándo, cuál, dónde, quién y por qué de cada test de usabilidad. Existen distintos tipos de test, algunos más adecuados que otros, según la fase de desarrollo del proyecto y distintas formas de abordarlo. En su planificación es necesario detallar todo lo acordado, para luego ejecutar las correcciones a lugar de forma ordenada y correcta.

Definir el entorno de pruebas

Engloba todas las decisiones relativas a la localización donde se desarrollarán los test, qué material se empleará, dónde estarán colocados los participantes, la disposición de la sala, el software de apoyo y demás asuntos relativos a su ambiente de aplicación.

Selección de los usuarios representativos

La selección y adquisición de los participantes cuyo perfil es representativo es un elemento crucial para evaluar un producto. Los resultados de la prueba solo serán válidos si los participantes son los usuarios típicos del producto, de lo contrario serían cuestionables y de escaso valor, pues no se atendería la especificidad de la usabilidad.

Esta etapa consiste en identificar y describir el comportamiento, las habilidades y el conocimiento de las personas que van a usar el producto a partir del perfil establecido anteriormente, de manera que su selección sea eficaz para el estudio y se adecúe a sus limitaciones de tiempo, dinero, recursos, etc.

Desarrollar las sesiones

La parte central de los test es indudablemente el desarrollo de las sesiones, donde el usuario se enfrenta al producto bajo la supervisión de distintos medios humanos y técnicos que se emplearán para evaluar resultados durante y después de la sesión. Así, existen múltiples formas de adelantar las sesiones, según el tipo de test y los medios con los que se cuente.

Para que las sesiones se desarrollen adecuadamente y sacarles el mejor rendimiento es necesario que las personas dedicadas a dirigir esta tarea dispongan de una preparación y actitud adecuada: el factor psicológico o la capacidad de comunicación son fundamentales. Para conocer las cualidades que debe tener un buen “director de test”, se recomienda consultar *UTesting08+.

Análisis de resultados

Estudio de usabilidad

Debido a la naturaleza del proyecto VORA, se consideró analizar sus aspectos cuantitativos y cualitativos inherentes de acuerdo con las características definidas por Suárez (2011) y González, Lorés, Pascual y Granollers (2006). Por su parte, autores como Sears y Jacko (2007) consideran que los evaluadores de los ambientes virtuales deben valorar si la manipulación de objetos es simple e intuitiva y el contenido visual es atractivo e inmersivo.

La estructura del ambiente virtual VORA es de tipo semi-inmersivo, compuesto por un ambiente gráfico en 3D y objetos virtuales representados por nodos de información a través de los cuales se puede consultar información. Por lo tanto, se diseñaron dos pruebas que midieron las perspectivas de los usuarios que participaron en la evaluación.

Los resultados dieron a conocer las opiniones subjetivas y objetivas de los participantes, con el objetivo de realizar mejoras en la herramienta existente y priorizar nuevas funcionalidades. De esta manera se determinó cuáles fueron las tareas más difíciles de completar por parte de los usuarios, así como los elementos menos comprensibles.

Selección de participantes

Dada la naturaleza del entorno inmersivo desarrollado, la ejecución de las pruebas contó con la participación de 15 personas entre los 20 y 50 años, quienes interactuaron con el sistema a través del dispositivo Leap Motion, por lo que su puesta en marcha se llevó a cabo de manera guiada.

Antes de realizar la evaluación cada uno de los participantes tuvo la oportunidad de leer y conocer el manual de usuario del aplicativo, el cual funcionó como una guía introductoria sobre las funcionalidades de VORA. Google Forms fue la herramienta tecnológica que permitió el seguimiento sobre los aspectos evaluados.

La evaluación se dividió en cinco etapas que midieron la percepción de los usuarios en aspectos como su facilidad de uso, interacción, navegación, estética y finalmente una apreciación cualitativa del aplicativo.

Cada una de estas áreas evaluó diferentes elementos con el objetivo de analizar los aspectos de mayor interés para los usuarios. Cabe aclarar que la prueba de usabilidad que se plantea en este trabajo puede ser modificada con el fin de orientar las preguntas hacia las áreas de interés que se tengan en un momento determinado. En este sentido, la prueba busca identificar la percepción de los usuarios respecto a la oferta de contenidos y funcionalidades de VORA.

Preguntas sobre facilidad de uso

Las preguntas en este ámbito buscan establecer qué tan fácil le resulta a un usuario utilizar VORA. Los cuestionamientos se enfocan especialmente en determinar si a primera vista el usuario ha entendido la funcionalidad del aplicativo.

Preguntas sobre interacción

Las preguntas en este ámbito buscan establecer qué tan rápido y fácil le resulta a un usuario manipular los objetos tridimensionales a través del dispositivo Leap Motion.

Preguntas sobre navegación

Las preguntas de esta sección permiten establecer si la forma en la que está organizada la información es adecuada de acuerdo con la experiencia, los conocimientos y las expectativas que tenga el usuario.

Preguntas sobre estética

Las preguntas de esta sección permiten establecer si el diseño y los colores utilizados son adecuados.

Evaluación cualitativa

Para complementar lo anterior, en la etapa final de esta prueba se plantearon una serie de preguntas sobre la impresión subjetiva y la experiencia adquirida por los usuarios. A continuación se presentan las preguntas asociadas a cada una de estas etapas (figuras 49 a 56):

Figura 49. Presentación de la encuesta

Evaluación de Interfaces VORA

Hola !!

El grupo de Investigación GIIRA adscrito a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, está realizando una investigación que tiene como objetivo recopilar datos para la evaluación de interfaces de búsqueda visual, evaluando 4 aspectos: Facilidad de uso, Interacción, Navegación y Estética. Esto nos ayudará a realizar mejoras en la herramienta existente y a priorizar nuevas funcionalidades.

Los conductores de esta investigación garantizan la custodia y anonimato de los datos recogidos, te recordamos que solo puedes responder la encuesta una vez y las preguntas que veas con (*) son obligatorias.

Si desea realizar alguna pregunta sobre la encuesta, puede hacerlo enviando un correo electrónico a: giirud@distrital.edu.co

¡Valoramos sus comentarios!

*Obligatorio

Dirección de correo electrónico *

Tu dirección de correo electrónico



Fuente: elaboración propia

Figura 50. Encuesta asociada con la facilidad de uso

Facilidad de Uso

En una escala de 1 a 5, siendo 1 la escala más baja y 5 la más alta como calificas las siguientes preguntas.

¿Qué tan fácil le resultó moverse por la aplicación? *

1	2	3	4	5		
Muy Difícil	<input type="radio"/>	Muy Fácil				

¿Puede encontrar rápidamente el recurso educativo que está buscando? *

1	2	3	4	5		
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo				

¿Cree que necesita más explicaciones introductorias? *

1	2	3	4	5		
Totalmente en desacuerdo	<input type="radio"/>	Totalmente de acuerdo				

Fuente: elaboración propia

Figura 51. Preguntas sobre la facilidad de uso

¿Las imágenes están etiquetadas y aparece un título al pasar por encima con el ratón?*

Elige ▾

¿Es difícil decir si la aplicación tiene lo que quiere?*

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo

Totalmente de acuerdo

¿Ha sabido en qué página estaba en todo momento?*

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo

Totalmente de acuerdo

ATRÁS

SIGUIENTE

Página 2 de 6

Nunca envíes contraseñas a través de Formularios de Google.

Fuente: elaboración propia

Figura 52. Encuesta asociada con la interacción

Interacción

En una escala de 1 a 5, siendo 1 la escala más baja y 5 la más alta como calificas las siguientes preguntas.

¿Los textos usados en los contenidos de los enlaces son suficientemente descriptivos?*

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo

Totalmente de acuerdo

¿La aplicación le notifica mediante mensaje si ha ocurrido algún tipo de error?*

Elige ▾

¿Hay algún tipo de feedback sobre sus acciones?*

1 2 3 4 5

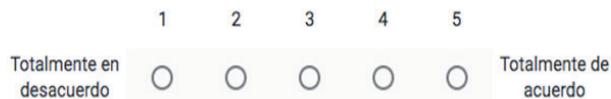
Totalmente en desacuerdo

Totalmente de acuerdo

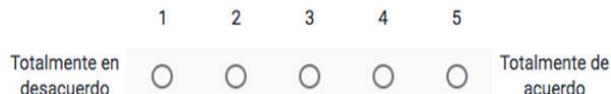
Fuente: elaboración propia

Figura 53. Preguntas sobre interacción

¿Los tiempos de respuesta de VORA, son adecuados?*



¿Cree que los contenidos y servicios que se ofrecen en este sitio son de utilidad para su caso personal?*



ATRÁS

SIGUIENTE

Página 3 de 6

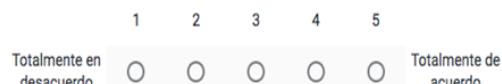
Fuente: elaboración propia

Figura 54. Preguntas de navegación

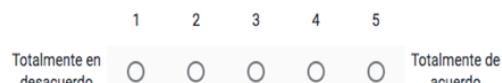
Navegación

En una escala de 1 a 5, siendo 1 la escala más baja y 5 la más alta como calificas las siguientes preguntas.

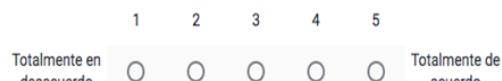
¿Existen elementos de navegación que lo orienten acerca de dónde está y cómo deshacer su navegación?*



¿Logra distinguir gráficamente los enlaces visitados de aquellos que no ha visitado aún?*



¿Considera que el diseño gráfico le ha ayudado a encontrar lo que buscaba?*



Fuente: elaboración propia

Figura 55. Preguntas de estética

Estética

En una escala de 1 a 5, siendo 1 la escala más baja y 5 la más alta como calificas las siguientes preguntas.

¿Le pareció adecuada la forma en que se muestran las imágenes y contenidos en VORA? *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

¿Considera que gráficamente VORA está equilibrado, muy simple o recargado? *

Elige

¿Cree que la herramienta tiene un aspecto estético agradable? *

1 2 3 4 5

Totalmente en desacuerdo Totalmente de acuerdo

Fuente: elaboración propia

Figura 56. Preguntas sobre evaluación cualitativa

Evaluación Cualitativa

En una escala de 1 a 5, siendo 1 la escala más baja y 5 la más alta como calificas las siguientes preguntas.

¿Hacia qué tipo de audiencia cree usted que está dirigido este sitio? ¿Por qué? *

Tu respuesta

<antes de realizar una búsqueda> ¿Qué espera encontrar? *

Tu respuesta

<al ver la página de resultados> ¿Es lo que esperaba encontrar?, *

Sí
 No
 Tal vez

¿Qué fue lo que más te llamó la atención positivamente o negativamente de la utilidad que ofrece VORA? *

Tu respuesta

Fuente: elaboración propia

Resultados

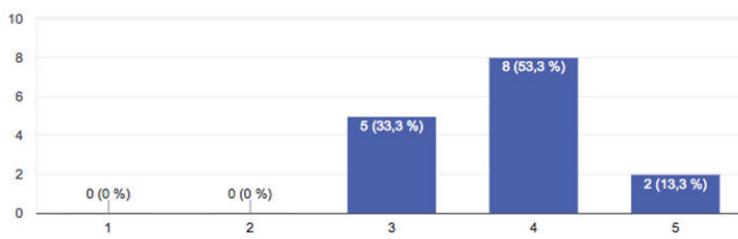
A continuación se muestran los resultados obtenidos de un total de quince encuestados que realizaron la prueba de evaluación de interfaces VORA.

Facilidad de uso

Figura 57. Resultados de la encuesta sobre facilidad de uso

¿Qué tan fácil le resultó moverse por la aplicación?

15 respuestas



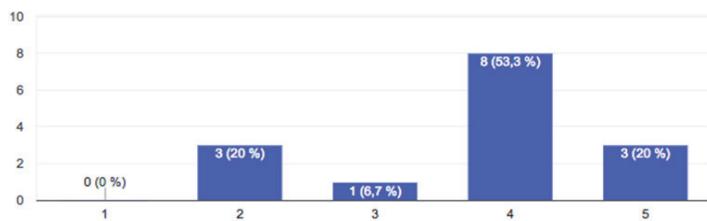
Fuente: elaboración propia

En una escala de 1 a 5, siendo 1 muy difícil y 5 muy fácil, el 13,3 % (2 personas) consideró que es muy fácil moverse por la aplicación; el 53,3 % (8 personas) opinó que es fácil; y el 33,3 % (5 personas) supuso que tiene un nivel medio de dificultad (figura 57).

Figura 58. Resultados de la encuesta sobre usabilidad

¿Puede encontrar rápidamente el recurso educativo que está buscando?

15 respuestas



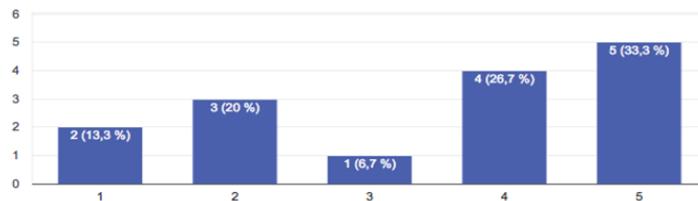
Fuente: elaboración propia

En una escala de 1 a 5, siendo 1 muy difícil y 5 muy fácil, el 20 % (3 personas) consideró que es muy fácil encontrar el recurso; el 53,3 % (8 personas) dijo que es fácil; el 6,7 % (1 persona) opinó que tiene un nivel medio de dificultad; y el 20 % (3 personas) cree que es difícil (figura 58).

Figura 59. Resultados de la encuesta sobre explicaciones introductorias

¿Cree que necesita más explicaciones introductorias?

15 respuestas



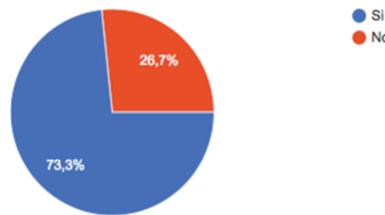
Fuente: elaboración propia

En una escala de 1 a 5, siendo 1 poco necesario y 5 muy necesario, el 33,3 % (5 personas) consideró que es muy necesario recibir más explicaciones introductorias; el 26,7 % (4 personas) supuso que es necesario; el 6,7 % (1 persona) opinó que es indiferente; el 20 % (3 personas) cree que es no es necesario; y el 13,3 % pensó que es poco necesario recibir alguna orientación inicial para el manejo del proyecto (figura 59).

Figura 60. Resultados de la encuesta de etiquetas en imágenes

¿Las imágenes están etiquetadas y aparece un título al pasar por encima con el ratón?

15 respuestas



Fuente: elaboración propia

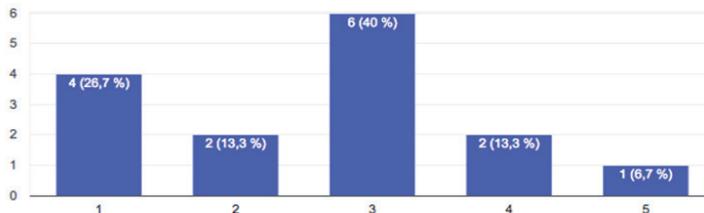
El 73,3 % (11 personas) identificó que las imágenes se encuentran etiquetadas, mientras que el 26,7 % (4 personas) no lo notó durante la prueba (figura 60).

En una escala de 1 a 5, siendo 1 muy difícil y 5 muy fácil, el 6,7 % (1 persona) consideró que es muy fácil determinar si la aplicación cumple con sus expectativas. Por otro lado, el 13,3 % (2 personas) pensó que es fácil; al 40 % (6 personas) le es indiferente; el 13,3 % (2 personas) cree que es difícil; y el 26,7 % (4 personas) aseguró que es muy difícil (figura 61).

Figura 61. Resultados de la encuesta de contenido de la aplicación

¿Es difícil decir si la aplicación tiene lo que quiere?

15 respuestas

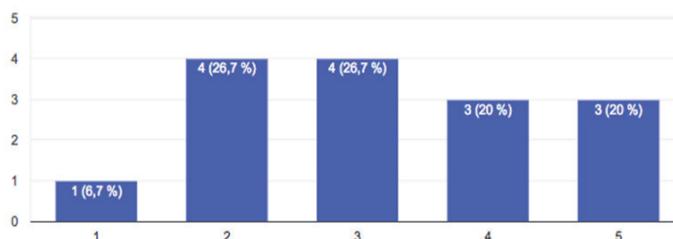


Fuente: elaboración propia

Figura 62. Resultados de la encuesta de ubicación en la aplicación

¿Ha sabido en qué página estaba en todo momento?

15 respuestas



Fuente: elaboración propia

En una escala de 1 a 5, siendo 1 muy difícil y 5 muy fácil, el 20 % (3 personas) consideró que es muy fácil determinar en dónde se encontraban. Por otro lado, el 20 % (3 personas) aseguró que es fácil; al 26,7 % (4 personas) les es indiferente; el 26,7 % (4 personas) cree que es difícil; y el 6,7% (1 persona) no supo nunca dónde estaba (figura 62).

Generalizando en cuanto al criterio de usabilidad, según los resultados obtenidos se evidencia que el diseño propuesto cumple con las condiciones para ser una aplicación con un alto nivel de usabilidad, pues:

- Ofrece un ambiente en el cual los usuarios pueden navegar de una forma fácil.
- El usuario puede encontrar los recursos que desea, de una forma fácil.
- El usuario no requiere de muchos procesos introductorios para su uso y navegabilidad.
- El usuario puede ubicarse fácilmente dentro de las páginas que navega.

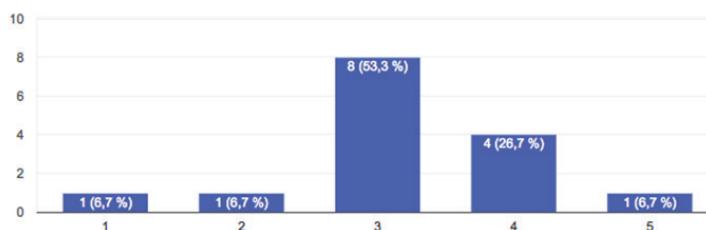
En resumen, el esquema de navegabilidad implementada permite que el usuario pueda acceder a las páginas y a los recursos de una forma sencilla, que no le demanda mucho esfuerzo, lo cual se configura como una ventaja para diferentes tipos de población que acceden a los procesos de adquisición de conocimiento a través del uso de esta técnica.

Interacción

Figura 63. Resultados de la encuesta sobre los textos en el aplicativo

¿Los textos usados en los contenidos de los enlaces son suficientemente descriptivos?

15 respuestas



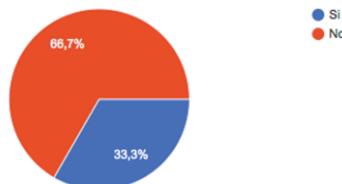
Fuente: elaboración propia

En una escala de 1 a 5, siendo 1 poco descriptivo y 5 muy descriptivo, el 6,7 % (1 persona) consideró que son muy descriptivos los textos usados. Por otro lado, el 26,7 % (4 personas) aseguró que son descriptivos; al 53,3 % (8 personas) le es indiferente; el 6,7 % (1 persona) cree que es poco descriptivo; y el 6,7 % (1 persona) piensa que es muy poco descriptivo (figura 63).

Figura 64. Resultados de la encuesta sobre notificaciones de error

¿La aplicación le notifica mediante mensaje si ha ocurrido algún tipo de error?

15 respuestas



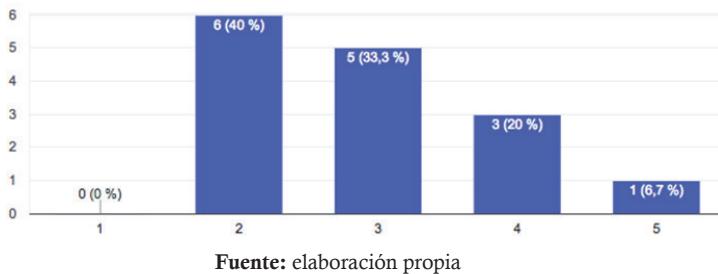
Fuente: elaboración propia

El 66,7 % (10 personas) no identificó que el sistema notificara algún tipo de error a través de mensajes, mientras que el 33,3 % (5 personas) sí lo evidenció (figura 64).

Figura 65. Resultados de la encuesta sobre el *feedback*

¿Hay algún tipo de feedback sobre sus acciones?

15 respuestas



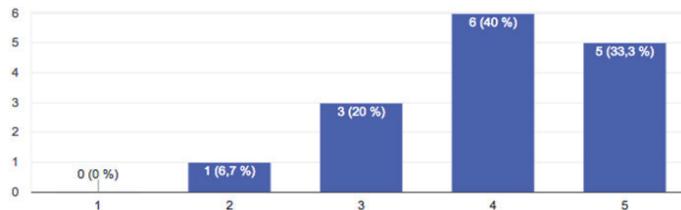
Fuente: elaboración propia

En una escala de 1 a 5, siendo 1 poco descriptivo y 5 muy descriptivo, el 6,7 % (1 persona) consideró que es muy descriptivo el *feedback* recibido. Por otro lado, el 20 % (3 personas) aseguró que es descriptivo; al 33,3 % (5 personas) le es indiferente; y el 40 % (6 personas) cree que es poco descriptivo (figura 65).

Figura 66. Resultados de la encuesta sobre tiempos de respuesta

¿Los tiempos de respuesta de VORA, son adecuados?

15 respuestas



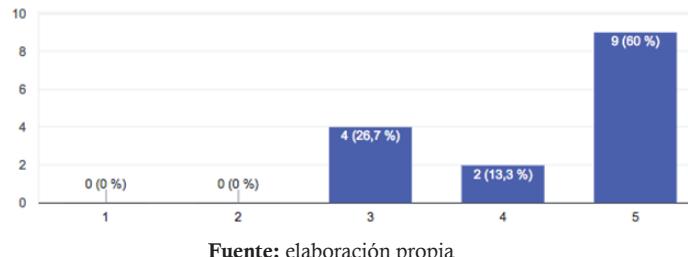
Fuente: elaboración propia

En una escala de 1 a 5, siendo 1 muy malo y 5 muy bueno, el 33,3 % (5 personas) consideró que el tiempo de respuesta de VORA es muy bueno. Por otro lado, el 40 % (6 personas) opinó que es bueno; para el 20 % (3 personas) le es indiferente; y el 6,7 % (1 persona) cree que es malo (figura 66).

Figura 67. Resultados de la encuesta sobre utilidad de servicios

¿Cree que los contenidos y servicios que se ofrecen en este sitio son de utilidad para su caso personal?

15 respuestas



Fuente: elaboración propia

En una escala de 1 a 5, siendo 1 muy malo y 5 muy bueno, el 2,7 % (4 personas) consideró que los servicios y contenidos de VORA son muy buenos. Por otro lado, el 13,3 % (2 personas) pensó que son buenos; y para el 60 % (9 personas) le son indiferentes (figura 67).

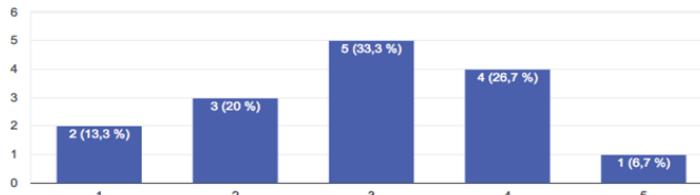
En cuanto al criterio de interacción, como se observa en las estadísticas anteriores, se encuentra que la aplicación conserva un buen tiempo de respuesta a las solicitudes de los usuarios, ofrece un *feedback* bueno y hace uso de texto descriptivo. Esto permite evidenciar que esta implementación ofrece una interacción promedio, necesaria para que el usuario navegue adecuadamente y tenga una destacada incurión en los contenidos que desea adquirir.

Navegación

Figura 68. Resultados de la encuesta sobre elementos de navegación

¿Existen elementos de navegación que lo orienten acerca de dónde está y cómo deshacer su navegación?

15 respuestas



Fuente: elaboración propia

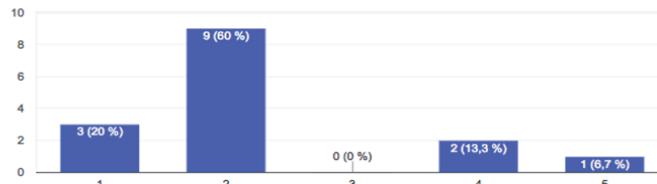
En una escala de 1 a 5, siendo 1 muy difícil y 5 muy fácil identificar elementos que orientan al usuario acerca de la navegación, el 6,7 % (1 persona) considera que los elementos de navegación existentes son muy buenos. Por otro lado, el 26,7 % (4 personas) piensa

que son buenos, mientras que para el 33,3 % (5 personas) le son indiferentes; el 20 % (3 personas) y el 6,7 % (1 persona) cree que son malos o muy malos (figura 68).

Figura 69. Resultados de la encuesta sobre enlaces visitados

¿Logra distinguir gráficamente los enlaces visitados de aquellos que no ha visitado aún?

15 respuestas



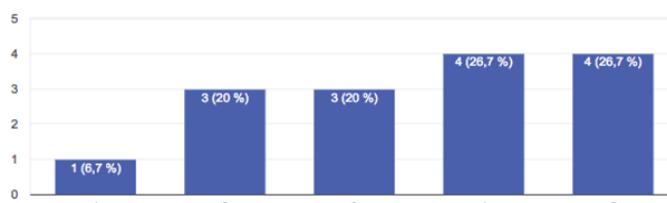
Fuente: elaboración propia

En una escala de 1 a 5, siendo 1 muy difícil y 5 muy fácil identificar gráficamente los enlaces visitados, el 6,7 % (1 persona) consideró que es muy fácil identificar los elementos visitados; el 13,3 % (2 personas) pensó que es fácil; el 60 % (9 personas) opinó que es difícil; y el 20 % (3 personas) cree que es muy difícil (figura 69).

Figura 70. Resultados de la encuesta sobre facilidad de búsqueda

¿Considera que el diseño gráfico le ha ayudado a encontrar lo que buscaba?

15 respuestas



Fuente: elaboración propia

En una escala de 1 a 5, siendo 1 muy inútil y 5 muy útil, el 26,7 % de los participantes identificó elementos que lo orienten acerca de la navegación; el 6,7 % (1 persona) consideró que los elementos de navegación existentes son muy buenos. Por otro lado, el 26,7 % (4 personas) manifestó que son buenos, mientras que para el 33,3 % (5 personas) le son indiferentes. Finalmente, para el 20 % (3 personas) y el 6,7 % (1 persona) son inútiles o muy inútiles (figura 70).

Según se observa en las estadísticas, el uso de la ontología ofrece al usuario un esquema de navegación alto. Es importante resaltar que se considera como punto estratégico de mejora el poder diferenciar de forma más clara los enlaces visitados con el fin de ofrecer una mejor experiencia de navegabilidad.

Otro de los factores que apoya la navegabilidad responde al diseño gráfico propuesto para la aplicación. En su implementación se observa que el diseño elaborado colaboró para mejorar la experiencia de navegabilidad surtida por los usuarios.

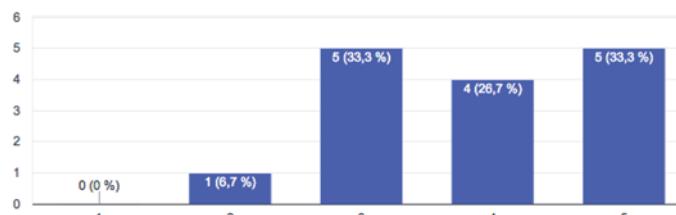
Lo anterior permite identificar que, además de contar con un texto claramente definido e informativo, es muy conveniente tener un esquema de navegación muy preciso, además de un diseño que se articule adecuadamente. Por ende, se observa que el uso de la taxonomía aporta elementos fundamentales que sustentan el esquema de navegabilidad.

Estética

Figura 71. Resultados de la encuesta sobre la muestra de imágenes

¿Le pareció adecuada la forma en que se muestran las imágenes y contenidos en VORA?

15 respuestas



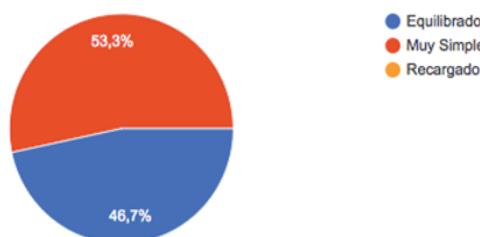
Fuente: elaboración propia

El 33,3 % de los encuestados consideró que la aplicación maneja imágenes y contenidos adecuados (figura 71).

Figura 72. Resultados de la encuesta sobre la vista gráfica de VORA

¿Considera que gráficamente VORA está equilibrado, muy simple o recargado?

15 respuestas



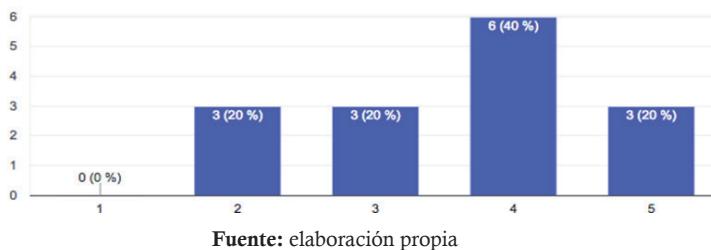
Fuente: elaboración propia

El 46,7 % de los encuestados consideró que la aplicación tiene una interfaz gráfica equilibrada (figura 72).

Figura 73. Resultados de la encuesta sobre el aspecto estético

¿Cree que la herramienta tiene un aspecto estético agradable?

15 respuestas



Fuente: elaboración propia

El 40 % de los encuestados consideró que la aplicación maneja un aspecto estético moderadamente alto (figura 73).

En cuanto a la estética a través de las encuestas se identifican aspectos como:

- El usuario valora bastante el uso de imágenes y contenidos adecuados que le permitan, además de una fácil manipulación, un manejo agradable a los sentidos.
- La simplicidad del diseño permite una mejor asimilación del producto, además de no saturar al usuario de las interfaces y por ende el incremento en la dificultad de poder localizar los recursos que desea.

De esta manera, y como se observa en la última característica, es de vital importancia contar con un aspecto agradable, que brinde al usuario una experiencia fácil, rápida y muy colaborativa.

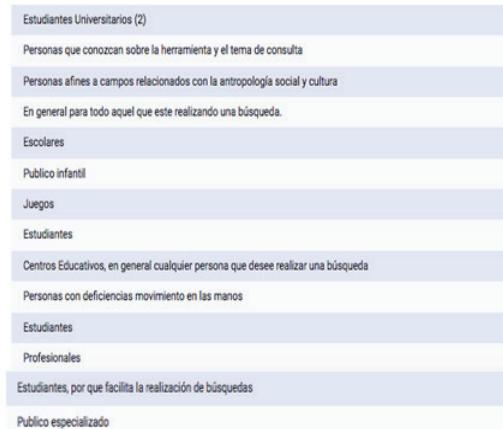
Evaluación cualitativa

Las figuras 74 y 75 muestran las dimensiones cualitativas evaluadas:

Figura 74. Resultados de la encuesta sobre el público definido

¿Hacia qué tipo de audiencia cree usted que está dirigido este sitio? ¿Por qué?

15 respuestas

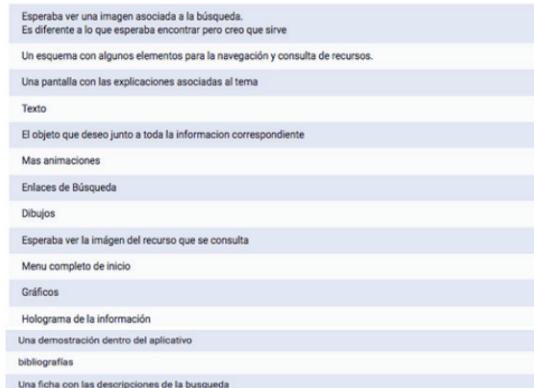


Fuente: elaboración propia

Figura 75. Resultados de la encuesta sobre las expectativas de la búsqueda

<antes de realizar una búsqueda > ¿Qué espera encontrar?

15 respuestas

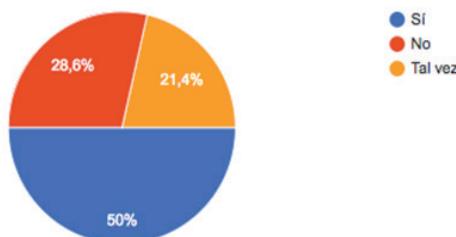


Fuente: elaboración propia

Figura 76. Resultados de la encuesta sobre lo que el usuario esperaba encontrar

<al ver la página de resultados> ¿Es lo que esperaba encontrar?,

14 respuestas



Fuente: elaboración propia

El 50 % de los encuestados considera que la aplicación brinda la información que esperaban encontrar (figura 76).

En resumen, con relación a la audiencia se observa que hay dos enfoques genéricos:

- Personas que desarrollan procesos de aprendizaje en cualquier edad.
- Personas que desean realizar procesos de búsqueda de recursos.

Esto permite evidenciar que la aplicación, a través del diseño propuesto, ofrece una interactividad sencilla a diferentes tipos de población, para la cual se pueden implementar estrategias de búsqueda de los recursos de interés particular.

Por otro lado, y como se observa en la información cualitativa (figura 77), el criterio de diseño de interfaces y navegabilidad varía según la apreciación y el nivel del usuario consultado, desde textos, enlaces, hasta hologramas y demostraciones.

El indicador de satisfacción relacionado con lo que el usuario esperaba encontrar frente a los resultados supuestos permite evidenciar que el esquema de búsqueda del aplicativo contribuyó en un alto grado a que los usuarios pudieran realizar sus consultas y obtuvieran los resultados deseados.

Figura 77. Resultados de la encuesta sobre el gusto por el aplicativo



Fuente: elaboración propia

Frente a estos resultados se evidencia que el planteamiento de una solución para el diseño de interfaces navegacionales a partir de esquemas de representación de conocimiento brinda elementos que satisfacen requerimientos de usuario relacionados con su usabilidad, interacción, diseño y estética.

En conclusión se observa que el diseño navegacional propuesto en esta investigación aporta beneficios a los procesos de consulta requeridos por los usuarios, además de brindar resultados que cumplen en su gran mayoría con las expectativas provistas por estos consumidores.

Análisis estadístico sobre usabilidad

Acompañado de estos estudios, se llevó a cabo un análisis complementario mediante análisis estadístico descriptivo de los atributos seleccionados para la fase 1 de evaluación heurística. Lo anterior para determinar su relevancia a lo largo de la evaluación realizada. Estos criterios se utilizaron de acuerdo con las investigaciones publicadas por Tsakonas, Kapidakis y Papatheodorou (2008), Tsakonas, Fuhr, Aalberg, Agosti, Hansen, Kapidakis, Klas, Kovács, Landoni, Micsik, Papatheodorou, Peters y Sølvberg (2007), y Heradio, Fernández, Cabrerizo y Herrera (2012). La tabla 9 resume los resultados de las medias y la desviación estándar (SD) para el entorno inmersivo.

Tabla 9. Análisis estadístico descriptivo

	N.	Media	Desviación estándar
Usabilidad	15	3,7000	0,49053542
Facilidad de uso	15	3,5778	0,70109514
Clasificación	15	3,5333	0,70373155
Estética	15	4,0000	0,75592895
Navegación	15	3,8000	0,94112395
Eficacia	15	4,0000	0,65465367
Eficiencia	15	3,9333	0,59361684
Rendimiento	15	3,9333	0,59361684
Terminología	15	3,6667	0,84653624

1 = baja satisfacción, 5 = alta satisfacción

Fuente: elaboración propia

Según la tabla 9 existe una alta percepción de los participantes sobre la eficacia que presenta el entorno inmersivo a partir del esquema de navegación (media = 4,000, DE = 0,654). Sin embargo, debemos enfatizar que los esquemas utilizados fueron simples, debido al alto número de conceptos seleccionados para determinar el esquema de navegación (180 conceptos) poco profundo (6 niveles de profundidad). Estos resultados son similares a los que se asocian con la eficiencia (media = 3,933, DE = 0,593) y el rendimiento de la aplicación (media = 3,93, DE = 0,593).

A la mayoría de los usuarios les resultó difícil llevar a cabo la navegación debido a que no estaban familiarizados con los conceptos asociados con las estructuras de navegación, para este caso la terminología (media = 3,666, DE = 0,846) y la clasificación. Aparentemente esto afectó su evaluación en cuanto a la facilidad de uso (media = 3,57, DE = 0,701) y el entendimiento de la clasificación de los conceptos asociados con la estructura de navegación (media = 3,53, DE = 0,701).

Para determinar si existió alguna relación entre la evaluación de atributos de las evaluaciones realizadas se hizo un análisis de correlación basado en Pearson (tabla 10).

Tabla 10. Correlación de Pearson

		Usabilidad	Facilidad de uso	Clasificación	Estética	Navegación	Eficacia	Eficiencia	Rendimiento	Terminología
Usabilidad	Correlación de Pearson	1								
	Sig. (bilateral)									
Facilidad de uso	Correlación de Pearson	0,742**	1							
	Sig. (bilateral)	0,005								
Clasificación	Correlación de Pearson	0,626**	0,365	1						
	Sig. (bilateral)	0,001	0,073							
Estética	Correlación de Pearson	0,156	-0,064	-0,119	1					
	Sig. (bilateral)	0,455	0,760	0,572						
Navegación	Correlación de Pearson	0,113	0,716**	0,184	-0,486*	1				
	Sig. (bilateral)	0,589	0,123	0,378	0,014					
Eficacia	Correlación de Pearson	0,615**	0,647**	0,254	0,281	0,218	1			
	Sig. (bilateral)	0,001	0,005	0,221	0,173	0,295				
Eficiencia	Correlación de Pearson	0,358	0,329	0,080	0,511**	0,019	0,381	1		
	Sig. (bilateral)	0,079	0,108	0,702	0,009	0,927	0,060			
Rendimiento	Correlación de Pearson	0,341	0,236	0,175	0,369	0,012	0,413*	0,680*	1	
	Sig. (bilateral)	0,096	0,256	0,404	0,069	0,955	0,040	0,015		
Terminología	Correlación de Pearson	-0,019	0,030	0,656*	0,301	0,744**	0,199	-0,243	-0,102	1
	Sig. (bilateral)	0,927	0,886	0,790	0,144	0,093	0,339	0,242	0,629	

**. Correlación significativa al 0,01 (bilateral)

*. Correlación significativa al 0,05 (bilateral)

Fuente: elaboración propia

Según la correlación de Pearson, R es un índice que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas aleatorias. El máximo es 1 y desde 0,6 se considera aceptable. Según los resultados presentes en la tabla 10 existen correlaciones significativas entre la usabilidad y la facilidad de uso ($R = 0,742$); usabilidad frente a la clasificación ($R = 0,626$) y usabilidad frente a la eficacia ($R = 0,615$).

Se presentan resultados similares entre la navegación frente a la terminología ($R = 0,744$) y la clasificación frente a la terminología ($R = 0,656$). Estos resultados son posibles porque la estructura de navegación que se seleccionó no era familiar para los usuarios. Estas correlaciones fueron moderadas y considerablemente positivas, lo que significa que los participantes en general fueron influenciados por la estructura de navegación y los atributos de clasificación en su evaluación subjetiva para navegar a través de todas las interfaces de búsqueda inmersiva.

Conclusiones y trabajo futuro

Conclusiones

En esta sección se describirán las conclusiones derivadas del proyecto y que fueron planteadas a partir de las áreas más representativas que se abordaron a lo largo del proceso de investigación.

Asociados a entornos inmersivos

Como lo plantea Riestra (2011):

[...] un entorno inmersivo es una aplicación de tecnologías de internet que busca reproducir en un espacio 3D una realidad o parte de ella, posee características semejantes a las que se encuentran en un espacio real, [...] generando ambientes óptimos para la enseñanza en donde por razones de lejanía con las instalaciones, imposibilidad de replicar procesos constructivos en campo, o bien por los niveles de riesgo asociados, el costo de capacitación puede ser demasiado alto, entre otros factores, los usuarios de dichos espacios no pueden desplazarse hasta su ubicación física.

Los espacios inmersivos interactivos permiten que los usuarios disfruten de plataformas de aprendizaje que combinan tecnologías innovadoras, realidad virtual, gráficos interactivos 3D y contenido de audio, entre otras herramientas (Educación 3.0, 2014), aprovechando en algunos casos la exploración multisensorial, lo que contribuye a tornar más ameno aquellas áreas o dominios de conocimiento que en su contexto regular son considerados como densos o poco atractivos para el público en general.

Tal es el caso de museos, bibliotecas, entre otros lugares que, gracias a la exploración de este tipo de entornos, pueden ofrecer una nueva experiencia al consumidor final, acercándolo no solamente al conocimiento en contenidos, sino ofreciéndole el fortalecimiento de diferentes competencias, además de convertirse en un espacio de esparcimiento sociocultural.

Por ende, los entornos inmersivos, en cualquiera de sus tipos, se configuran como una estrategia innovadora que acerca el conocimiento a las nuevas generaciones, ávidas de consumir información soportada en elementos tecnológicos que les brinden nuevas experiencias y les concedan un impacto significativo.

Asociados a las ontologías

Como se observa en la distribución de nodos propuestos en este proyecto, es importante el diseño y la creación de ontologías aplicables al dominio de conocimiento explorado con el fin de diseñar un esquema de navegación concreto y bien definido. Este tipo de taxonomía, además de brindar una clasificación concreta del conocimiento explorado, aporta una expresividad definida con relación al abordaje del tema en cuestión, beneficiando la búsqueda y su investigación.

La navegación basada en ontologías proporciona secuencias de acciones que pueden no representarse explícitamente en el entorno virtual o no ser visibles para el usuario en un momento determinado. Dicha representación puede ser utilizada por un razonador para crear comandos básicos que posiblemente se procesen por un generador de lenguaje natural, con el fin de transformarlos en un conjunto elaborado de instrucciones similar a lo que diría un usuario humano (NIL, 2018).

A partir de la ontología seleccionada es importante mencionar el uso de este tipo de esquemas de representación de conocimiento con una buena clasificación y taxonomía. Lo anterior, teniendo en cuenta que el diseño de estos esquemas facilitaría la navegación sobre estos mecanismos y la asociación de conceptos para una fácil adopción por parte de la población que esté utilizando estas estrategias.

Recomendaciones

En esta sección presentamos a modo resumen algunas de las recomendaciones por áreas de interés que se han recopilado mediante una serie de criterios de valoración.

Asociados a la colección de recursos digitales

No solamente el almacenamiento sino la disponibilidad y reutilización de los recursos se vuelve cada vez más una meta a lograr por los repositorios digitales, por ende el uso de estrategias que faciliten su búsqueda, localización y recuperación conforme a múltiples criterios se convierte en escenarios innovadores clave para muchas instituciones que abordan este proyecto (Marzal, Calzada y Ruvalcaba, 2015).

El explorar nuevas técnicas de visualización se convierte en un nuevo requerimiento para los repositorios digitales, que no solamente deben prever que sus recursos sean almacenados de la manera correcta, sino que puedan ser localizados y recuperados a

través de interfaces que brinden un mayor y mejor acceso a la información contenida en ellos.

En términos generales, como lo plantea Manjón (2015), toda plataforma de e-learning debería al menos cumplir las siguientes características:

- Interactividad
- Flexibilidad
- Escalabilidad
- Estandarización
- Usabilidad
- Funcionalidad
- Ubicuidad
- Persuabilidad
- Accesibilidad

Sin embargo, lo que realmente hace atractiva las plataformas e-learning son las herramientas que la dotan de las anteriores características. Son herramientas en constante evolución, orientadas al aprendizaje (foros, blogs, herramientas de comunicación y presentación de contenidos, etc.), a su productividad (calendarios, control de publicaciones, etc.), a la motivación del alumnado (gestión de grupos, autoevaluaciones, etc.), al soporte del proceso educativo (gestión de cursos, validación usuarios, etc.), a la publicación de contenidos (creación y administración de cursos, sistemas de calificación, etc.), elaboración de planes de estudio (Gestión de plantillas de cursos, diseño del proceso educativo, etc.) o a la gestión de conocimiento (organizadores jerárquicos de la información, sistemas medidores del conocimiento, repositorios digitales, etc.). (p. 20)

En consecuencia, como una recomendación clave para las personas encargadas de gestionar o administrar colecciones de recursos digitales, se deben orientar sus estrategias de despliegue de información mediante estándares que permitan describir sus recursos, sean IEEE LOM o SCORM, esto facilitará en gran medida la visualización hacia mecanismos que involucren mayor interactividad con sus usuarios, además de ofrecer requerimientos base para ser gestionados por un repositorio, así como la metadata, la vinculación, la disponibilidad, entre otros factores.

Como aspecto primario se recomienda que previa selección de las ontologías o esquemas de representación de conocimiento a utilizar para definir el entorno de

navegación inmersivo, es necesario evaluar la calidad de los metadatos con los que cuenta la colección de recursos digitales, lo anterior mediante estrategias asentadas específicamente sobre herramientas especializadas fundamentadas en analítica de datos (Gaona, Montenegro y Martin, 2017), o en particular a través de estrategias basadas en el estado de la colección del recurso digital afirmados en repositorios o bibliotecas digitales (Gaona y Sánchez, 2017).

Este aspecto es de vital importancia de cara a llevar a cabo una vinculación o asociación con los conceptos definidos en el esquema de navegación. Si la colección digital no cuenta con una calidad en las descripciones de sus recursos, la estrategia de navegación no contaría con recursos relevantes que estén asociados al concepto que está consultando el usuario. Esto generaría una vinculación de recursos que no estén directamente relacionados con los conceptos que tenga la ontología, y por tanto perdería calidad el esquema de inmersión definido.

Asociados al diseño de las interfaces

Como se describe en Gertrudix Barrio (2018), el funcionamiento correcto de una interfaz de usuario descansa en las siguientes bases:

- Facilidad de aprendizaje.
- Facilidad de uso.
- Inmediatz.
- Símbolos útiles y reconocibles.
- Unidad de imagen gráfica.
- Estándar.

En la actualidad los usuarios pueden llegar a un sitio de forma inesperada y siguiendo caminos que el diseñador no habría imaginado, por eso los diseñadores, cuando planifican una interfaz, deben hacerlo para que haya libertad de movimientos y una navegación flexible.

Una de las actividades que hace posible apoyar este tipo de estrategias se enfoca en el uso de esquemas de representación de conocimiento, como los tesauros y las ontologías, las cuales permiten definir un esquema de navegación que contribuye a delimitar una serie de secuencias que conceden a un usuario la viabilidad de asociar conceptos, así como su clasificación previa al acceso a una colección de recursos digitales.

Por otro lado se pueden encontrar diferentes recomendaciones para el diseño de interfaces, como las expuestas por Videla, Sanjuán, Martínez y Seoane (2017), donde

se especifican aspectos como que resulta acertado crear entornos “metáfora” en los que los objetos 3D se asemejen todo lo posible a los del mundo real. La navegación por este tipo de elementos se hace más intuitiva y la curva de aprendizaje se reduce mucho, adicionalmente es más eficaz el uso de objetos que el empleo de textos que los definen, tal y como lo demuestra la escasa lectura de las líneas de información o notificaciones que tuvieron las aplicaciones desarrolladas.

Por lo tanto es importante que, para el diseño de métodos de navegación inmersivos, se cuente con ontologías o tesauros fáciles de exponer mediante niveles de profundidad que sean fácilmente accesibles por usuarios que estarán usando el mecanismo de navegación.

Contar con el acompañamiento de expertos en el desarrollo de aplicaciones a partir de principios de diseño centrado en usuario y aspectos relacionados con usabilidad, es uno de los factores primordiales que facilitarán llevar a un nivel de producción las soluciones y propuestas que se establezcan sobre las colecciones de recursos digitales que se destinen para abordarlos con estrategias de navegación inmersiva.

Es clave determinar hacia qué tipo de población (niños, adolescentes, jóvenes) está orientada la colección de recursos, así como la discapacidad que puedan tener. Por otro lado, también es importante mencionar el tipo de contenido que se compartirá, con el propósito de orientar mejor el diseño, y en el mejor de los casos definir varios escenarios de acuerdo con estas características.

Trabajos futuros

Dentro de los trabajos futuros propuestos se contempla:

- El fortalecimiento y la ampliación de los entornos inmersivos desarrollados, con el fin de continuar ampliando la base de conocimiento dispuesta en estos ambientes accesibles para los usuarios consumidores.
- La ampliación de los escenarios de evaluación cuantitativa y cualitativa, con el fin de identificar criterios de mejora continua sobre los escenarios inmersivos desarrollados, al igual que los dominios de conocimiento abordados.
- Dados los procesos de innovación que este tipo de tecnologías plantean, se requiere una transformación en las instituciones para implementar este nuevo tipo de métodos educativos. Por eso se requiere de la incursión del componente tecnológico en dichas instituciones, para lo cual se plantea la revisión y formulación de herramientas que mitiguen los costos de la implementación de la propuesta tecnológica. Para ello se plantea evaluar herramientas libres con el fin de establecer su aporte y limitaciones en el proceso de implementación.

- La vinculación de recursos educativos bajo principios de Linked Open Data dentro de entornos inmersivos, con el propósito de reutilizar recursos de carácter abierto con propósitos de formación.
- Se plantea la generación de estrategias de capacitación para las personas involucradas en el proceso de formación, tanto en la creación de escenarios como en su uso en los espacios educativos.

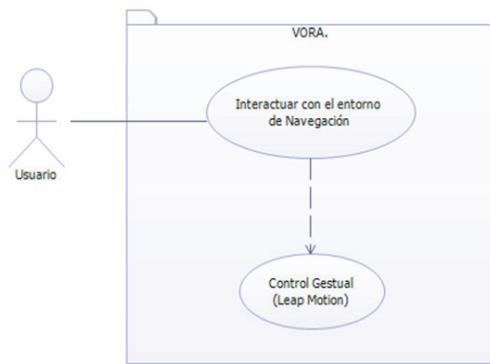
Anexo A.

Diagramas de diseño

Casos de uso

Caso de uso 1. Consultar recursos en Europeana

Figura 78. Caso de uso 1. Consultar recursos en Europeana



Fuente: elaboración propia

Tabla 11. Requerimientos de uso para consultar recursos en Europeana (figura 78)

ID	C1
Nombre	Consultar Recursos Europeana
Descripción	El usuario desea consultar recursos que se encuentran en el repositorio de Europeana.
Precondición	1. El usuario debe haber instalado cada uno de los componentes necesarios para VORA. 2. El usuario debe haber ejecutado VORA. 3. Es necesario tener interacción mediante el Leap Motion. 4. El usuario debe tener conexión a internet.
Poscondición	N/A.

ID	C1	
Escenarios	Primario	1. El usuario selecciona un nodo. 2. El sistema muestra la marcha atrás de la búsqueda, el nombre del nodo seleccionado y su cantidad de hijos. 3. El aplicativo consume API REST desde Europeana. 4. Se visualiza la información consultada.
	Secundario	Si el nodo seleccionado tiene hijos, se consultará y desplegarán sus nodos hijos, pasando a ser el nodo central. Si el nodo seleccionado no tiene hijos, se consultará y no se desplegarán nodos nuevos.
	Excepcional	El aplicativo no funciona por motivos de instalación o no consulta por falta de conexión a internet.
Actores	Usuario.	

Fuente: elaboración propia

Tabla 12. Requerimientos para traer recursos de Europeana

ID	C2	
Nombre	Traer Recursos Europeana	
Descripción	Consumiendo la API REST se deben traer los recursos desde Europeana de acuerdo con el término consultado.	
Precondición	1. La conexión a la red debe estar habilitada y activa. 2. Europeana debe encontrarse en línea.	
Poscondición	N/A.	
Escenarios	Primario	1. El usuario selecciona el término que desea consultar. 2. La API se consume almacenando los recursos indexados a ese término.
	Secundario	N/A.
	Excepcional	Se presenta algún inconveniente cuando se desea consumir los recursos.
Actores	API REST.	

Fuente: elaboración propia

Tabla 13. Requerimientos de visualización del nivel de profundidad para esquemas de navegación

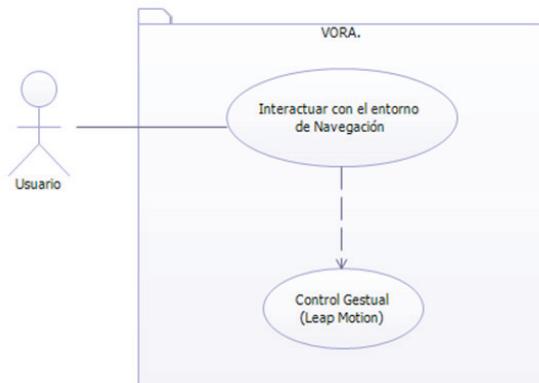
ID	C3	
Nombre	Visualizar Nivel de Profundización de Navegación	
Descripción	El usuario podrá visualizar el nivel de profundización en el que se encuentra de acuerdo con los términos consultados.	

ID	C3	
Precondición	1. Tener una conexión activa de internet. 2. Haber realizado una o varias consultas de términos.	
Poscondición	N/A.	
Escenarios	Primario	1. Realizar la consulta de un término. 2. Mostrar en el panel “Nivel de Profundización” el seguimiento de los nodos consultados. 3. Actualizar la información suministrada de acuerdo con las consultas realizadas.
	Secundario	N/A.
	Excepcional	El sistema no muestra el nivel de profundidad por algún fallo en la plataforma.
Actores	Usuario.	

Fuente: elaboración propia

Caso de uso 2. Interactuar con el entorno de navegación

Figura 79. Caso de uso 2. Interactuar con el entorno de navegación



Fuente: elaboración propia

Tabla 14. Requerimiento de interacción con el entorno de navegación (figura 79)

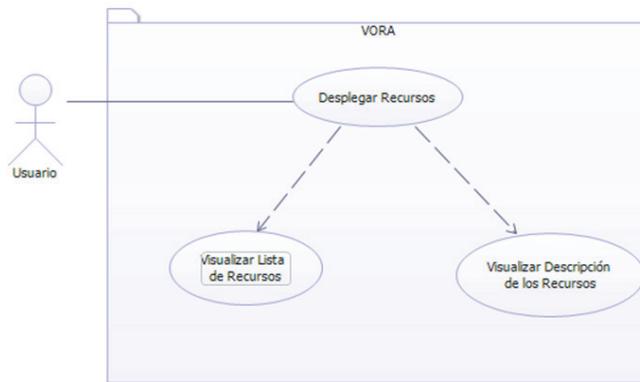
ID	C4
Nombre	Interactuar con el Entorno de Navegación
Descripción	El usuario debe interactuar con el entorno de navegación mediante un dispositivo de control gestual, en este caso por medio de un Leap Motion.

ID	C4	
Precondición	1. Haber instalado el SDK Leap Motion y los Assets necesarios para la compatibilidad con Unity. 2. Ejecutar VORA.	
Poscondición	N/A.	
Escenarios	Primario	1. El usuario debe ubicar sus manos dentro del rango de cobertura que proporciona el dispositivo. 2. El usuario debe mover sus manos y dedos para verificar que existe transmisión de movimiento.
	Secundario	N/A.
	Excepcional	No se reproduce el movimiento realizado por alguna mancha en el Leap Motion o algún problema en la instalación de sus componentes.
Actores	Usuario.	

Fuente: elaboración propia

Caso de uso 3. Desplegar recursos

Figura 80. Caso de uso 3. Desplegar recursos



Fuente: elaboración propia

Tabla 15. Requerimientos para el despliegue de recursos (figura 80)

ID	C5
Nombre	Desplegar Recursos
Descripción	Se busca desplegar y visualizar los recursos consultados para cada término indexado, donde se pueda ingresar el título, la imagen del recurso y proporcionar una breve descripción de lo que se desea consultar.

ID	C5	
Precondición	1. Tener una conexión a internet activa. 2. Interactuar con el entorno de navegación. 3. Realizar una consulta exitosa de un término.	
Poscondición	N/A.	
Escenarios	Primario	1. Seleccionar el nodo asociado al término que se desea consultar. 2. Mostrar los recursos relacionados con el término indexado en los diferentes elementos UI dispuestos en el entorno de navegación.
	Secundario	N/A.
	Excepcional	En caso de que no se desplieguen los recursos se debe verificar si la conexión a internet es activa y estable.
Actores	Usuario.	

Fuente: elaboración propia

Tabla 16. Requerimientos para visualizar el listado de recursos

ID	C6	
Nombre	Visualizar Lista de Recursos	
Descripción	La plataforma al realizar la consulta de un término desplegará una lista de los recursos asociados a este término en un panel ubicado en el entorno de navegación.	
Precondición	1. Tener una conexión a internet activa. 2. Interactuar con el entorno de navegación. 3. Realizar una consulta exitosa de un término.	
Poscondición	N/A.	
Escenarios	Primario	1. Seleccionar el nodo asociado al término que se desea consultar. 2. Cargar los recursos relacionados con el término consultado. 3. Listar y mostrar este conjunto de recursos en el elemento gráfico dispuesto para esta tarea.
	Secundario	N/A.
	Excepcional	En caso de que no se listen los recursos se debe verificar si la conexión a internet es activa y estable.
Actores	Usuario.	

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Requerimientos para visualizar la descripción de recursos

ID	C7		
Nombre	Visualizar la Descripción de los Recursos		
Descripción	Al realizar el despliegue de los recursos de acuerdo con el término consultado se podrá ver la descripción de cada uno conforme con la selección del usuario.		
Precondición	1. Tener una conexión a internet activa. 2. Interactuar con el entorno de navegación. 3. Realizar una consulta exitosa de un término. 4. Visualizar y listar los recursos asociados al término consultado.		
Poscondición	N/A.		
Escenarios	Primario	1. Seleccionar el nodo asociado al término que se desea consultar. 2. Cargar los recursos relacionados con el término consultado. 3. Listar y mostrar este conjunto de recursos en el elemento gráfico dispuesto para esta tarea. 4. Seleccionar el recurso del cual se desea ver la descripción.	
	Secundario	N/A.	
	Excepcional	En caso de que no se visualicen las descripciones de los recursos se debe verificar si la conexión a internet es activa y estable.	
Actores	Usuario.		

Fuente: elaboración propia

Vista dinámica

Diagramas de secuencia

Diagrama de secuencia: consultar recursos en Europeana

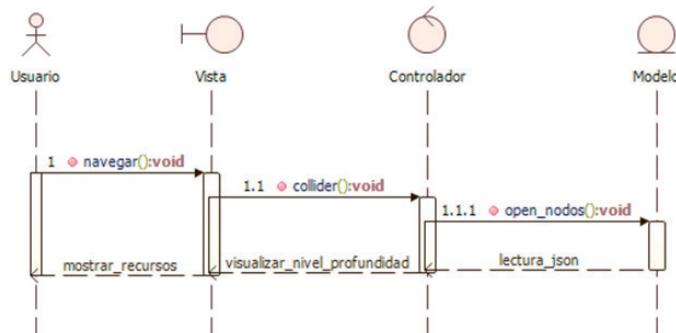
Para el caso de uso de consultar los recursos de Europeana se requiere la interacción entre los tres objetos del patrón MVC. En este escenario:

- El usuario se comunicará con la vista a través de la navegación.
- La vista interactúa con el controlador por medio de la función encargada de las colisiones (*collider*) de las manos virtuales con los objetos en la interfaz gráfica.
- El controlador enviará la orden al modelo para abrir los nodos a través de la función `open_nodos`.

El modelo retornará la lectura del archivo Json con toda la información de Europeana hacia el controlador, esto para que con la información filtrada el controlador

regrese a la vista la visualización de los niveles de profundidad del nodo actual. Finalmente el usuario recibirá los recursos por los cuales solicitó información (figura 81).

Figura 81. Diagrama de secuencia: consultar recursos en Europeana

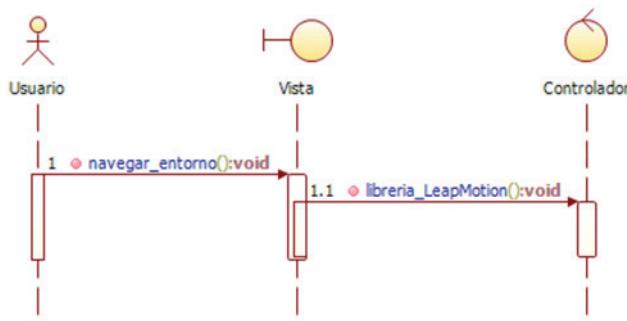


Fuente: elaboración propia

Diagrama de secuencia: interactuar en entornos de navegación

Para el caso de uso que tiene como objetivo interactuar con el entorno de navegación es necesario el usuario, la vista y el controlador del patrón MVC. El usuario realizará la navegación del entorno a través del dispositivo de captura de gestos que recibirá la vista para que esta use las librerías del Leap Motion e interprete cada una de las acciones que el usuario ejecute (figura 82).

Figura 82. Diagrama de secuencia: interactuar en entornos de navegación



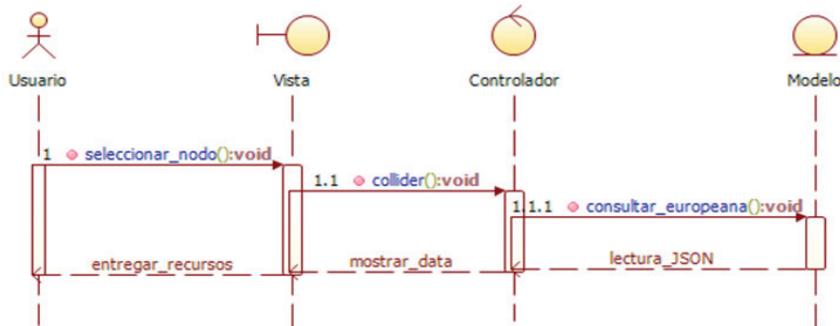
Fuente: elaboración propia

Diagrama de secuencia: desplegar recursos

Para el caso de uso con el que se despliegan los recursos se hace la interacción entre el usuario y los tres actores del modelo MVC. El usuario seleccionará un nodo a través de la vista para que esta pueda realizar la acción de colisión y enviar esta información al controlador, donde se efectuará la consulta a Europeana. La plataforma regresará

la información categorizada, es decir, aquella que se necesita desplegar en la vista para que se entreguen los recursos y datos del nodo que se seleccionó previamente (figura 83).

Figura 83. Diagrama de secuencia: desplegar recursos



Fuente: elaboración propia

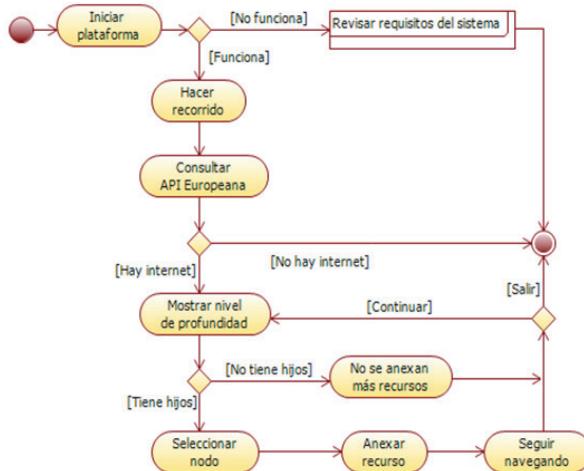
Diagramas de actividades

Diagrama de actividades: consultar recursos en Europeana

Para el caso de uso de consulta de recursos de Europeana la figura 84 muestra el proceso a seguir para llegar a la consulta efectiva. Para tal fin, se debe iniciar la plataforma, luego se tomará una decisión dependiendo del resultado. En caso de que no funcione, se revisarán los requisitos del sistema y después terminará el flujo. Si funciona, se comenzará por efectuar el recorrido dentro del entorno de inmersión para realizar la consecuente consulta a la API de Europeana.

Si no se cuenta con internet, la aplicación terminará, de lo contrario se mostrará el nivel de profundidad que tenga el recurso seleccionado. Luego de ello, se debe preguntar si este recurso tiene recursos que dependan de él. En caso de no tener dependientes, no serán anexados más recursos, mientras que si los hay, se debe seleccionar alguno de ellos para ser anexado al nivel de profundidad correspondiente. Finalmente, se seguirá navegando hasta donde se desee de forma recursiva hasta que se tome la decisión de salir de la aplicación.

Figura 84. Diagrama de actividades: consultar recursos en Europeana

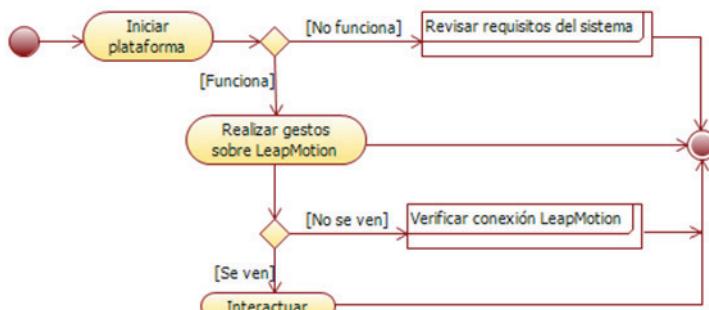


Fuente: elaboración propia

Diagrama de actividades: interactuar en entorno de navegación

En el segundo caso de uso para poder interactuar con el entorno de navegación es necesario iniciar la plataforma (figura 85). Si no se inicia satisfactoriamente, se deben revisar los requisitos del sistema y salir de la aplicación. En caso de que no exista problema alguno, es fundamental hacer los gestos corporales sobre el dispositivo para usar las librerías del Leap Motion e interpretar dichos movimientos. Si las manifestaciones no se pueden visualizar, es perentorio verificar la conexión del dispositivo y salir de la aplicación. En caso de que los gestos sean percibidos, se podrá realizar la interacción correspondiente y luego salir de la aplicación.

Figura 85. Diagrama de actividades: interactuar en entorno de navegación



Fuente: elaboración propia

Diagrama de actividades: desplegar recursos

El diagrama de actividades para el caso de uso de despliegue de recursos comienza con la consulta de estos a través de los nodos (figura 86). Si los nodos no llegan a abrirse, la aplicación terminará. En caso de que se abran, se podrá ver la lista de recursos que dispone dicho término escogido.

Luego de ello, se selecciona un recurso, el cual al seleccionarse desplegará cierta información acerca del documento o recurso para después terminar la aplicación. En caso de que la descripción no cargue satisfactoriamente, también se dará por finalizada la secuencia de acciones.

Figura 86. Diagrama de actividades: desplegar recursos

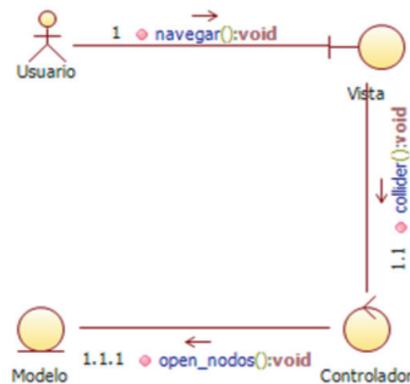


Fuente: elaboración propia

Diagramas de comunicación

Diagrama de comunicación: consultar recursos en Europeana

Figura 87. Diagrama de comunicación: consultar recursos en Europeana

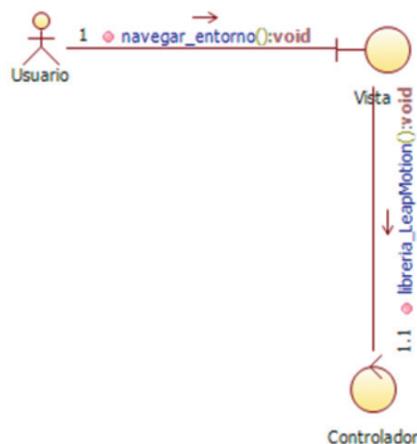


Fuente: elaboración propia

Por medio del diagrama de comunicación para el caso de uso correspondiente a la consulta de recursos Europeana (figura 87), se muestra la dependencia de comunicación de un actor a otro, comenzando por el usuario que se conecta con la vista a través de la función navegar, que a su vez envía información de control al controlador con el *collider* para realizar la lógica en el modelo con apertura de nodos usando la función open_nodos.

Diagrama de comunicación: interactuar con el entorno de navegación

Figura 88. Diagrama de comunicación: interactuar en el entorno de navegación

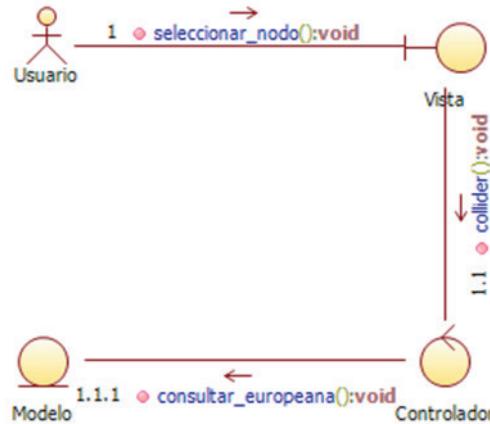


Fuente: elaboración propia

Para el caso de uso de interacción con el entorno de navegación (figura 88) se necesitan comunicar el usuario, la vista y el controlador. En esta comunicación se establece una interacción entre los diferentes actores a través de funciones de la siguiente forma: el usuario usará navegar_entorno para transmitir gestos corporales en interacciones con la interfaz gráfica o vista, para que esta emplee la librería_LeapMotion en su comunicación con el controlador.

Diagrama de comunicación: desplegar recursos

Figura 89. Diagrama de comunicación: desplegar recursos



Fuente: elaboración propia

Con relación al caso de uso en el que se despliegan los recursos se tiene un diagrama de comunicación con cuatro actores (figura 89). Dentro de estos se comunicarán:

- El usuario y la vista con la función `seleccionar_nodo`.
- La vista y el controlador por medio de la función `collider`.
- El modelo con el controlador realizará su interacción y envío de mensajes con la función `consultar_europeana`.

Vista de despliegue

Diagrama de nodos

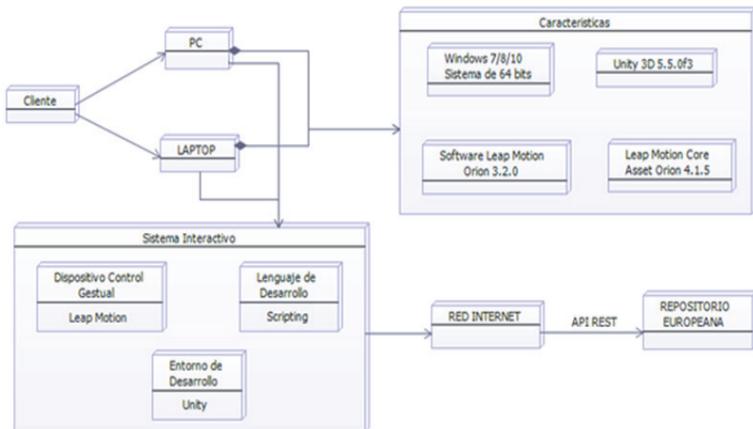
Este diagrama (figura 90) es utilizado para mostrar la topología en la que se desarrollará el sistema teniendo como punto de referencia el hardware, para así mostrar de manera general aspectos que son necesarios para el entendimiento del sistema total en funcionamiento.

En el diagrama presentado se evidencia un panorama general donde el cliente hace uso de dispositivos como un computador de escritorio o una laptop. En estos aparatos se debe contar con un conjunto de características físicas, por ejemplo un sistema operativo Windows 7/8/10 de 64 bits, tener instalado componentes como Unity 3D 5.5.0f3, SDK Leap Motion Orion 3.2.0 y Leap Motion Core Asset Orion 4.1.5.

Al tener cada uno de estos componentes se podrá utilizar el sistema interactivo o inmersivo, el cual cuenta con un dispositivo de control gestual, un lenguaje de desa-

rrollo y un entorno de desarrollo. A partir de la sinergia generada en este entorno, se logrará una comunicación con la red de internet y por medio de API REST se podrá consumir los recursos que se encuentran almacenados en este repositorio.

Figura 90. Diagrama de nodos VORA



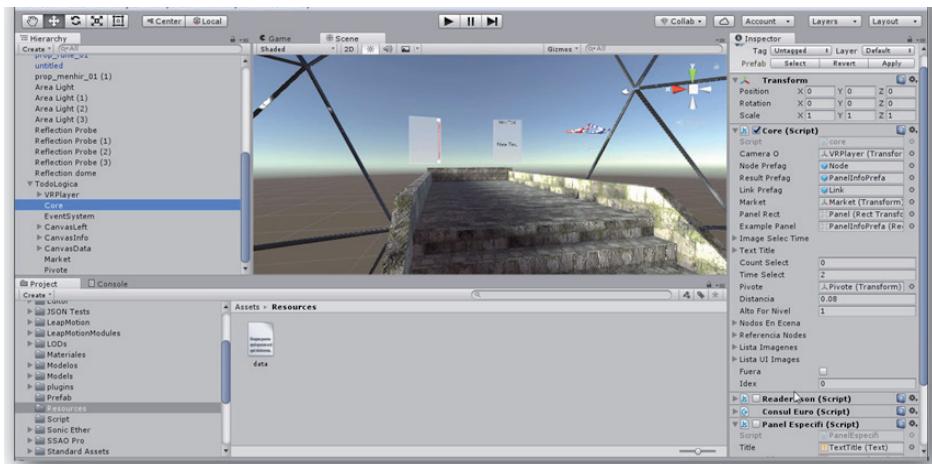
Fuente: elaboración propia

Anexo B.

Despliegue de la aplicación sobre UNITY

Al iniciar la ejecución del aplicativo el único *script* habilitado es Core. Este requiere de *data.txt*, que en realidad contiene el json de la estructura de navegación de los nodos (figura 91).

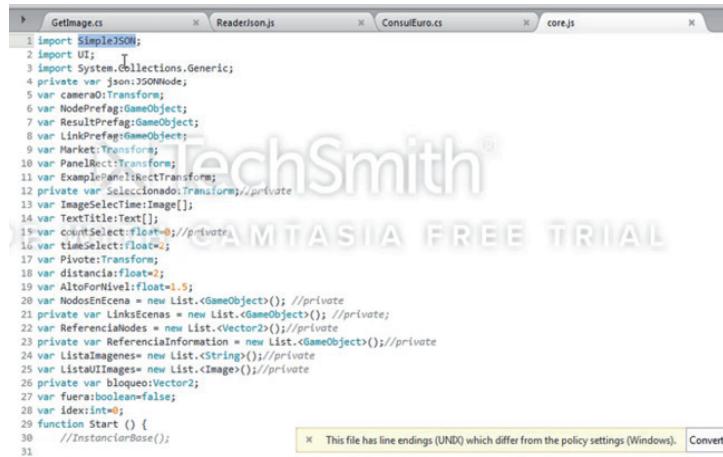
Figura 91. Core (*script*) habilitado al inicio del aplicativo



Fuente: elaboración propia

A continuación se describirán todos los componentes que hacen parte del *script* principal y más importante del aplicativo con el fin de ofrecer el mayor entendimiento frente a las librerías, los atributos y los métodos usados para este, y en general en toda la mecánica que conforma este software (figura 92).

Figura 92. Atributos Core.js.



```
1 import SimpleJSON;
2 import UI;
3 import System.Collections.Generic;
4 private var json:JSONNode;
5 var camera0:Transform;
6 var NodePref:GameObject;
7 var ResultPref:GameObject;
8 var LinkPref:GameObject;
9 var Market_Tex;
10 var PanelRect:RectTransform;
11 var ExamplePanelRect:RectTransform;
12 private var CollectedNode:Transform; //private
13 var ImageSelectImage:Image[];
14 var TextTitle:Text[];
15 var CountSelect:float; //private
16 var timeSelect:float;
17 var Pivot:Transform;
18 var distancia:float;
19 var AltoNivel:float=1.5;
20 var NodosEnCena = new List<GameObject>(); //private
21 private var LinksEnCena = new List<GameObject>(); //private;
22 var ReferenciaNodos = new List<Vector2>(); //private
23 private var ReferenciaInformacion = new List<GameObject>(); //private
24 var ListImagenes= new List<String>(); //private
25 var ListallImages= new List<Image>(); //private
26 private var bloqueo:Vector2;
27 var fuerza:boolean=false;
28 var index:Int=0;
29 function Start () {
30     //InstanciarBase();
31 }
```

This file has line endings (UNIX) which differ from the policy settings (Windows). [Convert!](#)

Fuente: elaboración propia

Librerías

Las librerías usadas en el *script* Core corresponden a:

```
import SimpleJSON;
import UI;
import System.Collections.Generic;
```

Pueden consultarse en: SimpleJSON, UI, System.Collections.Generic.

Atributos

Variable json

```
private var json:JSONNode;
```

Teniendo incluida la librería SimpleJson en el proyecto se crea una variable llamada json, que será la encargada de almacenar y procesar el archivo data.

Variable camera0

```
var camera0:Transform;
```

Hace referencia a un Transform de la cámara que se expone en el inspector con el nombre de camera0 (entiéndase la posición, rotación y escala). Esta variable se utilizó para la versión Vora VR, específicamente los *raycast*, cuando se estaba trabajando

el movimiento de la cámara con el de la cabeza. Se utiliza para tener una instancia del Transform de la cámara VRPlayer.

Variable NodePrefag

```
var NodePrefag:GameObject;
```

La anterior es una instancia que se expone en el inspector de un GameObject. Es la instancia de la esfera o de un nodo en la jerarquía que se clonará de acuerdo con la selección del usuario y el nodo que escoja. Es la instancia del prefab “Node”.

Variable ResultPrefag

```
var ResultPrefag:GameObject;
```

Esta es una instancia que se expone en el inspector, a lo largo del código es usada de puente para copiar los resultados del Json al panel específico. Es una instancia del prefab PanelInfoPrefab.

Variable LinkPrefag

```
var LinkPrefag:GameObject;
```

Es una variable que sirve de instancia y se expone como pública en el inspector. A lo largo del *script* es usada para instanciar los enlaces o links (padre-hijo) y los objetos en el arreglo. Hace una instancia al prefab Link.

Variable Market

```
var Market:Transform;
```

Instancia en la mayoría de casos de un transform parent, se utiliza para tener referencia en la posición del nodo parent y es empleada también como referencia al Transform y al momento de hacer la animación cuando los nodos se despliegan.

Variable PanelRect

```
var PanelRect:Transform;
```

Es una instancia de un Transform que se expone en el inspector e instancia PanelInfo.

Variable Seleccionado

```
private var Seleccionado:Transform;
```

Es una variable privada y corresponde a un Transform del nodo seleccionado. A partir de esta se carga la información indicada a los paneles según la esfera seleccionada por el usuario, también se cargan los nodos hijos y se ejecuta la animación de

aparecer y desaparecer las anteriores referencias de nodos. Esta variable almacena la opción del nodo seleccionado por el usuario.

Variable ImageSelectTime

```
var ImageSelectTime:Image[];
```

Array de imágenes usada en la aplicación. Se utiliza para hacer el efecto cuenta atrás, es el círculo que se va llenando mientras incrementa el tiempo de escoger el seleccionado.

Variable TextTitle

```
var TextTitle:Text[];
```

Es una instancia a un Text. Está expuesto en el inspector, se utiliza como una variable para almacenar una lista de cadenas de texto de la clase UI.Text.

Variable countSelect

```
var countSelect:float=0;
```

Variable float utilizada en la función CuentaAtras(). Está expuesta en el inspector.

Variable timeSelect

```
var timeSelect:float=2;
```

Variable flotante inicializada en dos, utilizada para CuentaAtras(). Se emplea para calcular el porcentaje del temporizador.

Variable Pivot

```
var Pivot:Transform;
```

Es una variable que instancia a un transform de un nodo padre con el objetivo de establecer la misma distancia entre nodos (padre-hijo) respecto al nodo central (padre). Se encuentra expuesta en el inspector y puede variar modificando *distancia* en el inspector.

Variable distancia

```
var distancia:float=2;
```

Variable flotante inicializada en dos, ayuda a determinar la posición local del transform de Pivot. Se encuentra expuesta en el inspector y ayuda a variar Pivot.

Variable AltoForNivel

```
var AltoForNivel:float=1.5;
```

Aunque en *distancia* se puede visualizar la longitud en tiempo real entre los nodos (padre-hijo), alto por nivel es un multiplicador de la distancia del Pivote. Por defecto está definida en 1,5 y modificarse en el inspector.

Variable NodosEnEcena

```
var NodosEnEcena = new List.<GameObject>();
```

Se trata de una variable que almacena una lista de nodos (nodeClone), los cuales van apareciendo de acuerdo con la selección. Este *array* va guardando cada uno de los nodos con su estructura, se resetea e inicia de nuevo según cada selección. En el inspector muestra la suma de los nodos que se visualizan en escena.

Variable LinksEcenas

```
private var LinksEcenas = new List.<GameObject>();
```

Similar a NodosEnEcena, LinksEcenas almacena los enlaces que vayan apareciendo (padre-hijo) según surjan los nodos en una lista.

Variable ReferenciaNodes

```
var ReferenciaNodes = new List.<Vector2>();
```

Lista de vectores X, Y que almacena las referencias de los nodos mientras se van seleccionando nuevos, con el fin de tener una migaja de pan del camino entre los nodos que se han escogido del nodo en el que se empezó y terminó.

Variable ReferencialInformation

```
private var ReferencialInformation = new List.<GameObject>();
```

Se trata de una variable privada que guarda una lista de GameObjects. Almacena toda la información que se visualiza en PanelInfo. Por lo tanto, si de un nodo o esfera seleccionada Europeana retorna diez resultados, esta variable almacenará diez prefabs de PanelInfoPrefab(Clone).

Variable ListalImagenes

```
var ListaImagenes= new List.<String>();
```

Esta lista almacena, de acuerdo con los resultados obtenidos de Europeana, las direcciones web de todas las imágenes relacionadas con el término de consulta. Si por ejemplo se tienen diez resultados de una consulta y se encuentran diez imágenes dis-

tintas, la lista guardará los *strings* de las url de las imágenes en un formato similar al encontrado en: http://europeanastatic.eu/api/image?uri=http%3A%2F%2Fwww.doiserbia.nb.rs%2Fimages%2Fdoi%2F14509814_0.jpg&size=large&type=TEXT

Variable ListaUIImages

```
var ListaUIImages= new List.<Image>();
```

A diferencia de ListaImagenes, ListaUIImages almacena los objetos de interfaz IU Image de todas las url que guardó Listaimagenes, por lo que si tengo diez url de Listaimagenes, obtendré diez objetos de imagen en ListaUIImages.

Variable bloqueo

```
private var bloqueo:Vector2;
```

Sirve para, con base en los resultados fijados en los paneles, fijar un *anchor* con el fin de determinar las zonas editables.

Variable fuera

```
var fuera:boolean=false;
```

Bandera que permite definir si Europeana y sus servicios web se encuentran online u offline.

Variable index

```
var index:int=0;
```

Variable que sirve en las diferentes iteraciones del código para generar iteraciones o índices de listas.

Métodos

Funcion Start()

```
functionStart () {  
    json=gameObject.GetComponent (ReaderJson) .GetJson ();  
    InstanciarBase ();  
}
```

Esta función se inicia una vez cargado el *script* por primera vez. La variable json definida en los atributos almacena la lectura del JSON que se encuentra en data (*resources*) mediante el método ReaderJson de la librería SimpleJson. Luego se ejecuta la función InstanciasBase().

Función InstanciarBase()

```
function InstanciarBase () {

    var nodeClone:GameObject=Instantiate(NodePrefag, new Vector3 (0,0,0),
    Quaternion.identity);

    nodeClone.transform.parent = Market.transform; // Se inicializa la
    posición del nodo principal, "id", "name", "data", "description", "chil-
    dren"("Count" -> numero de hijos), "children" (Información de los hijos)

    nodeClone.GetComponent (Node) .SetNivel (1);

    nodeClone.GetComponent (Node) .SetId 'js' n['id'];

    nodeClone.GetComponent (Node) .SetName 'json' 'name');

    nodeClone.GetComponent (Node) .SetDescription 'json' 'd'ta' ] ['de-
    scr'ption']);

    nodeClone.GetComponent (Node) .SetChildren 'json['ch'ldren'].Count);

    nodeClone.GetComponent (Node) .SetJson 'json['ch'ldren']);

    nodeClone.GetComponent (Node) .GetTarget (Market.transform.position);

    varlinkClone:GameObject=Instantiate(LinkPrefag,Pivote.transform.posi-
    tion,Quaternion.identity);

    //Iniciar demas componentes

    ResetVars();

    NodosEnEscena.Add (nodeClone);

    LinksEscenas.Add (linkClone);

    ReferenciaNodes.Add (new Vector2 (0,1));

}
```

En InstanciarBase se inicializan todas las variables principales, incluida nodeClone, que se trata del nodo principal al cual se le cargan todas las variables del json. Al ser el nivel principal *SetNivel* se establece en 1, asimismo se carga información del archivo data como el "id", "name", "data", "description", "children"("Count" -> número de hijos), "children" (información de los hijos).

Luego se inicializan los demás componentes *ResetVars()*, se añade el nodo principal nodeClone a la lista NodosEnEscena, se junta el link principal linkClone de los hijos en la lista LinksEscenas, y para tener referencia de la ruta se añade el vector inicial a ReferenciaNodes.

Función ResetVars()

```
private function ResetVars() {  
    Seleccionado=null;  
    Se""ext("");  
    SetSelect(0);  
    countSelect=0;  
}
```

Es la función que resetea toda la información para que cada vez que se ingresa a un nuevo nodo se comience de cero, arrojando en su totalidad los nuevos resultados. Asigna a la variable *Seleccionado* *null*, por lo que se comprende que el usuario no ha escogido ninguna opción; *setText*, *setSelect* y *countSelect* también son reseteadas o reinicializadas.

Función SetText()

```
private function SetText(a:String) {  
    TextTitle[0]""ext=""a;  
}
```

Esta función almacena el parámetro, que es una cadena de texto *String* en la posición 0 del *array* *TextTitle[]*. Es utilizada para mostrar la selección del *nodeClone* en un *layer* de la GUI; en *ResetVars()* se emplea específicamente para reiniciar su valor.

Función SetSelect()

```
private function SetSelect(a:float) {  
    ImageSelectTime[0].fillAmount=a;  
}
```

Inicializa la función *fillAmount* propia de Unity a un valor que dependerá del estado de la cuenta atrás que se verá más adelante. Para este caso solo se asigna a la lista *ImageSelectTime* en su posición cero un valor flotante. Para *ResetVars()*, como es de esperarse, este inicia en cero.

Función FixedUpdate ()

```
function FixedUpdate () {  
    if(fuera){  
        consultarEuro"eana""algo");  
        fuera=false;  
    }  
}
```

Se trata de una función Update en Unity y se encarga de lanzar ConsultarEuropeana(). Es una función indispensable que permite verificar la viabilidad de la fuente; con una consulta arbitraria, se cerciora de la conexión con el repositorio de datos mediante un servicio que valida el funcionamiento con el repositorio digital Europeana. En este paso es fundamental usar la función ConsultarEuropeana, que en sí misma es la acción de verificación. Dentro de ella procede automáticamente el borrado de los resultados, de tal forma que reiniciarían el panel de búsqueda.

Función ConsultarEuropeana()

```
private function ConsultarEuropeana(a:String){  
    DeleteResults();  
    gameObject.SendMe"eage ("search",a);  
    gameObject.SendMe"eage ("Cnsuta");  
}
```

El objetivo de esta función es realizar una consulta arbitraria para comprobar el estado de Europeana y posteriormente efectuar la consulta. Dentro de esta función se procede a la llamada de las funciones dentro del script ConsulEuro, “Search” y “Consulta”, antes habiendo ejecutado DeleteResults();.

Función DeleteResults()

```
private function DeleteResults(){  
    for(var i=0;i<ReferenciaInformation.Count;i++){  
        Destroy(ReferenciaInformation[i]);  
    }  
    ListaImagenes.Clear();  
    ListaUIImages.Clear();
```

```
ReferenciaInformation.Clear();  
  
index=0;  
  
PanelRect.GetComponent(RectTransform).offsetMin=newVector2(PanelRect.  
GetComponent(RectTransform).offsetMin.x,0);  
  
}
```

Dentro de esta función se procede al borrado de los resultados, de tal forma que reiniciarían el panel de búsqueda, por lo tanto se eliminan los resultados que existan previamente en los paneles (GUI). Por lo mismo, en la lista de imágenes ListaImagenes, se ejecuta un *Clear()* para limpiar la lista, lo mismo sucede en las imágenes en GUI ListaUIImages. Finalmente, en la información de referencia ReferenciaInformation se borra todo lo relacionado con una búsqueda previa, suprimiendo la información de la lista.

La variable *index* se establece en cero y se resetean los límites para PanelRect, modificando su *offsetMin*.

Función SetJson()

```
public function SetJson(json:JSONNode) {  
  
    //Ajustar el largo del panel  
  
    var AjustPanel=0;  
  
    if(json.Count>3){  
  
        var dd=json.Count-3;  
  
        AjustPanel=dd*114;  
  
        PanelRect.GetComponent(RectTransform).offsetMin=newVector2(PanelRect.  
GetComponent(RectTransform).offsetMin.x,-AjustPanel);  
  
    }  
  
    var Referenc=57;  
  
    //Cargar el panel  
  
    for(var i=0;i<json.Count;i++){  
  
        var cuadro:GameObject=Instantiate(ResultPrefag, Market.transform.  
position, Quaternion.identity);  
  
        cuadro.transform.parent = PanelRect.transform;  
  
        cuadro.GetComponent(RectTransform).offsetMin = new Vector2(1, 1);  
  
        cuadro.GetComponent(RectTransform).offsetMax = new Vector2(0, 1);  
  
        cuadro.GetComponent(RectTransform).sizeDelta=new Vector2(0, 113); //
```

```

heind

    cuadro.GetComponent(RectTransform).anchoredPosition=new Vector2(0,-Referenc);

    cuadro.GetComponent(PanelInfo).SetTitle(js"n[i] ["title""[0]+""");

    cuadro.GetComponent(PanelInfo).SetContenido(js"n[i] ["dcDescr"p-
tition""[0]+""");

    cuadro.GetComponent(RectTransform).localScale = new Vector3(1f,1f,1f);

    cuadro.GetComponent(RectTransform).localPosition = new Vector3(0, cuadro.GetComponent(RectTransform).localPosition.y, 0);

    cuadro.GetComponent(RectTransform).localRotation = new Quaternion.Euler(0, 0, 0);

    ////////// Esto es para lo dimágenesagenes y trae la plavisialisacion
    " //Debug. "og("SUPER"CC "+json["]["edmPreview"] [0]);

    /////////////////////////////////
    ListaImagenes.Add(json[""]["edmPreview"] [0]);

    ListaUIImages.Add(cuadro.GetComponent(PanelInfo).GetComImage() );

    Referenc+=114;

    ReferenciaInformation.Add(cuadro);

}

bloqueo=PanelRect.GetComponent(RectTransform).anchoredPosition;

LoadMinImages();

}

```

La función pública *SetJson* es invocada desde *SendImage* y tiene como parámetro de entrada ‘json’, un atributo de tipo *JSONNode* que viene de esta función. Cada nodo de ‘json’ tiene referencia a un título, una descripción y una imagen.

Lo primero que se hace en la sentencia *if* es ajustar el panel o “panelInfo” de acuerdo con el número de resultados que haya obtenido la búsqueda con la finalidad de que verticalmente al realizar el *scroll* todos los resultados se puedan visualizar.

En la sentencia de iteración *for* se itera por el número de nodos que se encuentran en *json* (el parámetro de entrada). Por cada nodo bloque que haya retornado la consulta se crea un *cuadro*, este es un *GameObject* que corresponde a un subpanel de *panelinfo*, eso quiere decir: todos los cuadros que conforman la lista de *PanelInfo*. En

cada *cuadro* se configuran límites máximos y mínimos, *anchor*, se asigna un título, una descripción, unas posiciones y unas rotaciones locales.

Al leer cada nodo de ‘json’, que corresponde a la respuesta de la consulta, se extraen los datos de interés según las etiquetas del texto json returned. Por lo mismo el título de cada *cuadro* vendrá dado de acuerdo con la etiqueta “*title*” y la descripción conforme con la etiqueta “*dcDescription*”.

Dentro de cada nodo o bloque de información de ‘json’ viene también una imagen. Esta, tal y como se observa se almacena en un *array* llamado ListaImagenes, en el cual se guardan las url que corresponden a la etiqueta “*edmPreview*” de ‘json’. Asimismo se añaden a una referencia de la representación de la imagen en GUI, agregando el cuadro a ListaUIImages.

Al finalizar el bucle se incrementan referencias como *Referenc*, con el fin de continuar con el siguiente *cuadro*, además se restablece el *bloqueo* para fijar el *anchoredPosition* por *cuadro*.

Las consultas de las imágenes se tienen que realizar de manera diferente, ya que se necesita una corutina por cada una de ellas. No obstante, contando que ListaImagenes tiene la lista de las url de las imágenes, y ListaUIImages la referencia en el panel, se procede a ejecutar LoadMinImages().

Función LoadMinImages()

```
private function LoadMinImages() {
    if(idex<ListaImagenes.Count) {
        if(ListaImagenes[idex]) {
            gameObjec".SendMess"g"""/SearchImg"",""+ListaImagenes[idex]);
            gameObjec".SendMessa"e("ConsultaImg");
        }else{
            idex++;
            LoadMinImages();
        }
    }else{
        Debug.Log"""/Termino esto");
    }
}
```

Se trata de una función recursiva que es invocada desde *SetJson()*. Trae los métodos “SearchImg()” y “ConsultaImg()” del *script* GetImage. Esta función se encarga de materializar en *sprites* las url almacenadas en ListaImagenes.

Funcion SetImage()

```
private function SetImage(a:Sprite) {  
    if(ListaImagenes.Count!=0) {  
        ListaUIImages[idex].sprite=a;  
        idex++;  
        LoadMinImages();  
    }  
}
```

Esta función es invocada desde el *script* GetImage a partir del método SendImage y recibe como parámetro un *sprite*. La función se encarga de almacenar los *sprites* en la lista ListaUIImages[].

Hay que recordar que la lista ListaImages[] contiene las url de las imágenes de la consulta de un término de Europeana. Esa lista fue procesada mediante la invocación de un método en el *script* GetImage; finalmente desde este *script* se vuelve a hacer un llamado a Core, pero ahora para almacenar las url convertidas en *sprites* en la lista ListaUIImages[].

Función OnTriggerStayYO (other : Collider)

```
function OnTriggerStayYO (other : Collider) {  
    if(other.gameObject.layer==8) {  
        //Opcion de ampliar y crear otro Nivel  
        CuentaAtrai();  
        if(!Seleccionado) {  
            Seleccionado=other.transform;  
        }  
        MostrarNombre();  
    }  
    }else if(other.gameObject.layer==9) {  
        //ResetVars();
```

```
Scrole(false);  
  
}else if(other.gameObject.layer==10){  
  
    Scrole(true);  
  
}else if(other.gameObject.layer==11){  
  
    Seleccionado=other.transform;  
  
    MostrarData();  
  
}  
  
}
```

Esta función es un disparador de eventos que se ejecuta cada vez que el *collider* se encuentra en contacto con algún objeto o *layer*.

Referencias bibliográficas

- Agencia de Noticias UN. (2015, 9 de junio). Los colombianos no visitan sus museos. *Unimedios-Universidad Nacional de Colombia*. <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/los-colombianos-no-visitan-sus-museos.html>
- Aguilar Cuesta, A. (2018, 21 de marzo). *El reto de museos y aulas ante la realidad virtual*. <https://www.universidadviu.es/reto-museos-aulas-ante-la-realidad-virtual/>
- Alva, M. (2005). *Metodología de Medición y Evaluación de la Usabilidad en Sitios Web Educativos* (Tesis de doctorado, Universidad de Oviedo). Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=19823>
- Álvarez, M., Barchini, G., Díaz, M. y Chanferoni, L. (2008). *Sistemas de información basados en Ontologías. Un área emergente*. Sedici. Recuperado de: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/20600/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Alwani, R. (2016, 14 de julio). *Pokemon Go for iPhone and Android Updated*. Gadgets 360. Recuperado de: <http://gadgets.ndtv.com/apps/news/pokemon-go-101-update-fixes-crashing-and-privacy-concerns-860162>
- Avila-Buitrago, G. (2016). *InteractBCI: Adaptación de Técnicas de Interacción de HCI enfocada a Interfaces Cerebro-Computador* (Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana). Recuperado de: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/21197>
- Ayala, D. (2017, 12 de junio). *Realidad virtual: ¿Una tecnología únicamente para gamers?* Blog Conexión Central, Universidad Central. Recuperado de: <http://www.conexioncentral.com/blog/realidad-virtual-una-tecnologia-unicamente-para-gamers/>
- Azuma, R., Baillot, Y., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S. y MacIntyre, B. (2001). Recent advances in augmented reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(6), 34-47.

- Baldassarri, S. (2013, octubre). *Diseño y Evaluación de Interfaces*. Slideshare. Recuperado de: http://webdiis.unizar.es/~SANDRA/MasterDEI/DEI_Paradigmas_2013-14.pdf
- Bañuelos, J. y Carsi, J. (2016). *Modelo funcional para Estereoscopía remota mediante un visor de realidad virtual* (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México). Recuperado de: <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/9890>
- Barchini, G., Álvarez, M. y Herrera, S. (2006). Sistemas de información: nuevos escenarios basados en Ontologías. *Journal of Information Systems and Technology Management*, 3(1), 2-18. Recuperado de: <https://www.scielo.br/pdf/jistm/v3n1/02.pdf>
- Barrios, L. y Galeano, I. (2014). *Interfaces Hombres-Máquina*. Universidad Católica Nuestra Señora de la Asunción. Facultad de Ciencias y Tecnología. Teoría y Aplicación de la Informática 2. Recuperado de: <http://jeuazarro.com/wp-content/uploads/2014/10/HMI.pdf>
- Bautista, L. y Archila, F. (2012). Tareas fundamentales en la realidad aumentada, un nuevo enfoque. *Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas*, 1(19), 55-63. Recuperado de: http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_40/recursos/04_v19_24/revista_19/09022012/09.pdf
- Bekele, E., B. D., Peterman, J., Park, S. y Sarkar, N. (2017). Design of a Virtual Reality System for Affect Analysis in Facial Expressions (VR-SAAFE); Application to Schizophrenia. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(6), 739-749. Recuperado de: DOI: 10.1109/TNSRE.2016.2591556
- Bibo Project. (2013). *The Bibliographic Ontology*. (Bibo). Recuperado de: <https://lov.okfn.org/dataset/lov/vocabs/bibo>
- Blancarte, O. (2014, 21 de Julio). *Patrón de diseño Modelo Vista Controlador (MVC)*. Oscar Blancarteblog. Recuperado de: <https://www.oscarblancarteblog.com/2014/07/21/patron-de-diseno-modelo-vista-controlador-mvc/>
- Bowman, D. (2013). *3D User Interfaces*. En: Interaction Design Foundation (Ed.) (Capítulo 32) *The Encyclopedia of Human-Computer Interaction* (2a Edición). Recuperado de: <https://www.interaction-design.org/literature/book/the-encyclopedia-of-human-computer-interaction-2nd-ed/3d-user-interfaces>
- Bustos, G. (2015). *Prototipo de un sistema de integración de recursos científicos, diseñado para su funcionamiento en el espacio de los datos abiertos enlazados para mejorar la colaboración, la eficiencia y promover la innovación en Colombia* (Tesis de Maestría,

- Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de: http://bdigital.unal.edu.co/50580/1/MSc_2702295_V50.pdf
- Canales, L. y Pariona, F. (2017). *Medieval Combat Con Realidad Virtual* (Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas). Recuperado de: http://repositorioacademico.upc.edu.pe/upc/bitstream/10757/621891/5/Canales_LL.pdf
- Carreño, P., y Lozano, J. (2014, 12 de Noviembre). *Ambientes Virtuales de Aprendizaje 3D* (Ponencia). Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwiX78zTntzqAhXMct8KHXJiDqQQFjAAegQIAhAB&url=https%3A%2F%2Fwww.oei.es%2Fhistorico%2Fcongreso2014%2Fmemoriactei%2F963.pdf&usg=AOvVaw2UoxzxOFTzFdilhc1s_-7a
- CAVA. (2016, 31 de agosto- 2 de septiembre). Recursos educativos aumentados una oportunidad para la inclusión (Ponencias). Cartagena de Indias, Colombia. Recuperado de: <http://cava2016.com/wp-content/uploads/2016/10/REAumentados.pdf>
- Centro ISYS (2012, septiembre). *Técnicas o estilos de interacción*. Slideshare. Recuperado de: <http://www.ciens.ucv.ve:8080/genasig/sites/interaccion-humano-comp/archivos/clase10-IHCII2012-TecnicasInteraccion.pdf>
- Chen, K., Sesto, M., Ponto, K., Leonard, J., Mason, A., Vanderheiden, G. y Radwin, R. (2017). Use of Virtual Reality Feedback for Patients with Chronic Neck Pain and Kinesiophobia. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 25(8), 1240-1248. Recuperado de: DOI: 10.1109/TNSRE.2016.2621886
- Chen, S. y Williams, M. A. (2008). Learning personalized ontologies from text: A review on an inherently transdisciplinary area. En: R. A. González, N. Chen y A. Dahanayake, *Personalized Information Retrieval and Access: Concepts, Methods and Practices* (pp. 1-29). Hershey, PA: Information Science Reference.
- Cherbakov, L., Brunner, R., Smart, R. y Lu, C. (2009, 30 de junio). *Introducción a las oportunidades y tecnologías*. IBM Developer Works. Recuperado de: <https://www.ibm.com/developerworks/ssa/library/ws-virtualspaces/ws-virtualspaces-pdf.pdf>
- Citecmat. (2018). ¿Qué es AR-MAT 2.0? Citecmat Tecnología Educativa. Recuperado de: <https://citecmat.wixsite.com/armat/metodologia-1>
- Citecmat. (2020). AR-MAT Geometría Aumentada Interactiva. Citecmat Tecnología Educativa. Recuperado de: <https://www.citecmat.com/copia-de-ar-mat-2-0>

Copadata. (2008). *¿Qué es una HMI?* Copadata. Recuperado de: <https://www.copadata.com/es/productos/zenon-software-platform/visualizacion-control/que-significa-hmi-interfaz-humano-maquina-copa-data/>

De la Horra, I. (2017, 27 de junio). *AR-MAT 2.0: “Geometría Virtual Interactiva”*. Asociación Espiral, Educación y Tecnología. Recuperado de: <http://aumentame/2017/06/27/ar-mat-2-0-geometria-virtual-interactiva/>

De la Rosa, F., Duque, C. y Hernández, J. (2013). Propuesta de Interacción Multimodal: Caso de estudio navegación en mapas. *Revista Colombiana de Computación*, 4(2). Recuperado de: <https://doi.org/10.29375/25392115.2019>

De la Villa, M. G. (2011). ¿De verdad sabes lo que quieras buscar? Expansión guiada visualmente de la cadena de búsqueda usando ontologías y grafos de conceptos. *Procesamiento del Lenguaje Natural*, 47, 21-29.

Díaz, S. (2016). *Sistema de localización mediante tecnología RFID*. Master en Ingeniería de Telecomunicación. Universidad Oberta de Cataluña. Recuperado de: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/45606/8/sdiazmolTFM-0116memoria.pdf>.

Doerr, M., Gradmann, S., Hennicke, S., Isaac, A., Meghini, C. y Van-de-Sompel, H. (2010, 10 de agosto). *Modelo de Datos de Europeana (EDM)*. World Library and Information Congress: 76th IFLA General Conference and Assembly, Gotemburgo, Suecia. Recuperado de: <https://www.ifla.org/past-wlic/2010/149-doerr-es.pdf>

Domínguez Figaredo, D. (2011). Conceptualización y prospectiva de los mundos virtuales como escenarios formativos. *Revista Española de Pedagogía*, 249, 305-321. Recuperado de: <https://revistadepedagogia.org/en/lxix-en/no-249/conceptualizing-and-foresight-of-virtual-worlds-as-learning-scenarios/101400003091/>

e-ISEA y Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. (2008). Internet 3D. Análisis prospectivo de las potenciales aplicaciones asociadas a los mundos virtuales. Madrid. Recuperado de: http://www.iseamcc.net/eISEA/Vigilancia_tecnologica/informe_3.pdf

Educación 3.0. (2014). *Espacios inmersivos e interactivos para Educación*. Recuperado de: <https://www.educaciontrespuntocero.com/novedades2/futuro/espacios-inmersivos-e-interactivos-para-educacion/>

Ezzell, Z., Fishwick, P. y Cendan, J. (2011). Linking simulation and visualization construction through interactions with an ontology visualization. *Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference (WSC)*, 2921-2932. Recuperado de: DOI: 10.1109/WSC.2011.6147995

- Fayerwayer.com (2010). *HIRO III: Interfaz robot para “sentir” los objetos observados en una pantalla 3D*. Fayerwayer. Recuperado de: <https://www.fayerwayer.com/2010/07/hiro-iii-interfaz-robot-para-sentir-los-objetos-observados-en-una-pantalla-3d/>
- Felipe, V. (2010). La distopía de las relaciones interpersonales. *Revista ícono 14*, 8(2), 118-135. Recuperado de: <https://icono14.net/ojs/index.php/icono14/article/view/271/148>
- Fernández, J. (2009, 11 de Noviembre). *Caminando hacia la Web Semántica*. Slide-share. Recuperado de: <https://www.w3c.es/Eventos/2009/Talleres/Murcia/Presentaciones/jesualdo.pdf>
- Fernández, Y. y Díaz, Y. (2012). Patrón Modelo-Vista-Controlador. *Telemática. Revista Digital de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones*, 11(1), 47-57. Recuperado de: <http://revistatelematica.cujae.edu.cu/index.php/tele/article/view/15>
- Finat Codes, J. M., Muñoz, M., Martin, P., Valverde, B., Martínez, R., Delgado Del Hoyo, F. y Martínez, M. (2010). Una aproximación semántica a sistemas de información 3D para la resolución de problemas de accesibilidad en patrimonio construido. *ACE Architecture, City and Environment*, 5(13), 91-110. Recuperado de: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/9200/ACE_13_SE_13.pdf?sequence=7&isAllowed=y
- Fombona, J., Pascual, M. y Gonzalez, M. (2017). M-learning and Augmented Reality: A Review of the Scientific Literature on the WoS Repository. *Comunicar. Media Education Research Journal*, 25(52), 63-71. Recuperado de: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1169211.pdf>
- Gaona, P., Fermoso, A. Sánchez, S. y Gaona, E. (2014). Visualization techniques through search interfaces in learning object repositories. *Tecnura*, 18(42), 114-125.
- Gaona, P. y Sanchez, S. (2016). An exploratory study of user perception in visual search interfaces based on SKOS. *Knowledge Organization*, 43(4), 217-238.
- Gaona, P., Fermoso, A. y Sanchez, S. (2017). Exploring the relevance of europeana digital resources: preliminary ideas on europeana metadata quality. *Revista Interamericana de Bibliotecología*, 40(1), 59-69. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rib.v40n1a06>
- Gaona, P., Gordillo, K. y Martin, D. (2016). Navigation and visualization of knowledge organization systems using virtual reality glasses. *Ieee America Latina*, 2915-2920.

- Gaona, P., Montenegro, C. y Gaona, E. (2015). Análisis de interfaces navegacionales a partir del uso de esquemas de representación de conocimiento. *Ingeniería y Competitividad*, 17(2), 65-76.
- Gaona, P., Montenegro, C. y Martin, D. (2017). Trends and challenges of visual search interfaces in digital libraries and repositories. *Electronic Library*, 35, 69-98.
- García-Blanco, J. (2002). Virtualidad, realidad, comunidad. Un comentario sociológico sobre la semántica de las nuevas tecnologías digitales. *Papers*, (68), 81-106. Recuperado de: <https://ddd.uab.cat/pub/papers/02102862n68/02102862n68p81.pdf>
- García, A. (2004). Instrumentos de representación del conocimiento: tesauros versus ontologías. *Anales de Documentación*, 7, 79-95. Recuperado de: <http://revistas.um.es/analesdoc/article/view/1691/1741>
- García, E. S. y Sicilia, M. A. (2003). *Designing Ontology-Based Interactive Information Retrieval Interfaces*. Universidad de Alcalá. Recuperado de: http://www.cc.uah.es/msicilia/papers/Garcia_HCISWWA_03.pdf
- Garmendia, I. (2016, 12 de febrero). *Interfaz de Usuario: Historia de la interfaz hombre máquina*. Oreka i.t. Recuperado de: <http://orekait.com/blog/interfaz-de-usuario-historia-de-la-interfaz-hombre-maquina/>
- Garrido, M. (2013). *Aplicación de técnicas de inteligencia artificial para el desarrollo de interfaces de búsqueda de información* (Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid). Recuperado de: <https://eprints.ucm.es/23903/1/T35000.pdf>
- GeaIntec. (2018). *Elaboración de metadatos*. Sistemas de Información Geográfica. Recuperado de: <http://www.geaintec.cl/servicios/informacion-sig/captura/elaboracion-de-metadatos/>
- Gertrudix Barrio, M. (2018). *Estrategias y técnicas de composición y diseño visual*. Recuperado de: <https://manuelgertrudix.atavist.com/diseno-visual>
- Gilchrist, A., Kibby, P. y Mahon, B. (2000). *Taxonomies for business: access and connectivity in a wired world*. London: TFPL.
- González, M., Granollers, T., Pascual, A. y Lorés, J. (2008). Testing Website Usability in Spanish-Speaking Academia through Heuristic Evaluation and Cognitive Walkthroughs. *Journal of Universal Computer Science*, 14. 10.3217/jucs-014-09-1513. Recuperado de: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/75394/CONICET_Digital_Nro.e9b979c5-0dbd-4485-8d93-9d188de6a7d6_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- González, M., Lorés, J., Pascual, A. y Granollers, T. (2006). Evaluación heurística de sitios web académicos latinoamericanos dentro de la iniciativa UsabAIPO.

- En: M. Redondo, C. Bravo, M. Santos y M. Ortega (Eds.). *Diseño de la interacción persona-ordenador: tendencias y desafíos* (pp. 145-157). Editorial Lince Artes Gráficas. Recuperado de: <https://aipo.es/articulos/4/16.pdf>.
- González, Y. (2006). Las ontologías en la representación y organización de la información. *ACIMED*, 14(4). Recuperado de: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352006000400008&lng=es&tlang=es.
- Grandi, J. (2017, 18-22 marzo). Design of Collaborative 3D User Interfaces for Virtual and Augmented Reality. *IEEE Virtual Reality*, 419-420.
- Grandi, J., Berndt, I., Debarba, H., Nedel, L. y Maciel, A. (2017, 18-19 de marzo). *Collaborative Manipulation of 3D Virtual Objects in Augmented Reality Scenarios using Mobile Devices* (Ponencia). Los Ángeles.
- Gruber, T. (1993). Toward Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. (Technical Report KSL-93-04, Knowledge Systems Laboratory). Stanford University. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.89.5775&rep=rep1&type=pdf>
- Guarino, N. (1998). Formal Ontology in Information Systems. IOS Press. Recuperado de: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.29.1776>
- Haslam, O. (2011, 8 de marzo). *First Retail Kinect App for Windows 7 Detailed on Video*. Redmon Pie. Recuperado de: <http://www.redmondpie.com/kinect-app-for-windows-7-detailed-on-video/>
- Herrera, J., Gaona, P. y Gordillo, K. (2017). A View of the Web of Data. Case Study: Use of Services CKAN. *Inginería*, 22(1), 111-124. Recuperado de: <https://revisitas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/reving/article/view/10542/12408>
- Hearst, M. y Karadi, C. (1997). Cat-a-Cone. Proceedings of the 20th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval-SIGIR. Recuperado de: doi:10.1145/258525.258582
- Hettinger, L. J. y Haas, M. (2003). Introduction. En: L. Hettinger y M. Haas (Eds.), *Virtual and Adaptive Environments. Applications, Implications, and Human Performance Issues* (pp. 1-19). Routledge: London.
- Freina, L. O. y Ott, M. (2015). A Literature Review on Immersive Virtual Reality in Education: State Of The Art and Perspectives. Recuperado de: https://pdfs.semanticscholar.org/e93b/38f3892c7357051f39be6b6574f298a3b72a.pdf?_ga=2.98219292.2095260947.1595271061-2047290038.1595271061

Future Converged (2007, 25 de septiembre). *Wearable Computing*. Future Converged. <http://www.futureconverged.com/Home/articleType/ArticleView/articleId/484/Wearable-Computing.aspx>

Heradio, R., Fernández, D., Cabrerizo, F. y Herrera, E. (2012). A review of quality evaluation of digital libraries based on users' perceptions. *Journal of Information Science*, 38, 269-283. Recuperado de: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0165551512438359>.

Iannella, R. y McKinney, J. (2014, 22 de mayo). *vCard Ontology-for describing People and Organizations*. W3C. Recuperado de: <https://www.w3.org/TR/vcard-rdf/>

Ibáñez, M., Di-Serio, A., Villarán-Molina, D. y Delgado-Kloos, C. (2016). Support for Augmented Reality Simulation Systems: The Effects of Scaffolding on Learning Outcomes and Behavior Patterns. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 9(1), 46-56. Recuperado de: [10.1109/TLT.2015.2445761](https://doi.org/10.1109/TLT.2015.2445761)

Incera, J. (2007). *Nuevas Interfaces y sus Aplicaciones en las Tecnologías de Información y Comunicaciones* (Reporte técnico 1). Laboratorio de Redes Avanzadas. Universidad de Papaloapan. Recuperado de: http://www.unpa.edu.mx/~blopez/Computacion/complementario/anexo6_EvolHCI_nuevasinterfaces.pdf

Interaction Design Foundation. (2015). *The Five Languages or Dimensions of Interaction Design*. Interaction Design Foundation. Recuperado de: <https://www.interaction-design.org/literature/article/the-five-languages-or-dimensions-of-interaction-design>

International Organisation for Standardization (ISO). (2006). *Ergonomics of the human-system interaction. Part 110: Dialogue Principles* (Norma, núm. 9241-110). Recuperado de: <https://www.sis.se/api/document/preview/907276/>

Iñiguez, A. y García, M. (2009). Evaluación de Usabilidad de un Ambiente Virtual en 3D. *Revista Faz*, 3. Recuperado de: http://www.revistafaz.org/n3/evaluacion_usabilidad.pdf.

Laufer, C. (2015). Vocabularios y Ontologías. En: *La guía de la Web Semántica*. Cewebr. Recuperado de: <http://ceweb.br/guias/web-semantica//es/capitulo-6/>

Lipton, J., Fay, A. y Rus, D. (2018). Baxter's Homunculus: Virtual Reality Spaces for Teleoperation in Manufacturing. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 3(1), 179-186. Recuperado de: <https://arxiv.org/abs/1703.01270>

López-Martínez, M. (2014). *Sistema de recomendación de servicios médicos basados en ontologías y servicios de localización*. (Tesis de maestría, Instituto Politécnico Nacional

- de México). Recuperado de: <http://148.204.63.111/SABERv3/Repositorys/webVerArchivo/26034>
- López, L., y Martínez, V. (2006). *Scorbot ER-VII Virtual: modelado matemático y control de movimiento*. (Tesis de Licenciatura en Sistemas Computacionales, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo). Recuperado de: <https://uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Scorbot%20ER-VII%20virtual.pdf>
- Maali, F., Erickson, J. y Archer, P. (2014). *Data Catalog Vocabulary (DCAT)*. W3C. Recuperado de: <https://www.w3.org/TR/vocab-dcat/>
- Manley, D. (2015). *Is RFID a solution to inventory dilemmas? Target thinks so*. Multi Brief. Recuperado de: <https://exclusive.multibriefs.com/content/is-rfid-a-solution-to-inventory-dilemmas-target-thinks-so/retail>.
- Manjón, F. (2015). *Creación, desarrollo y evaluación de un entorno inmersivo desatendido para el aprendizaje de radiología basado en juegos 3D*. (Tesis de doctorado, Universidad de Málaga). Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=133094>
- Marzal, M., Calzada, J. y Ruvalcaba, E. (2015). Objetos de aprendizaje como recursos educativos en programas de alfabetización en información para una educación superior de posgrado competencial. *Investigación Bibliotecológica: Archivonomía, Bibliotecología e Información*, 29(66), 139-168. Recuperado de: <https://doi.org/10.1016/j.ibbai.2016.02.029>.
- Masip, L. (2010). *Ánalisis de viabilidad de soluciones para la Automatización de la evaluación heurística*. (Tesis de Master, Universidad de Lleida). Recuperado de: <https://repositori.udl.cat/bitstream/handle/10459.1/45842/Masip.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Míguez Pérez, R., Santos Gago, J. M., Alonso Rorís, V. M., Álvarez Sabucedo, L. M. y Mikic Fonte, F. A. (2012). Linked Data como herramienta en el ámbito de la nutrición. *Nutrición Hospitalaria*, 27(2), 323-332. Recuperado de: http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v27n2/01_articulos_especiales_01.pdf
- Michan, M. (2012, 22 de mayo). *Leap Motion, el Sistema de control gestural más barato y preciso que Kinect pero que difícilmente triunfará*. Applesfera. Recuperado de: <https://www.applesfera.com/accesorios/leap-motion-el-sistema-de-control-gestual-mas-barato-y-preciso-que-kinect-que-dificilmente-triunfara>

Natural Interaction Bases on Languaje (NIL). (2018). *IVERNAO: Instrucciones verbales para la navegación basadas en ontologías*. Recuperado de: <http://nil.fdi.ucm.es/?q=projects/ivernao>

Neosentec. (2047). *¿Qué es realidad aumentada y qué es realidad virtual? Descubre sus diferencias*. Recuperado de: <https://www.neosentec.com/realidad-virtual-y-realidad-aumentada-diferencias/>

Open Nepal Blog (2014). *The Open Database License (ODbL)-What It Is and Why You Need It*. Medium. Recuperado de: <https://medium.com/open-nepal/the-open-database-license-odbl-what-it-is-and-why-you-need-it-cb57c454ed22>

Ordóñez, P., Nigro, H., Tennyson, R., González, S. y Karwowski, W. (2012) *Advancing Information Management through Semantic Web Concepts and Ontologies*. IGI Global. 10.4018/978-1-4666-2494-8.

Paulheim, H. (2009). *Ontologies for User Interface Integration*. En: A. Bernstein, D. Karger, T. Heath, L. Feigenbaum, D. Maynard, E. Motta y K. Thirunarayan (Eds.), *The Semantic Web-ISWC 2009* (pp. 973-981). Berlin: Springer. Recuperado de: <https://core.ac.uk/reader/207924986>

Pérez, L., Flores, C., Tovar, S., Sánchez, M., Ayala, I. y Sagaz, M. (2016). Técnicas aplicadas de realidad virtual y realidad aumentada para el fomento de la biodiversidad de áreas naturales protegidas de Querétaro. *La Mecatrónica en México*, 5(1), 10-15. Recuperado de: <http://www.mecamex.net/revistas/LMEM/revisas/LMEM-V05-N01-02.pdf>

Pérez, R., Ramírez, G., Rojo, O. y Rojo, M. (2015). Desarrollo de cubo virtual para recorridos semi-inmersivos estereoscópicos. Instituto Tecnológico Superior de Zapotlanejo. *Revista Ingeniantes*, 2(1), 80-89. Recuperado de: <http://citt.itsm.edu.mx/ingeniantes/articulos/ingeniantes2vol2/Desarrollo%20de%20cubo%20virtual%20para%20recorridos%20Semi-%20Inmersos%20estereosc%C3%B3picos.pdf>

Perurena, L. y Morález, M. (2013). Usabilidad de los sitios web, los métodos y las técnicas para la evaluación. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, 24(2). Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.36512/rcics.v24i2.405>

Ramos, F., Aguirre, A., Zaragoza, J. y Razo, L. (2006). The use of ontologies for creating virtual scenarios in GeDA-3D (Ponencia). *Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*. Cuernavaca, México.

- Ramos, M., Larios, J., Cervantes, D. y Leriche, R. (2007). Creación de ambientes virtuales inmersos con software libre. *Revista Digital Universitaria*, 8(6). Recuperado de: http://www.revista.unam.mx/vol.8/num6/art47/jun_art47.pdf
- Ramos, E., Pereira, Y., Núñez, H., Castro, M. y Casañas, R. (2007). Aplicación de visualización de una ontología para el dominio del análisis del semen humano. *Ingeniería y Ciencia*, 3(5), 43-66. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83530503>
- Movilion (2014). *Geolocalización: La nueva herramienta para llegar al consumidor*. Recuperado de: <http://www.movilion.com/geolocalizacion-herramienta-consumidor/>
- Reenskaug, T. y Coplien, J. (2009). *The DCI Architecture: A New Vision of Object-Oriented Programming*. Artima. Recuperado de: https://www.artima.com/articles/dci_vision.html
- Reinoso, R. (2018). La realidad virtual y aumentada entra en juego en la educación. *Building Talent*. Instituto de Formación Continua IL3. Recuperado de: <https://www.il3.ub.edu/blog/la-realidad-virtual-y-aumentada-entra-en-juego-en-la-educacion/>
- Reyes, A. (2005). El problema de la interacción en la realidad virtual. Grupo de investigación DIANA (Diseño de Interfaces Avanzados). <http://www.diana.uma.es/investigaIHM/Publicaciones/ReyesLecuona-CHIJOTE2005.pdf>
- RFIDHY. (2016). *¿Cómo funciona la RFID?* Rfidhy Technology. Recuperado de: <http://www.rfidhy.com/es/how-rfid-works/>
- Riestra, E. (2011). Entornos inmersivos y su aplicabilidad en Ingeniería. *Revista Virtual Pro. Grupo Ingenio Colombiano*. Recuperado de: <https://www.revistavirtual-pro.com/biblioteca/entornos-inmersivos-y-su-aplicabilidad-en-ingineria>
- Rob, J. (2013). *Linked Data*. Web Semantic Tecnology 2.0. Recuperado de: https://issuu.com/roblamas/docs/tema6_linked_data_
- Rodríguez, M. (2014). *Extracción semántica de información basada en evaluación de ontologías*. (Tesis de doctorado, Universidad de Murcia). Recuperado de: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/284722/TMARG.pdf?sequence=1>
- Rowell, A. (1997). Virtual Reality. *Computer Graphics World*, 20(2), 21-28.
- Ruiz, F. (2012, 8 de marzo). *La realidad aumentada y su uso en la educación (LAYAR)*. Educadictos. Recuperado de: <https://www.educadictos.com/la-realidad-aumentada-y-su-utilizacion-en-educacion-layar/>

- Sánchez-Alonso, S., Cáceres, J., Holm, A., Lieblein, G., Breland, T., Mills, R. y Marnouselis, N. (2008). *Engineering an ontology on organic agriculture and agroecology: the case of the Organic. Edunet project.* (Ponencia). World Conference on Agricultural Information and IT (IAALD AFITA WCCA 2008), Volume: 6th World Congress on Computers in Agriculture. Recuperado de: <https://www.cabi.org/gara/FullTextPDF/2008/20083298211.pdf>
- Sanchez-Alonso, S. y Garcia-Barriocanal, E. (2006) Making use of upper ontologies to foster interoperability between SKOS concept schemes. *Online Information Review*, 30(3), 263-277. Recuperado de: <https://doi.org/10.1108/14684520610675799>
- Saquete, R. (2013, 10 de junio). *El impredecible futuro de la web semántica.* Human Level. Recuperado de: <http://www.humanlevel.com/articulos/desarrollo-web/el-futuro-de-la-web-semantica.html>
- Sarmiento, W. (2014). *Ambientes Colaborativos en Interacción 3D, Una propuesta metodológica para su evaluación.* (Tesis de doctorado, Universidad del Cauca). Recuperado de: http://www.unicauba.edu.co/doctaradoce/publicaciones/Monografia_Sarmiento.pdf
- Sears, A. y Jacko, J. (Eds.) (2007). *The Human-Computer Interaction Handbook* (2d edition). Estados Unidos: CRC Press.
- Segura Navarrete, A. (2010). *Aplicaciones de la expansión de consultas basadas en ontologías de dominio a la búsqueda de objetos de aprendizaje en repositorios.* (Tesis de doctorado, Universidad de Alcalá de Henares). Recuperado de: <https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/9761/APLICACIONES%20DE%20LA%20EXPANSION%20DE%20CONSULTAS%20BASADA%20EN%20ONTOLOGIAS%20DE%20DOMINIO.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Semana (2017). Museos: a conocer la memoria. *Revista Semana*. Recuperado de: <https://www.semana.com/cultura/articulo/museos-colombianos-no-visitantes-museos/515842>
- Shahzad, S. (2011). Ontology-based User Interface Development: User Experience Elements Pattern. *Journal of Universal Computer Science*, 17(7), 1078-1088. Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/03a3/6562ca0afadeb89f052a3d-3c6f91dca18ad3.pdf>
- Sierra, J. (2016). *Metodología de evaluación de usabilidad para sistemas de información basados en Web.* (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/54167/1/juliocesarsierragonzalez.2016.pdf>

- Suárez, A. (2018). Las ontologías en la representación y organización temática de la información bibliotecológica. En A. Rodríguez, A. y R. González. (Coords.), *Tendencias multidisciplinarias del uso de los metadatos* (pp. 25-36). Ciudad de México: UNAM. Recuperado de: http://ru.iibi.unam.mx/jspui/bitstream/IIBI_UNAM/CL3/1/03_tendencias_metadatos_adriana_suarez.pdf
- Suárez, M. (2011). *SIRIUS: Sistema de Evaluación de la Usabilidad Web Orientado al Usuario y basado en la Determinación de Tareas Críticas*. (Tesis de doctorado, Universidad de Oviedo). Recuperado de: <http://di002.edv.uniovi.es/~cueva/investigacion/tesis/Sirius.pdf>
- Tsakonas, G., Kapidakis, S. y Papatheodorou, C. (2008). *Evaluation of user interaction in digital libraries*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/228754559_Evaluation_of_user_interaction_in_digital_libraries
- Tsakonas, G., Fuhr, N., Aalberg, T., Agosti, M., Hansen, P., Kapidakis, S., Klas, C., Kovács, L., Landoni, M., Micsik, A., Papatheodorou, C., Peters, C. y Sølvberg, I. (2007). Evaluation of digital libraries. *International Journal of Digital Libraries*, 8, 21-38. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/220387482_Evaluation_of_digital_libraries.
- Unity. (2020). *Unity*. Recuperado de: <https://unity.com/es>
- Universidad Politécnica de Cataluña. (2018). *Introducción a la realidad virtual*. Recuperado de: <http://www.cs.upc.edu/~pere/SGI/guions/ArquitecturaRV.pdf>
- Valero, P. (1996). *Descripción de interfaces hombre-ordenador por medio de métodos formales: aplicación de métodos para la evaluación de un interfaz simulado*. (Tesis de doctorado, Universidad de Valencia). Recuperado de: <http://www.uv.es/valerop/papers/formal.pdf>
- Van-Harmelen, F., Broekstra, J., Fluit, C., ter-Horst, H., Kampman, A., Van-der-Meer, J. y Sabou, M. (2001). *Ontology-based information visualization*. En: *Information Visualization. Proceedings Fifth International Conference on Information Visualization*, 546-554.
- Vandenbussche, P. y Vatant, B. (2012, 19 de agosto). *Metadata Recommendations for Linked Open Data Vocabularies*. Recuperado de: https://lov.okfn.org/Recommendations_Vocabulary_Design.pdf
- Vargas, R. (2016, 20 de julio). *La realidad aumentada en el comercio electrónico. Fotografía e-Commerce*. Recuperado de: <https://www.fotografiaecommerce.com/2016/07/20/realidad-aumentada-en-el-comercio-electronico/>

- Velasco, J. (2013). *Wearable computing: nuestra ropa y complementos se vuelven inteligentes*. Blogthinkbig.com. Recuperado de: <https://blogthinkbig.com/wearable-computing>
- Velásquez, T., Puentes, A. y Guzmán, J. (2011). Ontologías: una técnica de representación de Conocimiento. *Avances en Sistemas e Informática*, 8(2), 211-216. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/28854/1/26750-93668-1-PB.pdf>
- Videla, J., Sanjuán, A., Martínez, S. y Seoane, A. (2017). Diseño y usabilidad de interfaces para entornos educativos de realidad aumentada. *Digital Education*, (31), 31-79.
- Virtual Reality Society. (2017). *What is Virtual Reality?* United Kingdom. Recuperado de: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html>
- Vivo (2017). *VIVO Core Ontology (vivo)*. Okfn. Recuperado de: <https://lov.okfn.org/dataset/lov/vocabs/vivo>
- W3C. (2014). *Resource Description Framework (RDF)*. Semantic Web. Recuperado de: <https://www.w3.org/RDF/>
- W3C. (2009). *Skos*. Recuperado de: <https://www.w3.org/2004/02/skos/>
- Watters, A. (2015, 2 de mayo). *Memory Machines: Education Technology without the Memex*. Hackeducation. Recuperado de: <http://hackeducation.com/2015/05/02/memory-machines>
- Wolf, G. (2010). *Historia y futuro de la interfaz hombre-máquina*. SG# 29. Recuperado de: <https://sg.com.mx/revista/29/historia-y-futuro-la-interfaz-hombre-maquina#.WcfkJcjiUk>
- Wood, D. (2011). *Linking Government Data*. New York: Springer.
- Ying, J. y Gračanin, D. (2012). An Approach to Development of Adaptive 3D User Interfaces. *IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*, 169–170.
- Yupán, C. (2016). *Las 10 mejores experiencias de realidad virtual que no te puedes perder*. Recuperado de: <https://mott.pe/noticias/las-10-mejores-experiencias-de-realidad-virtual-que-no-te-puedes-perder/>
- Zamora, R. y Villa, J. (2013, 24-27 de septiembre). *Estudio de la alternativa de ambientes virtuales colaborativos como herramienta de apoyo a laboratorios tele operados en Ingeniería*. (Ponencia). World Engineering Forum. Cartagena, Colombia. Recuperado de: <https://acofipapers.org/index.php/acofipapers/2013/paper/viewFile/496/152>

Zdravic, A. (2015) Imagen. En: *Interaction Design Foundation (2015). The Five Languages or Dimensions of Interaction Design*. Interaction Design Foundation. Recuperado de: <https://www.interaction-design.org/literature/article/the-five-languages-or-dimensions-of-interaction-design>

Zhang, L., Wade, J., Bian, D., Fan, J., Swanson, A., Weitlauf, A. y Sarkar, N. (2017). Cognitive Load Measurement in a Virtual Reality-Based Driving System for Autism Intervention. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 8(2), 176-189.

Autores

Paulo Alonso Gaona García

Profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Doctor en Ingeniería de la Información y el Conocimiento de la Universidad de Alcalá, España. Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones con énfasis en Teleinformática e ingeniero de Sistemas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Director del grupo de investigación Multimedia Interactiva y codirector del grupo de investigación GIIRA de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Miembro del grupo de investigación IERU (Information Engineering Research Unit) de la Universidad de Alcalá. Miembro fundador de la red de investigación SMART DATA SCIENCE++. Colaborador activo en procesos misionales asociados con proyectos de investigación y formación en áreas de interés como redes y comunicaciones, visualización de información, ciencia de los datos, visual analytics y seguridad informática.

Carlos Enrique Montenegro Marín

Profesor titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Doctor en Sistemas y Servicios Informáticos para Internet de la Universidad de Oviedo, España. Tiene un diploma de estudios superiores otorgado por la Universidad Pontificia de Salamanca, España. Magister en Ciencias de la Información y las Comunicaciones. Ingeniero de Sistemas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Director del grupo de investigación GIIRA de la Universidad Distrital y miembro activo del grupo de investigación Multimedia Interactiva. Miembro fundador de la red de investigación SMART DATA SCIENCE++. Sus áreas de intereses están asociadas a proyectos de investigación, formación y desarrollo, que incluyen tecnología orientada a objetos, procesadores de lenguaje, analítica y procesamiento de datos, software de modelado con DSL y MDA.

Jhon Francined Herrera Cubides

Ingeniero de Sistemas. Especialista en Alta Gerencia y en Construcción de Software para Redes. Magister en Ingeniería de Sistemas y Computación. Candidato a doctor en el programa de Doctorado en Ingeniería en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Profesor asociado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Miembro activo e investigador del Grupo de Investigación GIIRA.



Este libro se
terminó de imprimir
en noviembre de 2020
en la Editorial UD
Bogotá, Colombia