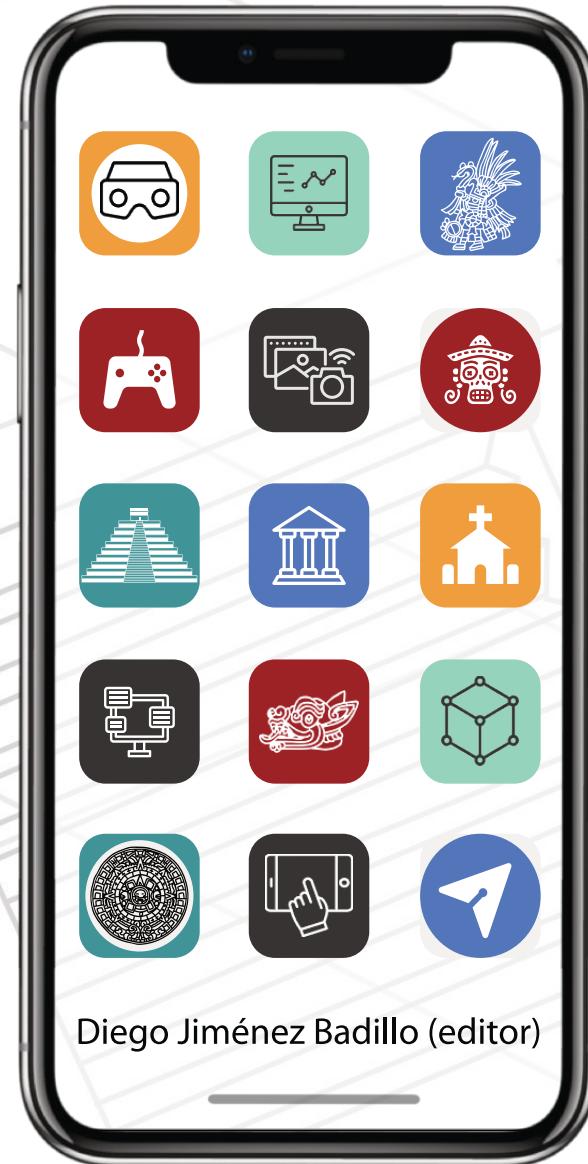




PATRIMONIO DIGITAL

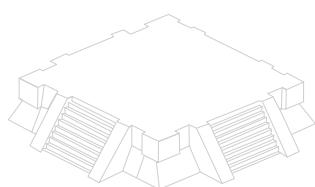
Métodos computacionales y medios interactivos para
estudiar y divulgar el patrimonio cultural



Diego Jiménez Badillo (editor)

Patrimonio Digital

Métodos computacionales y medios interactivos para
estudiar y divulgar el patrimonio cultural



Colección Arqueología

Serie Fundamentos

PATRIMONIO DIGITAL

Métodos computacionales y medios interactivos para
estudiar y divulgar el patrimonio cultural

Diego Jiménez-Badillo
(EDITOR)

Patrimonio digital : métodos computacionales y medios interactivos para estudiar y divulgar el patrimonio cultural / editor Diego Jiménez-Badillo. – 1^a. edición. – México : Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2021.
259 páginas : ilustraciones ; 20 x 27.2 cm. (Arqueología: Fundamentos).

ISBN (versión PDF): 978-607-539-597-5

ISBN (versión impresa): 978-607-539-602-6

1.- Arqueología digital – Difusión -- 2.- Patrimonio cultural – México. -- 3.- Cyber arqueología – México. -- 4.- Computación Arqueológica. -- I. Jiménez-Badillo, Diego, editor. -- II.

LC: CC80.4 / P37 / 2021

El presente volumen es resultado del trabajo de la Red de Tecnologías Digitales para la Difusión del Patrimonio Cultural, financiada mediante el Programa Redes Temáticas del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Asimismo, contiene resultados del proyecto Conacyt 275015 *Explorando el México Colonial Temprano: Análisis computacional a gran escala de fuentes históricas del siglo XVI*, el cual opera gracias a la subvención de la iniciativa *Digging into Data 2016* de la Plataforma Transatlántica para la Investigación de Ciencias Sociales y Humanidades (T-AP). Además del Conacyt, en la iniciativa T-AP 2016 participan el Economic and Social Research Council (ESRC, Reino Unido) (ES / R003890 / 1), y la Fundación para la Ciencia y la Tecnología (FCT) de Portugal.

Primera edición: 2021

Producción:

Secretaría de Cultura

Instituto Nacional de Antropología e Historia

Diseño editorial (portada e interiores): Juan Carlos Jiménez Abarca

Iconos de portada: *Pyramid* by Luca Orlandini, *Mayan Calendar* by Hey Rabbit, *Aztec God* by Hey Rabbit, *Aztec Symbol* by Hey Rabbit, *Church* by Royyan Wijaya, *AR Glasses* by Mardjoe, *Videogame* by Miguel C Balandrano, *Data* by Petai Jantrapoon, *Museum* by Srinivas Agra, *Skull* by Ben Davis, *Modeling* by Serhii Smirnov, *Research* by ibrandify, *Camera* by Lutfi Gani Al Achmad, *Touch* by DinosoftLab, and *Publish* by Zky Icon; from the Noun Project.

D.R. © 2021, Instituto Nacional de Antropología e Historia
Córdoba 45, colonia Roma, C.P. 06700, Ciudad de México
sub_fomento.cncpbs@inah.gob.mx

Las características gráficas y tipográficas de esta edición son propiedad del Instituto Nacional de Antropología e Historia de la Secretaría de Cultura.

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, la fotocopia o la grabación, sin la previa autorización por escrito de los titulares de los derechos de esta edición.

ISBN (versión PDF): 978-607-539-597-5

ISBN (versión impresa): 978-607-539-602-6

Impreso y hecho en México

Índice

Introducción Diego Jiménez-Badillo	11
Morphological analysis of archaeological artefacts using computer vision and machine learning algorithms Diego Jiménez-Badillo, Salvador Ruiz Correa y Edgar F. Román Rangel	17
Procesamiento de lenguaje natural en la conservación de la herencia cultural: una red semántica del Popol Vuh Ignacio Arroyo-Fernández, Mauricio Carrasco-Ruiz y Carlos-Francisco Méndez-Cruz	25
Análisis histórico-geográfico de documentos novohispanos del siglo XVI mediante técnicas de lingüística computacional y análisis espacial Diego Jiménez-Badillo, Patricia Murrieta-Flores, Bruno Martins, Ian Gregory, Mariana Favila-Vázquez, Raquel Liceras-Garrido, Katherine Bellamy, Miguel Won y Jacinto Estima	35
An application of chemometrics to determine the provenance of obsidian artefacts from Xalasco, Tlaxcala Denisse L. Argote y Pedro Lopez-García	65
Ánálisis de imágenes por transformación de reflectancia para registrar y analizar huellas de manufactura en la lapidaria de obsidiana del Templo Mayor de Tenochtitlan Emiliano Melgar Tisoc, Jannu Lira Alatorre y Edgar Israel Mendoza Cruz	79
Diferentes niveles de realidad mixta en entornos museales como una herramienta para cambiar la experiencia de los visitantes en los museos Hector Valverde Martínez	93

El impacto de la usabilidad de las tecnologías digitales en la divulgación del patrimonio cultural Manuel Gándara	101
La aplicación de medios interactivos para el fortalecimiento de un santuario de origen precolonial en la Mixteca Alta de Oaxaca, México Liana Ivette Jiménez Osorio, Emmanuel Posselt Santoyo y Eruvid Cortés Camacho	115
Aplicación de la realidad aumentada para el modelado reconstructivo de una zona arqueológica Erick Huitrón-Ramírez	129
Modelado 3D para la reintegración de la linternilla y el cupulín del campanario del Templo de Sanctorum, Ciudad de México Edmundo Arturo Figueroa Viruega y Minerva Rodríguez Licea	141
La realidad aumentada en México. Una revisión de su uso en la divulgación del Patrimonio Cultural Alma Itzel Méndez Lara	151
Un territorio inexplorado: los videojuegos, la arqueología y el estudio del pasado Xavier Rubio-Campillo	175
Algunos aspectos a considerar para el diseño de videojuegos orientados a favorecer la divulgación del patrimonio cultural Angel Pretelín-Ricárdez y Edgar Beltrán-Alvarado	187
Apretando el paso. Un modelo de datos para el Repositorio Digital del Patrimonio Cultural de México José M. Morales-del-Castillo, Pedro Ángeles Jiménez, Claudio Molina Salinas, Ernesto Miranda Trigueros y Vania S. Ramírez Islas	203
Cambio de Paradigma: Museos de México Vania S. Ramírez Islas y Ernesto Miranda Trigueros	213
Difusión del patrimonio cultural en la era digital: experiencias en la aplicación de las tecnologías de información para difundir el patrimonio material e inmaterial de México Maurits Omar Montañez Vázquez	227
<i>Verba volant, scripta manent? Digital Bases for the Study and Preservation of the Galician Roman Epigraphy</i> David Espinosa-Espinosa y Miguel Carrero-Pazos	237
Sobre los autores	251

Introducción

Diego Jiménez-Badillo

INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA, MÉXICO.

La Red Temática Conacyt de Tecnologías Digitales para la Difusión del Patrimonio Cultural (RedTDPC) se complace en presentar esta nueva colección de trabajos, producto de las investigaciones llevadas a cabo por 39 de sus miembros en los últimos tres años.

La RedTDPC fue creada en 2015 por un grupo de investigadores interesados en reducir las barreras que impiden el acceso de la población mexicana a las manifestaciones de cultura material y al patrimonio cultural vivo. Dado que este problema puede resolverse aprovechando las nuevas tecnologías de la información y la comunicación, la RedTDPC adoptó la misión de *investigar las condiciones técnicas, intelectuales, legales y económicas para que las tecnologías digitales puedan ayudar a profesionistas de museos, archivos y bibliotecas a mejorar el análisis, la difusión y la divulgación del patrimonio cultural.*

La RedTDPC ha fomentado la cooperación inter y transdisciplinaria de investigadores, estudiantes, agentes del sector público, la iniciativa privada, organizaciones no gubernamentales y asociaciones civiles. La interacción de dichos actores ha permitido influir en el diseño de mejores políticas públicas y en la adopción de buenas prácticas para el análisis y divulgación del patrimonio cultural por parte de arqueólogos, historiadores, museólogos, matemáticos, expertos en computación e ingenieros, así como de estudiantes y gestores culturales. La RedTDPC tiene cuatro programas principales:

- Producción de conocimiento académico innovador y/o de alta calidad difundido mediante publicaciones científicas y de divulgación. Dos ejemplos destacados son los libros *El patrimonio cultural y las tecnologías digitales. Experiencias recientes desde México* (México: INAH, 2016) y *Arqueología computacional. Nuevos enfoques para la documentación, análisis y difusión del patrimonio cultural* (México: INAH, 2017), a los cuales se suma el volumen que aquí publicamos.
- Formación de recursos humanos. Se han organizado 30 cursos y talleres de formación y actualización, tanto para profesionistas del patrimonio cultural, como para estudiantes. Además, la RedTDPC ha organizado 14 coloquios- tanto internacionales como nacionales- sobre avances en tecnología digitales orientadas al patrimonio cultural.
- Desarrollo e innovación tecnológica mediante el programa “Acelerador de proyectos de innovación”, el cual brinda asesoría técnica y comercial a los responsables de proyectos tecnológicos de tipo cultural. Al menos 8 proyectos han sido impulsados de esta manera.
- Participación de miembros de la RedTDPC en eventos académicos (congresos, coloquios, mesas redondas) y apoyo para estancias académicas.

La RedTDPC cuenta actualmente con 250 miembros en 21 estados de la República Mexicana y en 10 países extranjeros. Acoge investigadores y estudiantes de 42 disciplinas científicas y humanísticas que trabajan en 61 organizaciones académicas o empresas privadas, siendo el INAH, la UNAM, el IPN, el Tecnológico Superior de Guanajuato, la Universidad de Guanajuato y la Universidad de Barcelona las mejor representadas. Asimismo, hay 34 miembros que laboran en el sector privado o son profesionistas independientes. Además, la RedTDPC cuenta con 30 investigadores afiliados a instituciones extranjeras, principalmente de España, Gran Bretaña, Alemania, Italia, Australia y Suiza.

El volumen que presentamos en esta ocasión refleja la diversidad de sus miembros; contiene 17 trabajos agrupados en tres secciones (a) Métodos computacionales para el análisis del patrimonio cultural; (b) Modelado 3D y aplicaciones de Realidad Virtual; (c) y Creación de repositorios de datos.

SECCIÓN I. MÉTODOS COMPUTACIONALES PARA EL ANÁLISIS DEL PATRIMONIO CULTURAL

Los primeros cinco artículos contienen una muestra de los tipos de aplicaciones tanto de aprendizaje automatizado como de análisis computacional que se desarrollan actualmente en México.

El artículo de Jiménez-Badillo *et al.* presenta un proyecto en marcha para analizar automáticamente la forma de objetos arqueológicos. Partiendo de modelos digitales en 3D de los artefactos originales, los autores aplican un algoritmo de deformación desarrollado en el campo de visión por computadora para generar miles de modelos más, que, en conjunto, representan un “atlas” de todas las variaciones de forma posibles para esa colección. El total de modelos, es decir tanto los originales como los generados por el algoritmo de deformación, son sometidos a un análisis por medio de aprendizaje de máquina para reconocer los rasgos que más influyen en el estilo de los artefactos, lo cual a su vez permite derivar una tipología basada en atributos de forma. Gracias a este proyecto, los arqueólogos serán capaces de usar su tiempo más racionalmente, dedicando sus mejores esfuerzos a responder

preguntas de investigación concernientes al significado de sus colecciones de artefactos.

En el segundo artículo (Arroyo-Fernández *et al.*), los autores aplican técnicas de procesamiento de lenguaje natural (NLP) y lingüística de corpus para analizar el *Popol Vuh*, famoso texto de tradición maya que contiene importantes narraciones mitológicas sobre la creación del mundo. Gracias al análisis computarizado del texto, los autores logran obtener una red semántica que revela las relaciones entre entidades (personajes, lugares, etc.) mencionados en esa importante fuente histórica. El estudio computarizado del *Popol Vuh* demuestra el potencial de las técnicas de NLP para su aplicación en la descripción e interpretación de cualquier colección de documentos de herencia cultural.

El tercer artículo (Jiménez-Badillo *et al.*) también aplica técnicas de procesamiento de lenguaje natural y lingüística de corpus, combinándolas con una metodología llamada Análisis Geográfico de Textos para extraer automáticamente información de las *Relaciones Geográficas de la Nueva España* (1577-1585), un corpus fundamental para el conocimiento de la historia colonial. Los resultados de este proyecto incluyen: (a) un directorio de topónimos del siglo XVI, (b) un modelo de aprendizaje profundo para el Reconocimiento y Desambiguación de Entidades Nombradas (NERD), el cual podrá utilizarse para analizar otros *corpora* escritos en español pre-moderno, y (c) herramientas de software para la extracción automatizada de información de documentos históricos.

El cuarto capítulo, escrito por Argote y López García, aplica la Fluorescencia de Rayos X en su modo portátil (pFRX) y la Quimiometría con el objetivo de determinar la procedencia de la obsidiana utilizada para fabricar un conjunto de 258 artefactos hallados en el sitio arqueológico de Xalasco, Tlaxcala, el cual fue un enclave controlado por Teotihuacan durante el período Clásico. El método permitió a los autores identificar cuatro yacimientos naturales: la explotación de dos de estos estaba controlada por Teotihuacan (Sierra de Pachuca y Otumba), mientras que la materia prima del resto de artefactos estaba distribuida regionalmente

(Oyameles y Paredón). Los análisis propuestos resultaron efectivos para analizar cuantitativamente datos espectrales de interés arqueológico.

El quinto artículo (Melgar Tisoc *et al.*) describe el Análisis de Imágenes por Transformación de Reflección (RTI, por sus siglas en inglés) aplicado a 13 objetos de obsidiana encontrados en las ofrendas del Templo Mayor de Tenochtitlan. A grosso modo, la técnica consiste en obtener una serie de 24 a 36 fotogramas de cada objeto, utilizando luz incidente emitida desde distintos ángulos; así es posible crear un modelo de iluminación que más tarde se utiliza para explorar detalles sobre la superficie de los objetos. Gracias a esta técnica, los autores descubrieron interesantes huellas de manufactura en las piezas estudiadas, así como cierta variabilidad en la calidad del trabajo de manufactura. Un producto importante de esta investigación es el catálogo de huellas obtenido, el cual servirá como referente para otros estudios traseológicos que buscan mejorar el registro de los rasgos de elaboración de las piezas lapidarias.

SECCIÓN II. MODELADO 3D Y APLICACIONES DE REALIDAD VIRTUAL

La sección II consta de ocho capítulos dedicados al modelado de edificios en 3D y al uso de la Realidad Virtual y Aumentada para la divulgación del patrimonio cultural.

Valverde Martínez (capítulo 6) reflexiona sobre el impacto de las tecnologías de Realidad Mixta en los museos, apuntando cómo pueden ser aprovechadas por las instituciones culturales para servir a públicos que, como consecuencia de la Revolución Digital, se han transformado de agentes pasivos a activos. Ofrece sugerencias para que los espacios museales cumplan con las expectativas de los visitantes, tanto a nivel de conocimiento como de espaciamiento. El autor reflexiona sobre cómo crear atmósferas que sumerjan a los visitantes en una realidad completamente diferente de la que viven para comprender mejor los temas abordados en una exposición. Además, explora las estrategias que pueden ser utilizadas para incentivar a los públicos de los museos a participar de manera activa y

ampliar la experiencia del museo más allá de sus muros a través de la ludificación de la experiencia museal o la portabilidad de la experiencia.

Igualmente importante es la reflexión de Gándara Vázquez (capítulo 7) sobre el tema de la usabilidad de las tecnologías digitales en la divulgación del patrimonio cultural. El autor define el concepto de usabilidad explicando los lineamientos teóricos y convenciones que deben regir el diseño de la interfaz de una aplicación, especialmente en lo concerniente a la interacción y a la planeación de la experiencia de usuario. A partir de ejemplos tomados de situaciones reales, el autor ofrece recomendaciones para mejorar la usabilidad de las aplicaciones destinadas a la divulgación del patrimonio cultural, las cuales deberían tomarse en cuenta al diseñar cualquier aplicación digital.

El octavo artículo (Jiménez Osorio *et al.*) describe la aplicación de medios interactivos para fortalecer el uso social de un santuario de origen precolonial ubicado en el Cerro del Pedimento, el cual sigue siendo un punto de encuentro importante para la comunidad *Ñuu Savi* en la Mixteca Alta de Oaxaca, México. El texto narra la implementación de medios activos de realidad virtual para recrear dicho paisaje sagrado de manera digital y propone una interfaz gráfica para acceder a dicha recreación. El texto resume la metodología de desarrollo aplicada, enfatizando la intención de proyectar la esencia sagrada del lugar tal como se vive en la actualidad y enfatizando las necesidades y rol de los usuarios. El artículo demuestra que desde la academia se pueden generar propuestas creativas encaminadas al fortalecimiento de la cultura para poblaciones poco atendidas, como los Pueblos Indígenas.

El noveno artículo (Huitrón Ramírez) explica los factores técnicos que deben considerarse al desarrollar una aplicación de realidad aumentada para recrear el aspecto original de una zona arqueológica, la cual puede ser usada al interior de la misma o en sus alrededores. La aplicación se instala en teléfonos inteligentes y combina visualizaciones de las estructuras en su estado actual con la reconstrucción hipotética de las mismas, reaccionado

automáticamente a los cambios de ubicación y orientación del usuario dentro de la zona arqueológica. Mediante la lectura de los sensores incorporados al teléfono inteligente y las interacciones en la pantalla, el sistema puede obtener las variables que describen la actividad del usuario al manipular el dispositivo y reaccionar a ello cambiando las perspectivas visibles en el entorno virtual.

El artículo de Figueroa Viruega y Rodríguez Licea (capítulo 10) describe un proyecto de modelado 3D cuyo objetivo es la reintegración de la linternilla y el cupulín del campanario del Templo de Sanctorum en la Ciudad de México. Desde hace tiempo, el edificio perdió ambos elementos arquitectónicos debido a la falta de mantenimiento. Gracias a este proyecto fue posible reinstalar dichos elementos durante un proceso de restauración. Como señalan los autores "El modelado tridimensional fue una herramienta de gran trascendencia en el proceso porque ayudó a definir formas y proporciones, pero también permitió cuantificar y dimensionar la propuesta, agilizando el proceso, reduciendo errores y permitiendo correcciones de manera virtual sin afectar al recinto, lo que condujo a un proceso de obra más eficiente."

El artículo de Méndez Lara (capítulo 11) ofrece una revisión crítica del desarrollo de la realidad aumentada (RA) en la divulgación del patrimonio cultural en México. La autora revisa los acontecimientos que han estimulado la aplicación de esta tecnología y cómo ha sido utilizada en distintos tipos del patrimonio cultural. Además, analiza varias aplicaciones de RA desarrolladas en México con el objetivo de mostrar las posibilidades de su uso, considerando los aspectos esenciales para mejorar su desempeño, así como para fomentar un mayor acercamiento del público con el patrimonio cultural.

El doceavo artículo, escrito por Rubio Campillo, aborda otro tema fundamental en la divulgación del patrimonio cultural, el de los videojuegos educativos, que se han convertido en uno de los productos de entretenimiento más importantes de nuestra cultura., sobre todo ahora que la tecnología ha alcanzado su madurez creativa como medio de expresión gracias al desarrollo de un lenguaje

propio, distinto al de otros medios de comunicación. La interactividad inherente a los videojuegos convierte a estos productos en herramientas didácticas capaces de transformar a la sociedad a través de la exploración de temas tan complejos como la diversidad cultural, el cambio climático y, por supuesto, la historia y la arqueología. El autor analiza dos tipos de proyectos que permiten esclarecer la relación actual entre videojuegos y arqueología: a) videojuegos de carácter comercial que reviven el pasado y b) productos creados para la divulgación del conocimiento arqueológico. Al final, el autor responde a la pregunta de ¿qué puede ofrecer este nuevo medio que no sea posible con el cine o la literatura?

Siguiendo el mismo tema, el artículo de Pretelín Ricardez y Beltrán Alvarado (capítulo 13) contiene una propuesta para el diseño de videojuegos orientados a la divulgación del patrimonio cultural. Primero, los autores ofrecen una definición de videojuego y presentan una clasificación de este tipo de medio audiovisual establecida sobre varios criterios relacionados a la difusión y divulgación del patrimonio cultural. Después abordan el diseño de videojuegos enfatizando: (a) el aspecto técnico, relacionado con las herramientas digitales con las que se puede programar un videojuego; (b) el aspecto estético, relacionado con la narrativa y el diseño de personajes y objetos; y (c) el aspecto educativo, relacionado a las teorías de aprendizaje o estrategias de instrucción que pueden ser utilizadas.

SECCIÓN III. CREACIÓN DE REPOSITORIOS DE DATOS DEL PATRIMONIO CULTURAL MEXICANO ACCESIBLES EN LÍNEA

Finalmente, el tercer grupo de artículos aborda la creación de bases de datos sobre colecciones arqueológicas y la creación de repositorios institucionales en línea para acercar la información del patrimonio cultural al público general.

El artículo de Morales-del-Castillo et al. (capítulo 14) describe los pasos emprendidos por un equipo interdisciplinario de especialistas encargados de la Agenda Digital de Cultura de México para la creación del primer agregador (i.e. repositorio) mexi-

cano. Los autores explican el desarrollo de un modelo de datos localizado llamado Modelo de Datos México y la compilación de listados de control terminológico para describir las colecciones de patrimonio cultural existentes en México. La estrategia responde a la necesidad urgente de sistematizar la descripción, búsqueda y recuperación de información, dada la digitalización globalizada de todo tipo de objetos culturales, lo cual implica un crecimiento exponencial del número de colecciones y de la información relacionada a éstas.

El artículo escrito por Ramírez Islas y Miranda Trigueros (capítulo 15) describe el proyecto Museos de México, lanzado en 2018 por la Agenda Digital de Cultura, de la Secretaría de Cultura de México. El proyecto establece las mejores prácticas internacionales para sistematizar la información y renovar las colecciones digitales de siete importantes museos gestionados por la Secretaría de Cultura. Los autores explican cómo a través de la aplicación de herramientas digitales, estos museos han transformado sus procesos de documentación física y de difusión en el espacio digital. El sistema de gestión implementado vincula las áreas de documentación, curaduría, conservación, servicios educativos y difusión. El sistema opera gracias a un gestor de colecciones que utiliza los principios del sistema de catalogación *Collective Access*, el cual mantiene una arquitectura de datos común para homologar la información creada por las instituciones. La implementación del sistema en línea permite una mejor experiencia a través de una interfaz gráfica atractiva, ágil, dinámica y diferente para cada museo, la cual responde a los tipos de contenidos y curadurías creados por los gestores e investigadores de los recintos.

El artículo de Montañez Vázquez (capítulo 16) examina tres proyectos culturales que usan tecnologías de la información para la preservación y la difusión del patrimonio cultural. El primero se ocupa del poema *Blanco* de Octavio Paz, materializado en libro-objeto que tiene varias secciones, ofrece diversas formas de lectura y requirió, en su primera edición impresa, de una hechura en forma de acordeón de tipo japonés. El autor describe la

estrategia para digitalizar esta obra con el fin de acercarla al público. El segundo proyecto descrito en este artículo se refiere a la digitalización y puesta en línea del Códice Mendocino, un importante manuscrito para estudiar a los gobernantes mexicas y sus conquistas, así como para conocer la conformación y tasas de tributación de los altépetl (i.e. señoríos) sometidos a la Triple Alianza antes de la conquista, así como algunos aspectos de la vida cotidiana en época prehispánica. Dado que el documento se conserva actualmente en la Bodleian Library de Oxford, el reto de este proyecto consistió en utilizar los mejores medios digitales para repartir virtualmente el documento. El tercer proyecto descrito en este artículo es el desarrollo de una aplicación móvil para preservar, difundir y enseñar la lengua Mixteca, en particular la variante que se habla en la región de Santa Inés de Zaragoza, en el estado de Oaxaca.

Finalmente, el trabajo de Espinoza-Espinoza y Carrero-Pazos (capítulo 17) describe la creación de una base de datos para el registro, estudio y divulgación de inscripciones romanas pertenecientes al corpus epigráfico de la provincia de Ourense, localizada al noroeste de la península Ibérica. Los autores discuten los problemas metodológicos, de preservación y de legibilidad relacionados con la ubicación y accesibilidad de las inscripciones, así como con la degradación de la piedra en la que fueron hechas. Los autores demuestran que tecnologías fotogramétricas como SfM (*Structure from Motion*) y el modelado digital de imágenes pueden ayudar a resolver dichos problemas. Los autores presentan además el objetivo del proyecto Epigráfica 3.0 consistente en desarrollar una plataforma interactiva que incluye una base de datos relacional y un visualizador de objetos en 3D, la cual hará más fácil y preciso el estudio de la epigrafía de época romana de Galicia.

Al compartir sus experiencias, los autores de este volumen esperan estimular a otros profesionistas para sumarse al gran esfuerzo de difundir el patrimonio cultural por medio de las tecnologías de la información y la comunicación. Mientras tanto, el

Comité Técnico Científico de la RedTDPC seguirá fomentando la interacción entre especialistas de varios campos de las ciencias y las humanidades, con el fin de discutir cómo podría lograrse una mejor sinergia entre profesionistas dedicados a la difusión y análisis del patrimonio cultural –arqueólogos, historiadores, museógrafos, pedagogos, comunicólogos y aquellos dedicados a las tecnologías digitales, la informática, las matemáticas, etc. Nuestros objetivos continúan siendo: (a) emprender proyectos de desa-

rrollo tecnológico orientados, desde su concepción, a satisfacer los requerimientos especiales del patrimonio cultural; e (b) impulsar la creación de metodologías de análisis y difusión que se adapten al ambiente organizacional y a las condiciones económicas de las instituciones culturales de México. Esperamos que el lector encuentre en este volumen ideas e inspiración para emprender sus propios proyectos.

Morphological analysis of archaeological artefacts using computer vision and machine learning algorithms

Diego Jiménez-Badillo

INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA (INAH)

Salvador Ruiz-Correa

INSTITUTO POTOSINO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA (IPICYT)

Edgar Román-Rangel

INSTITUTO TECNOLÓGICO AUTÓNOMO DE MÉXICO (ITAM)

Resumen: Este artículo presenta un proyecto orientado a crear métodos más eficientes y herramientas fáciles de aplicar para analizar la forma de artefactos arqueológicos. El protocolo de investigación parte de modelos digitales en 3D de los artefactos originales para someterlos a un algoritmo de deformación desarrollado en el campo de visión por computadora. Eso permite generar miles de modelos más, que, en conjunto, representan un “atlas” de todas las variaciones de forma posibles para esa colección. Tanto los modelos originales como los generados con el algoritmo de deformación son analizados posteriormente con técnicas de aprendizaje de máquina que permiten el reconocimiento de los rasgos que más influyen en el estilo de los artefactos, así como el agrupamiento y clasificación automática de los mismos. Esto, a su vez, permite derivar una tipología basada en atributos de forma. Dado que la creación de tipologías es una tarea fundamental en arqueología, el proyecto pretende transformar la práctica de esta disciplina y de otros campos de las Humanidades para el beneficio de investigadores y estudiantes ocupados en describir, interpretar y diseminar nuevo conocimiento obtenido a partir de la morfología de artefactos arqueológicos.

Palabras clave: análisis de forma en arqueología; algoritmo de deformación; tipología basada en forma

Abstract: This paper presents a project focused on creating efficient methods and user-friendly tools to analyse the shape of archaeological artefacts. The research protocol uses 3D digital models of the original artefacts and apply to them a morphing algorithm developed in the field of Computer Vision. This allows generating thousands more models, which together represent an “atlas” of all shape variations that are possible for that particular collection. Both the original 3D models and those generated by the morphing algorithm are analyse later with Machine Learning techniques that allow recognising the more important features for the definition of the artefacts’ style, as well as their clustering and classification. In turn, this allows deriving a shape-based typology of the collection. Given that generating typologies is a fundamental task in archaeology, the project seeks to transform the practice of the discipline for the benefit of researches and students engaged in describing, interpreting and disseminating new knowledge obtained from the morphology of archaeological artefacts.

Keywords: archaeological shape analysis; morphing algorithm; shape-based typology

INTRODUCTION

Along with chronology and spatial location, shape is the most fundamental property with which archaeologists and art historians are concerned while interpreting the meaning of cultural heritage objects. Morphological analysis is indeed the basis upon which researchers can attribute artefacts to specific artistic styles, determine provenance, situate an object in certain social frame or respond to questions, such as how the shape of an object relates to its function?, which ideational concepts are conveyed through its formal style?

Unfortunately, within the Humanities the task of analysing morphology is still rooted in the past. The best current methods rely heavily on expert knowledge acquired through a lengthy process; they focus on a unique class of objects and therefore are not suitable for generic appli-

cations; or involve tedious, monotonous tasks, such as manual measuring of descriptive variables. Others are not even tailored to the specific requirements of the Humanities or are reductionist, in the sense that they embark on shape analysis by looking at data recorded in two dimensions despite the fact that the true essence of the shape of most cultural heritage objects can only be grasped in a three dimensional framework.

OBJECTIVE AND RATIONALE

This project aims at improving such state of affairs by creating generic methodologies and user-friendly computational tools for shape analysis, which could eventually transform the practice of Archaeology for the benefit of scholars and students engaged in describing, interpreting and disseminating new knowledge obtained from the morphology of artefacts.

Two major developments make such objective possible and desirable. On one side, the acquisition of 3D data through the application of laser scanning and photogrammetry has produced thousands of digital models of cultural heritage artefacts that are rarely analysed in any significant way. Indeed, most digitisation projects pursue only visualisation and archiving objectives without exploiting the potential of 3D information to generate new knowledge. On the other side, the maturity of several subfields of Artificial Intelligence, like 3D Pattern Recognition and Machine Learning, has produced highly sophisticated algorithms for shape analysis that have not been sufficiently harnessed nor tested in cultural heritage applications. This is due in part to the narrow mathematical and computational expertise of social scientists and the limited interest of engineers in applying their knowledge to solve cultural heritage problems. So, anyone possessing expertise in Humanities and Computer Science has a clear opportunity to lead innovative transdisciplinary projects focused on developing better solutions to common cultural heritage challenges. The group undertaking this project possess such combined expertise, as proven by the development of an automatic search engine to retrieve cultural heritage objects from web repositories based exclusively on the analysis of their form properties. The

system operates in a similar manner than Google, but instead of text, it uses 3D geometry for the queries (Jiménez-Badillo and Ruiz-Correa, 2017).

The research group has also produced a new methodology for automatic classification of archaeological ceramic fragments (Jiménez-Badillo, et al. 2013; Jiménez-Badillo and Román-Rangel, 2016, 2017; Roman Rangel and Jiménez-Badillo, 2015, Román-Rangel et al., 2014, 2016a, 2016b; Jiménez-Badillo and Ruiz-Correa, 2017).

METHODOLOGY

The focus of this new project consist in developing a methodology to analyse style variations of archaeological objects with minimal human intervention. This is useful for sorting artefacts according to their form as one primary step in establishing typologies. If required, other important variables, like colour and texture, could also be incorporated by applying specific techniques from Computer Vision. Our method would also be useful for assessing the role of specific morphological attributes in existing classifications, as well as to determining, in a quantitative way, how similar an object is to certain canon. Given an artefact collection (e.g. stone masks, ceramic vessels, anthropomorphic figurines, etc.), the first step of our proposal consists in computing all the morphological variations within the set by applying a morphing algorithm. As its name implies, this transforms the shape of one object into another. One could, for example, transmute the geometric visual features of one stone mask into another (Figure 1).



Figure 1. The transformation of geometric features from one object onto another facilitates morphological analysis for archaeological applications, such as the analysis of style and/or feature extraction for typological studies.

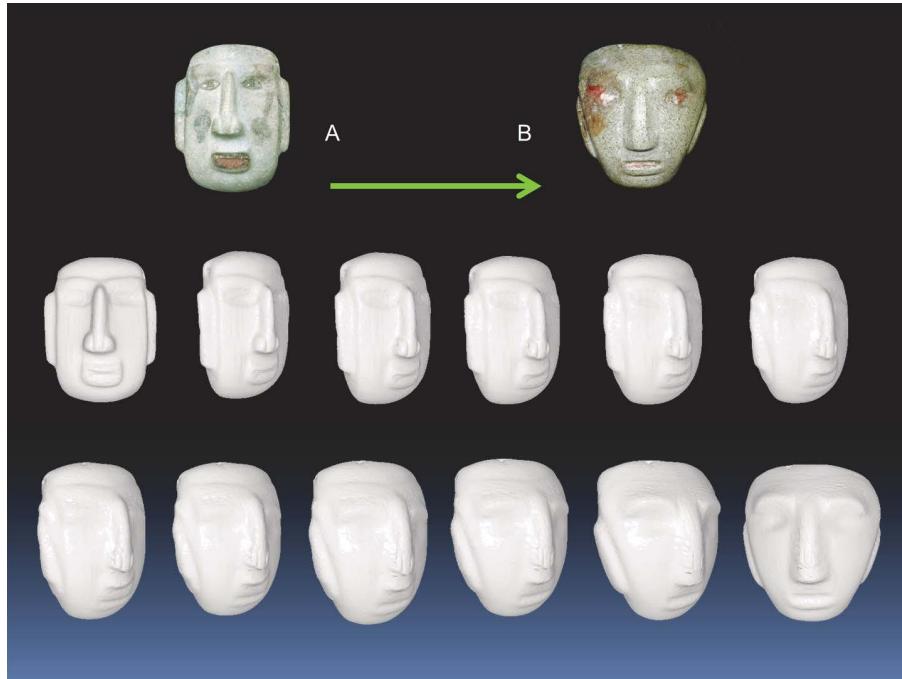


Figure 2. After applying a morphing algorithm we can obtain many “artificial” 3D models, whose geometric features lie in between two real artefacts. This new set of 3D models map all gradual transformations from object A to object B.

Using this technique, we plan to select a pair of archaeological objects of the same class but different appearance (e.g. two very different anthropomorphic masks or figurines) in order to produce several 3D virtual models whose morphology will lay in-between the original objects. This new set will map all gradual

transformations from object A to object B (Figure 2). By repeating the procedure for every pair-combination of artefacts (Figure 3), we will be able to obtain an atlas of all the 3D morphological variations expected for that collection. In mathematical terms, the process consists in populating the full high-

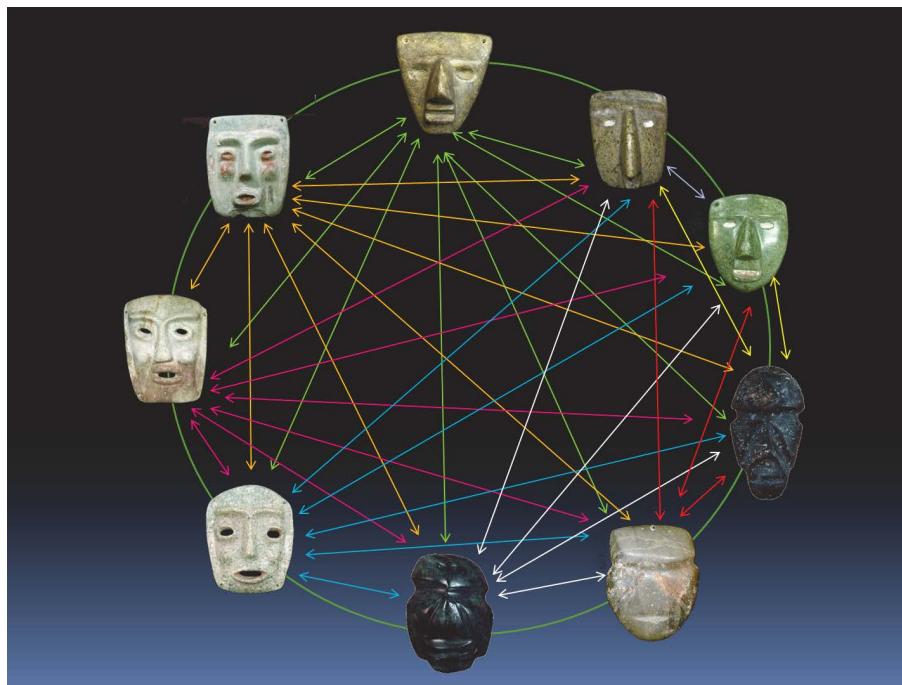


Figure 3. By repeating the procedure for every pair combination of artefacts, we are able to obtain an atlas of all the 3D morphological variations expected for that collection. In this example, there is a set of 9 masks, which yields 36 combinations on which we can apply the morphing algorithm to obtain a new set of 360 3D models. This will contain an atlas of morphological variations for this set. Using such database, we then can apply some deep-learning method to identify classes that represent particular styles in this collection.

dimensional feature space in which archaeological objects exist. Once this is done, we will apply machine learning models to classify feature-variations. We plan to test several algorithms for automatic classification (e.g. convolutional neural networks, support vector machines, random forest, Bayesian classifier, etc.) to adapt them to the needs of at least three archaeological collections. Through such process, objects could be sorted over the basis of their most significant shape attributes. We would also be able to measure which features are the most important in the definition of the style or styles of a collection. Both the methodology and software tools will be publicly shared.

The formal mathematical details of the morphological approach can be found in an original paper by Shelton (2000). Here, we plan to offer an intuitive explanation of the algorithm for the benefit of those Humanists who are not experts in mathematics. This can be summarized as follows:

- Mathematically speaking, the problem consists in finding correspondences between two 3D point-clouds or surface meshes. This means finding points in surface "A" that match corresponding points in surface "B" with minimal user intervention (Figure 4).
- The challenge is how to make that the algorithm recognizes meaningful geometric correspondences between models "A" and "B". In other words, how to find structural geometric features that define, for example, the nose of model "A" with the nose of model "B", and the same for all other features of the masks.

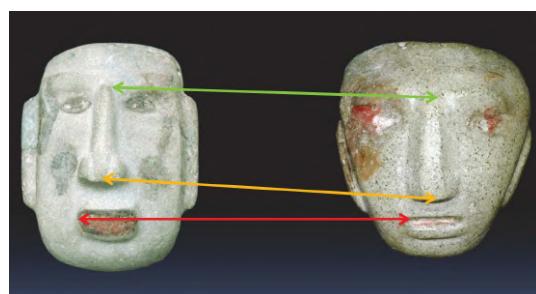


Figure 4. The main task of the algorithm is finding shape features of model A that match those in model B (e.g. the nose in A must have some correspondence with the nose in B), so that the deformation makes sense.

- The solution proposed by Shelton is a mathematical function $C(\cdot)$ that maps points in model A onto model B and fits three criteria: *Similarity*. For each point a on surface A, the mapping $C(a)$ must result in a point close to or on the surface B; *Structure*. Function C must produce the least possible distortion in the transition from A to B. In other words, the result of function $C(a)$ must have a geometric structure similar to A; *Plausibility*. Function C must represent a realistic model derived from surface A.

The first of these conditions indicates that the algorithm must find points in A that match points in B.

The second condition establishes that the correspondences found between A and B must not be arbitrary. On the contrary, the algorithm must find shape features of A that match those in B (e.g. the nose in A must have some correspondence with the nose in B), so that the deformation makes sense.

The third and last condition guarantees that the deformation includes the previous knowledge of the user in terms of which forms are acceptable for the deformation, because it makes no sense to transform a face mask into an airplane, for example.

STUDY CASE

The idea for this project came from the need to rank shape similarities in a collection of archaeological stone masks from Mexico. This includes masks belonging to several well-defined styles, but it also includes many others that cannot be clearly positioned within a specific class because they share features of two or more canonic styles (Figure 5).

These masks were found in the Sacred Precinct of Tenochtitlan, the main ceremonial Aztec complex, located in Mexico City. The schematic features of these objects set them apart from other artifacts with more naturalistic style. This has attracted the attention of many specialists and during the last three decades these items have been the subject of intense debate for two main reasons:

First, the 162 masks were located in 14 Aztec offerings dating from 1390 to 1469 A.C., yet they do not show typical "Aztec" features. Indeed, their



Figure 5. In the study case of stone masks from Mexico, we have 3 well-defined styles (i.e. Sultepec, Chontal y Mezcala), but there are items that do not fit perfectly in such types. The morphological analysis proposed here may help attribute such masks (shown on the right side of the picture) to the existing styles or it may help to define a new style.

appearance resembles artifacts from the State of Guerrero, particularly from the Mezcala region, which is hundreds of kilometers away from the ancient Tenochtitlan.

Such origin would not be rare, as it was common for the Aztecs to import goods from other regions either by trade or by extracting tribute from conquered towns. The style of the masks and figurines, however, is more difficult to explain. It is similar, if not identical, to the style of objects produced in Mezcala and other places of Guerrero during much earlier times, probably during Classic (200 to 1000 A.C.) or even Preclassic times (2000 B.C. to 200 A.C.), while the offerings are Late Postclassic contexts. This leads to the question: Did the Aztecs collect “antique” objects to re-use them in their own offerings?, or the Guerrero/Mezcala styles survived till the late Postclassic period and therefore the offering objects were produced during Aztecs times? It is worth noticing that before the Aztec offering findings very few Mezcala style artifacts had been found in Postclassic contexts. Unfortunately, not enough stratigraphic information is available for collections from Guerrero, so special-

ists rely purely on stylistic considerations to explain the chronology of these artifacts.

Second, it is not clear how many Guerrero/Mezcala styles exist. Some specialists believe there are at least five different traditions (Covarrubias, 1948, 1961; Olmedo and González, 1986; González and Olmedo, 1990), while others recognize only four (Gay, 1967) or two (Serra Puche, 1975). The diversity of views is due in part to a lack of contextual information available for the majority of artifacts found in Guerrero, but it also reflects the subjective criteria used to classify such artifacts.

Clearly, more objective methods are needed to answer questions such as: how many styles were developed in the Guerrero/Mezcala regions?; which specific styles are represented among the offering objects found in the Sacred Precinct of Tenochtitlan?; and more importantly for the purposes of this paper: To which style each mask belongs?

Previous studies have tried to solve some of these questions by analyzing object shapes with clustering methods (Olmedo and González, 1986 , González and Olmedo, 1990, Jiménez-Badillo and Ruiz-Correa, 2017), but we believe that the application of

morphing algorithms could produce a more objective assessment to solve the problem of style attribution in this and other archaeological collections. Our application takes examples of two canonical styles and applies the deformation algorithm in order to produce a hundred virtual 3D models whose shapes go from one to the other extreme. The virtual models produced in this way represent intermediate steps from style "A" to "B" (Figure 2). Each virtual model has associated a number that indicates its degree of similarity to style "A" or "B". We can then examine a real archaeological object "c" to determine if its shape is closest to "A" or "B" and by how much.

During the course of the project we will develop a web platform that makes the morphing algorithm available, as well as tools that show, in a visual way, which parts of a 3D model suffer more deformation while transitioning from style "A" to "B". This information will allow assessing in a quantitative way, which features are more important in defining a particular style (Figure 6). As this is a work in progress, we welcome feedback from the readers about the relevance of our tools to resolve similar or new archaeological questions and welcome collaboration with other research projects willing to try this generic software for new applications.



Figure 6. One advantage of Shelton (2000) algorithm is that it allows some tuning to measure the degree of deformation experimented for each feature of the 3D models. Our hope is that this will allow us highlighting those geometric features that are more important for a particular style.

CONCLUSION

A web platform will be implemented to share all the software tools developed over the course of the project, which will be organised around 3 main application channels:

1. **People Interaction.** Through this channel, scholars, students and anyone interested in the project can establish collaboration for future projects, as well as sharing data and resources from all over the world. The main objective is creating synergy to facilitate access to new 3D digital collections, and to define new initiatives of morphological analysis with applications to archaeology and the Humanities.
2. **Research.** This channel is dedicated to encourage specialised collaboration between experts in Computer Vision, Machine Learning and shape analysis interested in the development of new algorithms, applications and tools for morphological analysis in cultural heritage. It will facilitate access to papers, project proposals, discussion forums and source code. It is expected that from this site new solutions to technical problems evolve. For example, one pervasive challenge when applying machine learning to Archaeology is the lack of enough data to train automatic learning models. This channel could provide a forum for discussing new solutions, such as conditions for the application of transfer-learning techniques to train models with external knowledge.
3. **Services.** The third channel would be a service platform for the automatic recognition, analysis and classification of cultural heritage objects based on morphology. Any user will be able to upload a collection of 3D models to have it analysed with the software tools developed over the course of the project. For this operation, the user won't need any knowledge of Computer Vision or Machine Learning, because all necessary software will be accessible through a very easy-to-use interface.

Additionally, all the software tools and source code of the algorithms implemented during the course

of the project will be available on software platforms, such as GitHub.

REFERENCES

- Covarrubias, M. (1948). Tipología de la industria de piedra tallada y pulida de la cuenca del Río Mezcal. In *El Occidente de México*. México: Sociedad Mexicana de Antropología, pp. 86-90.
- Covarrubias, M. (1961). *Arte indígena de México y Centroamérica*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gay, C. T. (1967). *Mezcala Stone Sculpture: The Human Figure*. New York: The Museum of Primitive Art, Studies Number Five.
- González, C., y Olmedo, B. (1990). *Esculturas Mezcala en el Templo Mayor*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Jiménez-Badillo, D. and Román-Rangel, E. (2016). Application of the 'Bags-of-Words Model' (BoW) for Analyzing Archaeological Potsherds. In Campana, S., Scopigno, R., Carpentiero, G., and Cirillo, M. (eds.), *CAA 2015. Keep the Revolution Going. Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Vol. 2. Oxford: Archaeopress, pp. 847-856..
- Jiménez-Badillo, D. and Román-Rangel, E. (2017). Clasificación automática de fragmentos de vasijas arqueológicas mediante el modelo Bolsa de Palabras. In Jiménez-Badillo (ed.), *Arqueología Computacional. Nuevos enfoques para la documentación, análisis y difusión del patrimonio cultural*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 111-126.
- Jiménez-Badillo, D. and Ruiz-Correa, S. (2017). Análisis tridimensional de objetos arqueológicos con técnicas de visión por computadora. In Matos Moctezuma, E. and Ledesma Bouchan, P. (eds.), *Templo Mayor. Revolución y estabilidad*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 199-214.
- Jiménez-Badillo, D., Ruiz-Correa, S. and García Alfaro, W. (2010). 3D Shape Matching and Retrieval for Archaeological Analysis. In Melero, F. J., Cano, P. and Revelles, J. (eds.), *Fusion of Cultures. Abstracts of the 38th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*, Granada, Spain, April 6-9, 2010, pp. 583-586.
- Jiménez-Badillo, D., Ruiz-Correa, S. and García Alfaro, W. (2013). Developing a Recognition System for the Retrieval of Archaeological 3D Models. In Contreras, F., Farjas, M. and Javier Melero, F. J. (eds.), *CAA Fusion of Cultures. Proceedings of the 38th Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, Granada, Spain, April 6-9, 2010*. Oxford: Archaeopress, BAR International Series 2494, pp. 325-332.
- Olmedo, B., y González, C. (1986). *Presencia del estilo Mezcala en el Templo Mayor: Una clasificación de piezas antropomorfas*. Thesis presented as requirement for the degree of Bachelor in Archaeology. México: Escuela Nacional de Antropología e Historia.
- Román-Rangel, E. and Jiménez-Badillo, D. (2015). Similarity Analysis of Archaeological Potsherds Using 3D Surfaces. In Carrasco-Ochoa, J. A. et al. (eds.), *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 9116, *Proceedings of the 7th Mexican Conference on Pattern Recognition*, Mexico City, June 24-27, 2015. Switzerland: Springer International Publishing, pp. 125-134. DOI: 10.1007/978-3-319-19264-2_13
- Roman-Rangel, E., Jimenez-Badillo, D. and Aguayo-Ortiz, E. (2014). Categorization of Aztec Potsherds Using 3D Local Descriptors. In Jawahar, C. V. and Shan, S. (eds.), *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 9009: *Computer Vision - ACCV 2014 Workshops, Part II*, Singapore, November 1-2, 2014. Switzerland: Springer International Publishing, pp. 567-582. DOI: 10.1007/978-3-319-16631-5_42
- Román-Rangel, E., Jiménez-Badillo, D., and Marchand-Maillet, S. (2016a). Classification and Retrieval of Archaeological Potsherds Using Histograms of Spherical Orientation. *ACM Journal of Computing and Cultural Heritage* 9(3): 17:1-17:23.
- Román-Rangel, E., Jiménez-Badillo, D., and Marchand-Maillet, S. (2016b). Rotation Invariant Local Shape Descriptors for Classification of Archaeological 3D Models. In Martínez Trinidad, J. F. et al. (eds.), *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 9703: *Proceedings of the 8th Mexican Conference on Pattern Recognition*, Guanajuato, Mexico, June 22-23 2016. Switzerland: Springer International Publishing, pp. 13-22. DOI: 10.1007/978-3-319-39393-3_2
- Serra Puche, M. C. (1975). Intento de seriación en esculturas de Guerrero. Cronología del estilo Mezcala. In *XIII Mesa Redonda de la Sociedad Mexicana de Antropología*, Jalapa, México: Sociedad Mexicana de Antropología.
- Shelton, C. R. (2000). Morphable Surface Models. *International Journal of Computer Vision*, 38(1): 75-91.

Procesamiento de lenguaje natural en la conservación de la herencia cultural

Una red semántica del Popol Vuh

Ignacio Arroyo-Fernández

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM), MÉXICO

Mauricio Carrasco-Ruiz

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM), MÉXICO

Carlos-Francisco Méndez-Cruz

CENTRO DE CIENCIAS GENÓMICAS, UNAM, MÉXICO

Resumen: La extracción de información (*Information Extraction*, IE) y la recuperación de información (*Information Retrieval*, IR) son dos subáreas del procesamiento de lenguaje natural (*Natural Language Processing*, NLP). Entre otras cosas, el NLP (a su vez, una subárea de la Inteligencia artificial) utiliza métodos estadísticos para facilitar la interpretación humana de grandes cantidades de texto. Por una parte, las técnicas de IR se han utilizado ampliamente como parte modular de los motores de búsqueda Web que la mayoría de nosotros usamos hoy en día. Este tipo de técnicas son relativamente generales y al ser mayoritariamente estadísticas son aplicables a textos de temas muy diversos escritos en muchas lenguas. Por otra parte, los algoritmos de IE tratan con información mucho más específica que es clasificada automáticamente en estructuras predefinidas (e.g. formularios). Estas son más dependientes de la lengua y de las temáticas del texto. Aunque estas técnicas tratan con información específica, últimamente se han vuelto muy útiles debido al detalle con que permiten explorar grandes volúmenes de datos textuales. En este capítulo, se analiza la implementación de un método basado en IR e IE aplicado al Popol Vuh, un texto de narraciones culturales y mitológicas sobre la creación del mundo originalmente preservadas a través de la tradición oral maya. El objetivo general de este análisis es la extracción de relaciones entre entidades involucradas en algunos aspectos de la cultura maya para luego visualizarlas en una red semántica. Nuestro estudio ilustrativo sobre el Popol Vuh pone a consideración de la comunidad científica el potencial de las técnicas de NLP para su aplicación en la descripción e interpretación de cualquier colección de documentos de herencia cultural.

Palabras clave: red semántica; extracción de relaciones; Popol Vuh; procesamiento de lenguaje natural

Abstract: Information extraction (IE) and information retrieval (IR) are two sub-areas of Natural Language Processing (NLP). In general, NLP (in turn, a subarea of Artificial Intelligence) uses statistical methods to facilitate the interpretation of large amounts of text by using computers. On the one hand, IR techniques have been used as core modules of most of the Web search engines we use nowadays. IR techniques are relatively general and, since they are mostly based on statistics, they are applicable to many languages and text topics. On the other hand, IE algorithms deal with much more specific information, classified automatically into predefined structures (e.g. templates). These are more dependent on the language and on the topics of the text. Although such techniques deal with specific information, they have been found very useful in terms of the detail that they allow for exploring large volumes of textual data. In this chapter, the implementation of a method based on IR and IE applied to the Popol Vuh, a text of cultural and mythological stories about the creation of the world, preserved through Mayan oral tradition. The general objective of this analysis is extracting the relationships between the entities involved in some aspects of the Mayan culture and then visualize them in a semantic network. Our illustrative study on the Popol Vuh brings to the consideration of the scientific community the potential of NLP techniques for its application in the description and interpretation of any collection of cultural heritage documents.

Keywords: semantic network; relation extraction; information retrieval; cultural heritage; Popol Vuh

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, existen repositorios digitales donde diferentes comunidades introducen información en diversos formatos como, por ejemplo, la Europeana collections¹, un enorme repositorio que ofrece variados recursos digitales sobre arte y cultura, o el repositorio Google Arts & Culture, que acumula gran cantidad de fotografías de obras de arte. Otros ejemplos son los sitios Web de distintos museos, por ejemplo, los del Museo Nacional del Prado² o del Rijksmuseum de Ámsterdam³, ambos, repositorios digitales de gran importancia para el acceso a la cultura.

Dentro de los repositorios digitales, podemos encontrar aquellos dedicados al almacenamiento de fuentes documentales (textuales) sobre diversos aspectos de la cultura. Algunos ejemplos son la World Digital Library⁴ o la European Library⁵. En el mundo hispánico, un repositorio digital muy conocido es la Biblioteca Virtual Cervantes⁶. Finalmente, para dominios de conocimiento más específico, existen ejemplos como la Biblioteca Digital del Pensamiento Novohispano⁷ y el repositorio digital de Conclusiones CM de Pico della Mirandola⁸.

Para los textos relacionados con la herencia cultural de México, que es el dominio principal de este capítulo, existen repositorios digitales donde es posible encontrar información sobre numerosos temas. Dos ejemplos son la Mediateca del Instituto Nacional de Antropología e Historia⁹ y Mexicana¹⁰, un repositorio de patrimonio cultural impulsado por la Secretaría de Cultura de México. Estos constituyen esfuerzos significativos para el acceso al conocimiento cultural mexicano y su preservación.

Repositorios como estos usan métodos de recuperación de información (*information retrieval* o IR, en inglés) y están diseñados principalmente para hacer consultas a colecciones grandes de docu-

mentos electrónicos (Manning, Ragavan y Schütze, 2008). Estos métodos devuelven información relevante para las consultas a partir de contenidos multimedia, documentos históricos, trabajos de investigación y divulgación sobre sitios arqueológicos y antropológicos, tanto de culturas antiguas como de culturas contemporáneas de México (Jiménez-Badillo y Gándara Vázquez, 2016). Sin embargo, en este tipo de consultas el análisis e interpretación de la información contenida en los documentos son tareas que quedan completamente a cargo del usuario o lector (Velasco Castelán, 2017). En muchas ocasiones, esto implica el procesamiento no automatizado de gran cantidad de documentos, que aun aplicando filtros mediante IR, pueden llegar a sumar miles de textos. Dicha tarea resulta complicada, costosa (De la Garza Cabrera et.al., 2018) e incluso imposible para una persona que busca información muy específica (e.g. los roles de personajes históricos).

En este capítulo ponemos a consideración de la comunidad académica el uso de herramientas computacionales alternativas, basadas en el procesamiento de lenguaje natural (*Natural Language Processing* o NLP, en inglés) para asistir en la descripción e interpretación de colecciones de documentos con fines de estudio y conservación de la herencia cultural. NLP es una subárea de las ciencias de la computación y de la inteligencia artificial (AI, por sus siglas en inglés) que se encarga del estudio y desarrollo de métodos automáticos que proveen una interfaz entre las computadoras y las lenguas naturales. Entre las interacciones que facilita este tipo de interfaz se encuentran los métodos de extracción de información (IE, por sus siglas en inglés) y de recuperación de información, que podrían usarse en grandes colecciones de textos almacenados en repositorios digitales (e.g. la Mediateca del INAH, el Centro de Información sobre el Patrimonio CDMX¹¹, encyclopedias digitales como la Wikipedia o incluso la misma Web).

En este capítulo, presentamos un uso alternativo de una técnica de NLP para hallar palabras informativas que definen temáticas. Se trata de cuantificar

¹<https://www.europeana.eu/portal/es>

²<https://www.museodelprado.es/>

³<https://www.rijksmuseum.nl/en>

⁴<https://www.wdl.org/en/>

⁵<https://www.theeuropeanlibrary.org/tel4/>

⁶<https://www.cervantesvirtual.com/>

⁷<https://www.bdpn.unam.mx/>

⁸<https://cds.library.brown.edu/projects/pico/about.php>

⁹https://medioteca.inah.gob.mx/islandora_74/

¹⁰<https://mexicana.cultura.gob.mx/>

¹¹www.patrimonio.cdmx.gob.mx

la relevancia de una (o algunas) palabra(s) en un segmento de texto (parte de un documento) e identificar a otros segmentos donde la(s) misma(s) palabra(s) sea(n) también relevante(s). Ello permite identificar grupos de segmentos de texto con palabras relevantes en común. En el caso específico del Popol Vuh, un lector no familiarizado con el documento, podría usar dicho método para encontrar aquellos segmentos de texto que constituyen el eje temático del libro.

Los métodos de IE procesan elementos de texto de manera más estructurada y por ello obtienen información más específica. Por ejemplo, una vez que un documento ha sido recuperado usando técnicas de IR, un método de IE puede emplearse para encontrar relaciones entre entidades o conceptos (e.g. "Tlaloc es el dios de la fertilidad"). Una aplicación de impacto social de la IE ha sido extraer entidades y relaciones en literatura sobre biomedicina, por ejemplo relaciones entre medicamentos y enfermedades. Algunas de estas relaciones aún son desconocidas y entonces podrían ser inferidas por el algoritmo de IE para ayudar a rediseñar tratamientos médicos.

Este capítulo puede considerarse como un intento de replicar este impacto social en la conservación del patrimonio cultural. La extracción de relaciones es considerada en este capítulo como un paso significativo hacia la descripción e interpretación semiautomática de los datos de texto contenidos en cualquier repositorio cultural. Como mencionamos antes, el caso de aplicación para nuestra metodología lo constituye el Popol Vuh.

El análisis del Popol Vuh resulta interesante porque su contenido es predominantemente metafórico (característico de las culturas antiguas). Además, dado que tiene un carácter mitológico, el libro plantea una serie de retos de ambigüedad en diferentes niveles del lenguaje, especialmente en el nivel semántico, ya que el discurso expresado en ese texto se presta a múltiples interpretaciones. Estos retos permiten evaluar el comportamiento de los métodos más avanzados de IR e IE más allá de los análisis de textos que contienen niveles de lenguaje mucho menos ambiguos.

EL POPOL VUH

El Popol Vuh, "libro de la comunidad", contiene narrativas culturales y mitológicas sobre la creación del mundo, sobre el universo y sobre el papel del hombre en el cosmos, las cuales fueron originalmente preservadas a través de la tradición oral maya (Recinos, 1954, 1960; Vela, 2007). Debido al resultado de los esfuerzos dedicados a su conservación, el Popol Vuh ha sido considerado como el libro completo más importante dentro de los textos mayas.

En este proyecto, utilizamos una versión del Popol Vuh en inglés (Recinos 1954), debido a que los métodos de NLP aplicados fueron desarrollados para ese idioma. Sin embargo, existen proyectos de investigación que tratan de adaptar este enfoque a otras lenguas como el español, tanto contemporáneo como pre-moderno, pero aún queda mucho trabajo por hacer.

El Popol Vuh está dividido en 3 partes:

1. El mito de la creación.
2. La leyenda de los héroes divinos.
3. La historia del linaje quiché.

Durante el mito de la creación, se menciona a los primeros señores, aquellos que crearon las montañas, los valles, las plantas y los animales, quienes, debido a la necesidad de tener seguidores que los alabaran, crearon a los primeros hombres de barro y que posteriormente, al ver que estos primeros hombres se disolvían con el agua o quedaban inmóviles, decidieron destruirlos. Los dioses crearon después hombres de madera que hablaban y se multiplicaban, pero no tenían alma, ni memoria; no pensaban y no rezaban. Por lo tanto, los destruyeron con un diluvio y los que sobrevivieron evolucionaron como monos. Despues de una serie de intentos, los señores crearon criaturas de maíz y empezaron a moldearlas hasta que alcanzaron la forma de un hombre. Así fueron los inicios de la humanidad.

La leyenda de los héroes divinos habla de dos gemelos muy hábiles y alegres en el juego de pelota (Vucub-Hunahpú y Hun-Hunahpú). Cuando jugaban, hacían tanto ruido que molestaban a los dioses del Xibalbá. A estos les pareció que ese comportamiento

era insolente, así que los retaron a un torneo. Los gemelos perdieron y, como castigo, los decapitaron. La cabeza de uno de los gemelos, Hun-Hunahpú, fue colgada en un árbol de calabazas. Una doncella llamada Xquic oyó acerca del árbol y fue en su búsqueda. Al encontrarlo se acercó y la cabeza de Hun-Hunahpú le escupió en la mano, fecundándola. Desterrada de su pueblo, decidió ir al pueblo de donde era originario aquel que la fecundó. Xquic esperaba obtener ayuda de su suegra Ixmukané para concebirlos y tuvo que probar que los gemelos eran realmente hijos de Hun-Hunahpú.

Una vez que consiguió la ayuda de su anciana suegra, Xquic concibió a dos gemelos. Estos escucharon la historia de su padre y de su tío (los dos primeros gemelos), por lo que decidieron tomar venganza contra los señores de Xibalbá. Para lograrlo, debieron de entrar a una cueva y recorrer el camino negro. Al cumplir con esta misión, los gemelos también derrotaron a los señores de Xibalbá. Al final, uno de ellos se transformó en el sol y el otro en la luna.

Finalmente, la tercera parte narra los días de la tribu quiché hasta la conquista española.

METODOLOGÍA

La metodología de este trabajo está basada en procedimientos clásicos de IR e IE, desarrollados en el campo de NLP y consta de las etapas descritas a continuación.

Primero, el Popol Vuh fue procesado por un algoritmo de Resumen Automático Extractivo¹² (Mani 2001). Este algoritmo es capaz de procesar uno o más documentos, de tal manera que el resultado de ello son las ideas más importantes de los documentos de entrada, formando así una versión reducida o condensada de los mismos.

Una vez obtenido un resumen del Popol Vuh, éste fue procesado usando un Análisis de Semántica Latente (*Latent Semantic Analysis* o LSA, en inglés). Para este análisis, se calcula la frecuencia de ocurrencia de cada palabra diferente del texto (Deerwester et.al., 1990; Martin y Berry 2007). Después, se calcula el coeficiente de información

de cada palabra aplicando una medida conocida como frecuencia de término-frecuencia inversa de documento (*Term Frequency-Inverse Document Frequency* o TF-IDF, en inglés), que de hecho mide qué tan importante es la palabra considerando tres puntos de vista de su probabilidad (Aizawa 2003): (a) la probabilidad de ser observada en todo el libro; (b) la probabilidad de ser observada en varias líneas (número de líneas que la comparten); y (c) la probabilidad de que sea observada en una línea dada. El procedimiento permite detectar cuáles palabras tienen una medida de probabilidad que las hace más informativas y por lo tanto resalta las palabras más importantes (Salton et. al., 1983; Sparck Jones, 1972).

Con ello, cada línea del texto es representada mediante un vector disperso formado por los coeficientes de información de cada palabra de la línea representada. Como resultado de representar todas las líneas del libro se obtiene una matriz de información. Esta matriz es procesada a su vez por el algoritmo de Descomposición en Valores Singulares (*Singular Value Decomposition* o SVD, en inglés). Este calcula los *eigenvectores* de la matriz de información, mismos que apuntan hacia aglomeraciones de líneas del texto, representadas por vectores de información (Eckart y Young, 1936). Estas aglomeraciones se interpretan como temáticas que se desarrollan a través del libro. Cada temática está formada por una combinación de palabras informativas, así que es posible identificar las temáticas más importantes dentro del Popol Vuh.

En la última etapa, construimos una red semántica del libro completo usando un método de IE llamado Extracción de Relaciones de Dominio Abierto (*Open Relation Extraction* o OpenRE, en inglés)¹³. OpenRE forma tuplas de información donde se expresan relaciones entre conceptos (e.g. <Dios, manda, castigo>), mediante acciones o estados detectados a partir de la sintaxis: sujeto, verbo y objeto (Banko et al., 2007; Banko y Etzioni, 2008). Para esto utilizamos el sistema de NLP llamado Graphene¹⁴.

¹²<https://github.com/neopunisher/Open-Text-Summarizer>

¹³<https://stanfordnlp.github.io/CoreNLP/openie.html>

¹⁴<https://github.com/Lambda-3/Graphene>

Luego se extrajeron subredes de la red semántica del libro completo usando las palabras informativas de las temáticas descubiertas previamente con SVD. Por ejemplo, se extrajo de la red completa solamente aquellos nodos conectados con la palabra "lords", que resultó ser una palabra informativa de una temática descubierta. Finalmente, se discutió sobre la pertinencia de estas las subredes obtenidas desde el punto de vista de qué tan informativas eran sobre el Popol Vuh.

Es importante decir que los autores de este capítulo no son expertos en el Popol Vuh (tampoco en cultura maya), de manera que los ejemplos de descripción e interpretación que se presentan no pretenden en absoluto apoyar, desmentir o proponer hipótesis sobre los aspectos religiosos y mitológicos de la cultura maya quiché, sino ilustrar cómo pueden aplicarse las técnicas de NLP para el análisis de documentos históricos.

EXPERIMENTOS Y DISCUSIÓN

Resumen automático, temáticas y entidades

El resumen automático del Popol Vuh fue la primera etapa de nuestra metodología de análisis. La versión en inglés del Popol Vuh consta de un total aproximado de 64400 palabras. Obtuvimos un resumen al 5% de compresión, así que el resultado fue una versión comprimida de 3300 palabras. Como el supuesto de nuestra metodología de análisis es tener poco o nulo conocimiento del contenido del libro, este paso ayuda significativamente a reducir el volumen de texto que debemos analizar manualmente para describir y/o interpretar algún aspecto relevante del libro de manera muy general.

El siguiente paso fue calcular la importancia de las palabras y los eigenvectores del resumen usando TF-IDF seguido de SVD. Se generó un conjunto de 100 eigenvectores, cada uno asociado a una combinación de palabras que definieron temáticas. En nuestro caso particular, se escogió como referencia el eigenvector número 8, es decir, la octava temática más importante.

La combinación de palabras proyectadas sobre el eigenvector 8 es la siguiente ('palabra', peso):

('lords', 0.726), ('name', -0.342), ('first', 0.284), ('shall', -0.213), ('two', 0.160), ('went', 0.131), ('quiche', -0.111), ('came', 0.104), ('one', -0.100), ('said', -0.090), ('according', -0.088), ('way', 0.087), ('come', 0.078), ('house', 0.074), ...

Como puede verse, el eigenvector está ubicado en medio de un cúmulo de líneas de texto que contienen a las palabras "lords", "name", "first", etc. La palabra "lords" (señores) es un sustantivo muy informativo en el Popol Vuh. Ello indica a su vez que es importante, por lo que asumir que vale la pena indagar sobre ella para saber algo relevante sobre el libro es bastante plausible. Si se busca "lords" en el libro, se obtienen los siguientes segmentos de texto como:

A. "And having gone to play ball on the road to Xibalba, they were overheard by Hun-Came and Vucub-Came, the lords of Xibalba."

B. "What are they doing on earth? Who are they who are making the earth shake, and making so much noise? Go and call them! Let them come here to play ball. Here we will overpower them! We are no longer respected by them. They no longer have consideration, or fear of our rank, and they even fight above our heads, said all the lords of Xibalba."

C. "All of them held a council. Those called Hun-Came and Vucub-Came were the supreme judges. All the lords had been assigned their duties. Each one was given his own authority by Hun-Came and Vucub-Came."

D. "They were, then, Xiquiripat and Cuchumaquic lords of these names. They were the two who caused the shedding of blood of the men."

El segmento A constituye de hecho información importante sobre el contenido del libro ya que define implícitamente a "lords" como "Hun-Came and Vucub-Came, the lords of Xibalba" (Hun-Came y Vucub-Came, los señores de Xibalbá). El segmento B menciona una situación importante: la inconformidad de los señores de Xibalbá debida al comportamiento insolente de sus creaciones (los hombres) en la tierra. El segmento C indica que hay más de dos señores de Xibalbá y que en conjunto forman un consejo encargado de emitir juicios, pero que hay una jerarquía en dicho consejo y que Hun-Came y Vucub-Came son los señores más importantes. El segmento D provee algunos detalles sobre un grupo más espe-

cífico de individuos que integran el consejo de los señores de Xibalbá. Se trata de Xiquiripat and Cuchumauquic, cuya función asignada por los señores supremos (Hun-Came y Vucub-Came) como miembros del consejo es la de provocar el derramamiento de sangre entre los hombres. Se puede observar que muchas otras funciones asignadas a otros señores del inframundo tienen de hecho forma de castigo; situación que también se confirma mediante la frase "*And having gathered in council, they discussed how to torment and wound Hun-Hunahpu and Vucub-Hunahpu*". Así, atormentar y herir parece ser el objetivo en común entre todos los señores de Xibalbá.

La relevancia de "lords", estadísticamente estimada mediante LSA, en conjunto con las funciones ejercidas por la mayoría de los miembros del consejo, le otorgan al Popol Vuh un carácter de instrumento de control, infundiéndo formas de escarmiento en la sociedad maya quiché. Cabe señalar que en los segmentos extraídos se observa también un aspecto relevante en común sobre el contenido de la narración. Se trata de "jugar a la pelota", actividad que

parece tener un rol de interfaz entre la autoridad (los señores de Xibalbá) y sus súbditos (los hombres). Y si la autoridad basa su operación en el escarmiento, el jugar pelota parece estar en medio de este y los hombres (Cohodas, 1975; Knauth, 1961).

La siguiente palabra informativa para el eigenvector 8 es "first", aunque no actúa como sustantivo. Esta palabra ofrece mayor detalle sobre la temática principal del Popol Vuh. Esto es, si estamos estudiando al "libro de la creación", parece natural que su contenido hable mucho de "lo que ocurrió primero", de aquello que creó a las primeras cosas y a los primeros seres. Existen también los primeros intentos de los señores de crear a los hombres. Cómo se comportaban primero, y cómo lo hacían después. Lo primero no fue satisfactorio para los señores (los hombres de barro y los de madera). Lo que vino después fue todavía menos satisfactorio para ellos. Las últimas creaciones de los señores (los hombres de carne) resultaron tener la habilidad de reclamar su lugar en la tierra y triunfaron.

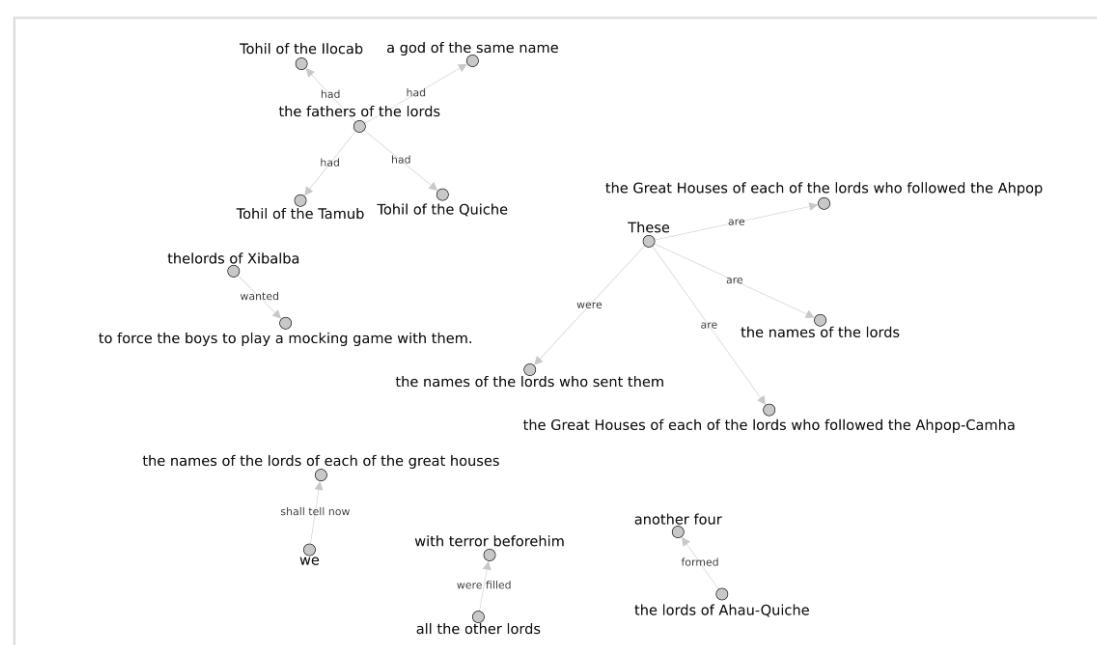


Figura 1. Subconjuntos de nodos que forman subgrafos de la red semántica del Popol Vuh. En algunos casos se muestran relaciones interesantes (por ejemplo, los dos subgrafos de la parte superior izquierda) que revelan información sobre los padres de los señores y sobre uno de sus propósitos principales en la leyenda (incluyendo el terror asociado a ellos, revelado en la relación binaria mostrada en la parte inferior de la figura). En nuestro contexto de aplicación, las otras relaciones detectadas por el método pueden considerarse artefactos, pues estas están incompletas debido a la ambigüedad de las correferencias (pronombres, principalmente).

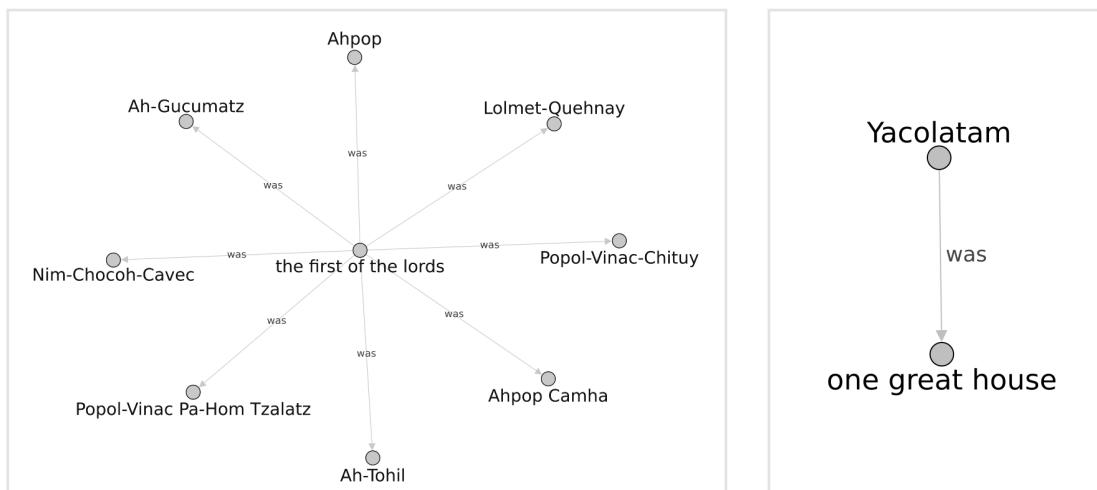


Figura 2 (izq) En este subgrafo, el método reveló ocho de los nueve nombres de los señores de Cavec.

Figura 3 (der) Subgrafo mediante el cual el método indica una relación binaria que revela a Yacolatam como una de las grandes casas.

Los segmentos que se describen a continuación fueron recurridos del libro usando palabra ‘first’. El segmento “When the Popol Vuh enumerates persons of the two sexes, it will be observed that it gallantly mentions the woman first.” fue recuperado de una nota al pie que se encontraba en el libro y habla sobre el orden en que se mencionan a dos personas de diferente género (Cobián, 1999). En el segmento “This is the first account, the first narrative. There was neither man, nor animal, birds, fish, crabs, trees, stones, caves, ravines, grasses, nor forests; there was only the sky”, la palabra “first” adquiere cierta importancia si sabemos que el Popol Vuh es un tratado sobre el origen del mundo; es decir, sobre las primeras cosas o conceptos que surgieron. El segmento “The first is called Caculha Huracan. The second is Chipi-Caculha. The third is Raxa-Caculha. And these three are the Heart of Heaven.” es bastante interesante, pues nos da información importante sobre la creación de los hombres de maíz: la humanidad según la cultura maya. Nos habla de los dioses artificiales de esta gran hazaña, de los cuales el primero es Caculha Huracan (el rayo de una pierna). Otros dos dioses participantes en la creación también son mencionados en el fragmento de texto y en orden consecutivo. Juntos los tres forman “El corazón del cielo”.

Extracción de relaciones y visualización de una red semántica

Algo importante para saber sobre un texto son sus entidades (nombres propios y sustantivos) y cómo estas interactúan (mediante verbos), construyendo así la historia contada en él. Por lo tanto, decidimos llevar a cabo la visualización de la red semántica del Popol Vuh con la finalidad de mostrar cómo este tipo de herramientas pueden asistir a un lector inexperto en la descripción e interpretación de un texto cultural. Como ejemplos, mostramos varios grafos (subredes) usando Gephi¹⁵, una plataforma especializada en la visualización de grafos. Estos representan porciones de la red semántica obtenida a partir del Popol Vuh. Todos estos grafos están enfocados en una entidad central y sus interacciones con otras entidades. Mostrar la red completa es imposible por la cantidad de entidades y relaciones que contiene. Una pequeña parte de la red puede verse en la Figura 1, la cual muestra seis grafos a manera de ejemplo.

Dentro de la red semántica construida automáticamente se encontraron *relaciones de existencia*, esto es, fragmentos de texto donde se dice que algo existe o es. Entre otras cosas, este tipo de relaciones podría ayudar a establecer a los diversos personajes de la historia contada en el texto. Por ejemplo, en

¹⁵ <https://gephi.org>

Let no one come to pick this fruit and let no one come and sit under this tree

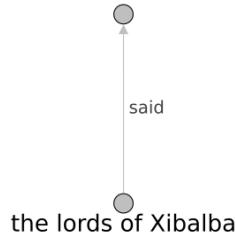


Figura 4. Subgrafo mediante el cual el método indica una relación binaria que revela uno de los mandatos de los señores, que a su vez motiva gran parte de las temáticas del libro.

un grafo encontramos quiénes eran los señores de Cavec (Figura 2). En este caso se mencionan a 8 de los 9 señores (faltó Uchuch-Camha). Si bien el grafo muestra indicios de que son "señores" y por tanto personajes del Popol Vuh, no dice que son los señores de Cavec. Esto se explica por las formas sintácticas complejas muy presentes en el texto: *"Here, then, are the names of the lords of Cavec. The first of the lords was Ahpop, [then] Ahpop-Camha, Ah-Tohil, Ah-Gucumatz, Nim-Chocoh-Cavec, Popol-Vinac-Chituy, Lolmet-Quehnay, Popol-Vinac Pa-Hom Tzalatz, and Uchuch-Camha"*. Nótese cómo el texto se refiere a los señores de Cavec en la primera frase, pero los menciona en la segunda. Algo relevante de este grafo es que muestra cómo la herramienta utilizada

detectó de forma acertada los nombres de los señores, a pesar de que no son palabras del inglés. Incluso acertó en uno formado por varias palabras: *Popol-Vinac Pa-Hom Tzalatz*.

Las relaciones de existencia presentes en la red semántica también provienen de construcciones sintácticas que no explicitan el verbo "ser". En este caso, el generador de tuplas de Graphene infiere el verbo y lo usa para establecer una relación, como es el caso de la frase *"Yacolatam, one Great House"*, que deriva en un grafo con relación existencial y que indica que una de las grandes casas era Yacolatam (Figura 3).

Como parte de uno de los momentos más importantes de la leyenda de los héroes divinos, en donde,

I am the one you must take because I am the way of the Lord .



the old lady



Figura 5 (izq) Subgrafo mediante el cual el método indica una relación binaria que revela la personificación de entidades inertes a través de verbos de acción atribuibles únicamente a entidades animadas (en este caso al "camino negro").

Figura 6 (der) Subgrafo mediante el cual el método indica una relación triple que revela el género y nombre de uno de los personajes importantes en la leyenda, "Xquic".

al ser derrotados los gemelos, los señores de Xibalbá decidieron decapitarlos y colocar la cabeza de uno de ellos en un árbol de calabazas, la red semántica muestra evidencia de las acciones de estos señores. En este caso, se puede recuperar un grafo que muestra en su arco el verbo de dicción “decir” (Figura 4). Se trata de la declaración verbal de un “mandato” de los señores de Xibalbá con el que prohíben cortar frutos del árbol y sentarse bajo él. Este subgrafo contiene la palabra ‘said’ como relación, misma que caracteriza el discurso directo, presente en el Popol Vuh.

Otro ejemplo del discurso directo es cuando “el camino negro” (*the black road*) habla con los hermanos para decirles que él es el indicado para llegar con los señores de Xibalbá (Figura 5). Nuevamente, el arco está asociado al verbo de dicción “decir”. Este grafo haría referencia a la segunda parte de la leyenda de los hermanos, quienes, en busca de venganza por derrotar a los señores de Xibalbá, deben entrar a una cueva que tiene múltiples caminos, pero solo uno de ellos es el indicado. Este grafo también nos permite mostrar que el extracto de relaciones identifica frases completas como uno de los constituyentes de la relación, lo cual hace más interesante, desde nuestro punto de vista, a la red semántica obtenida automáticamente.

Estas relaciones basadas en verbos de dicción resultaron interesantes también porque suelen darse con entidades inanimadas, como “el camino negro”. Esto es, el discurso del Popol Vuh humaniza entidades inanimadas atribuyéndoles la capacidad de hablar. También, cabe señalar que la forma verbal “said” fue la palabra más informativa del texto, con la mayor correlación hacia el eigenvector más importante (el número 1) de la matriz de información.

Otras veces, la red semántica capturó relaciones entre entidades del Popol Vuh, por ejemplo, entre Xquic, madre de Hunahpu e Xbalanque, y la anciana (*the old lady*), abuela de los gemelos y suegra de Xquic (Figura 6). Esta interacción tiene que ver con la segunda parte de la leyenda de los hermanos, en donde Xquic necesitaba el permiso de la anciana para concebir a los gemelos en un lugar seguro. Nótese que el grafo presenta la relación entre estas dos entidades mediante una entidad *mediadora*: la

mujer (*the woman*), que además se menciona siempre en primer lugar según nuestro análisis de palabras informativas (ver sección Resumen automático, temáticas y entidades). Las relaciones mostradas en el grafo dan cuenta de cómo se llamaba la mujer; también dice que ésta es la mujer que habla con la anciana. Nuevamente, el grafo refleja el tipo de discurso directo del Popol Vuh.

CONCLUSIONES

La metodología presentada en este capítulo mostró cosas interesantes incluyendo a los sustantivos más informativos y su papel en el libro. Con ello fue posible además describir la evidencia textual presente en el mismo; primeramente, en términos de las temáticas principales, en este caso definidas por un conjunto de palabras de las cuales se seleccionaron las dos más informativas. Por un lado, tenemos a la palabra “lords” (los señores o dioses), que resultó ser un indicador preponderante del Popol Vuh como instrumento de control de comportamiento. Y por otro lado la palabra “first”, que resultó denotar la importancia del orden de las cosas en la cultura maya.

Después, en términos de las relaciones semánticas que ocurren en estas temáticas importantes detectadas, fue posible confirmar relaciones semánticas entre personajes importantes del Popol Vuh así como de sus roles principales. Algunas relaciones incluso fueron inferidas. Algo importante desde el punto de vista de NLP es que las relaciones extraídas y su visualización permitieron observar la importancia del discurso directo en el libro. Esta importancia fue incluso cuantificada, ya que el verbo “say” (decir) fue además el más informativo del libro.

Como líneas futuras de investigación queda pendiente el análisis de más palabras informativas y de más eigenvectores de la matriz de información del Popol Vuh, así como la exploración de más relaciones semánticas profundizando en el nivel de detalle. Ello puede plantear más preguntas, o bien, una orientación estadística en la proposición de nuevas respuestas e interpretaciones del simbolismo maya (Turner, 1999).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aizawa, A. (2003). An information-theoretic perspective of tf-idf measures. *Information Processing & Management*, 39(1), 45-65.
- Banko, M., & Etzioni, O. (2008). The tradeoffs between open and traditional relation extraction. *Proceedings of ACL-08: HLT*, 28-36.
- Banko, M., Cafarella, M. J., Soderland, S., Broadhead, M., & Etzioni, O. (2007, January). Open information extraction from the web. En *IJCAI*, 7, 2670-2676.
- Cobián, D. (1999). *Génesis y evolución de la figura femenina en el Popol Vuh*. México: Plaza y Valdés Editores.
- Cohodas, M. (1975). The symbolism and ritual function of the Middle Classic ball game in Mesoamerica. *American Indian Quarterly*, 2(3), 99-130. DOI: 10.2307/1183498
- Deerwester, S., Dumais, S. T., Furnas, G. W., Landauer, T. K., & Harshman, R. (1990). Indexing by latent semantic analysis. *Journal of the American Society for Information Science*, 41(6), 391-407.
- De la Garza Cabrera, P., Vander Meeran, M., Ibarra Carmona, L. O., Pérez Castellanos, N., Orejel Delgadillo, C., Pérez Ramírez, S. Y., Ontiveros Ramírez, D. Y., Ochoa Gutiérrez, D., Arriaga González, H., y Gutiérrez, G. (2018). Proyecto de atención del acervo documental de Ixcamilpa de Guerrero. Conservación y Restauración. 11/12 Abril-Agosto, 9-25. Disponible en http://mediateca.inah.gob.mx/islandora_74/islandora/object/articulo:16595, consultado el 26 mayo 2019.
- Eckart, C., & Young, G. (1936). The approximation of one matrix by another of lower rank. *Psychometrika*, 1(3), 211-218.
- Gatica Porcayo, G. (2016). Tecnologías digitales para la difusión del patrimonio cultural. Ciudad de México. Mi Patente. Revista Digital sobre Patentes, Marcas y Propiedad Intelectual. Disponible en <https://www.mipatente.com/tecnologias-digitales-para-la-difusion-del-patrimonio-cultural/>, consultado el 26 mayo 2019.
- Jiménez-Badillo, D., y Gándara Vázquez, M. (eds.). 2016. El patrimonio cultural y las nuevas tecnologías. Experiencias recientes desde México. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Knauth, L. (1961). El juego de pelota y el rito de la decapitación. *Estudios de cultura Maya*, 1, 183-198, DOI: <http://dx.doi.org/10.19130/iifl.ecm.1961.1.205>.
- Mani, Inderjeet. (2001). *Automatic summarization*. Amsterdam: John Benjamins Publishing.
- Manning, C., Raghavan, P., & Schütze, H. (2008). *Introduction to Information Retrieval*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Martin, D. I., & Berry, M. W. (2007). *Mathematical foundations behind latent semantic analysis*. En T. K. Landauer, D. S. McNamara, S. Dennis, W. Kintsch (eds.), *Handbook of latent semantic analysis*. New York: Lawrence Erlbaum Associates, 35-56.
- Recinos, A. (1960). *Popol Vuh: Las antiguas historias del Quiché*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Recinos, A. (1954). *Popol Vuh. The Book of the People*. Traducción al inglés por Delia Goetz y Sylvanus Griswold Morley. Los Angeles: Plantin Press.
- Salton, G., Fox, E. A., & Wu, H. (1983). Extended Boolean information retrieval. *Communications of the ACM*, 26(11), 1022-1036.
- Sparck Jones, K. 1972. A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval. *Journal of Documentation* 28(1), 11-21.
- Turner, V. 1980. Símbolos en el ritual Ndembu. En *La selva de símbolos*. Madrid: Siglo XXI, 21-52.
- Vela, E. (2007). El Popol Vuh, el libro sagrado de los mayas. *Arqueología Mexicana*, 88, 42-50.
- Velasco Castelán, T. (2017). La Mediateca del INAH. En *Conservación y Restauración*. 11/12 Abril-Agosto, 212-214. Disponible en http://mediateca.inah.gob.mx/islandora_74/islandora/object/articulo:16595, consultado el 26 mayo 2019.

Análisis histórico-geográfico de documentos novohispanos del siglo XVI mediante técnicas de lingüística computacional y análisis espacial

Diego Jiménez-Badillo, Patricia Murrieta -Flores, Bruno Martins, Ian Gregory, Mariana Favila-Vázquez, Raquel Liceras-Garrido, Katherine Bellamy, Miguel Won, y Jacinto Estima

MUSEO DEL TEMPLO MAYOR, INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA, CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO

DIGITAL HUMANITIES HUB; HISTORY DEPARTMENT, LANCASTER UNIVERSITY, LANCASTER, UK

THE INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS E COMPUTADORES, INVESTIGAÇÃO E DESENVOLVIMENTO EM LISBOA,
INESC-ID, UNIVERSITY OF LISBON, PORTUGAL

Resumen: Este capítulo describe un proyecto orientado al análisis de la colección de documentos históricos conocida como *Relaciones Geográficas de la Nueva España* (1577-1585). El protocolo de investigación aplica técnicas de procesamiento de lenguaje natural, lingüística de corpus, aprendizaje automatizado y análisis espacial, combinadas en una metodología llamada Análisis Geográfico de Textos. Los primeros resultados incluyen: la creación de un directorio de topónimos del siglo XVI; el desarrollo de un modelo de aprendizaje profundo para el Reconocimiento y Desambiguación de Entidades Nombradas (NERD) -basado en redes neuronales y análisis contextual de palabras (*word-embedding*)- el cual ha sido específicamente desarrollado para analizar corpora escritos en español pre-moderno; así como la implementación de software para la extracción automatizada de datos históricos. Las siguientes páginas contienen una descripción general del corpus documental utilizado, así como un resumen de la metodología, los retos enfrentados y los primeros resultados obtenidos.

Palabras clave: relaciones geográficas; historia colonial temprana; méxico; análisis geográfico de textos; reconocimiento de entidades nominales y desambiguación; colocación geográfica; procesamiento de lenguaje natural; aprendizaje automatizado.

Abstract: This chapter describes a project focused on analysing a collection of historical documents known as *Relaciones Geográficas de la Nueva España* (1577-1585). The research protocol applies techniques from Natural Language Processing, Corpus Linguistics, Machine Learning and Spatial Analysis, combined within a methodology called Geographical Text Analysis. The first results include the compilation of a gazetteer of sixteenth century place names; the development of a deep-learning model for Named Entity Recognition and Disambiguation (NERD) based on neural networks and word-embedding algorithms, which has been specifically tailored to analyse corpora written in pre-modern Spanish; and the implementation of software for the automatic extraction of historical data. The following pages contain an overview of the documentary corpus, as well as a summary of the methodology, the challenges faced in the course of the project and the first results.

Keywords: new spain geographic reports; early colonial history; mexico; geographical text analysis; named entity recognition and disambiguation; geographic collocation; natural language processing; machine learning

1. INTRODUCCIÓN

Este artículo describe la metodología y los primeros resultados del proyecto *Explorando el México Colonial Temprano: Un análisis computacional a gran escala de fuentes históricas del siglo XVI*.¹ Como el título sugiere, el objetivo es desarrollar métodos y herramientas computacionales que faciliten la extracción de datos histórico-geográficos de manera automática para responder preguntas acerca de la sociedad novohispana.

La investigación utiliza como fuente principal el conjunto de documentos conocido como *Relaciones Geográficas de la Nueva España*, específicamente los reportes redactados entre 1577 y 1585 en varias provincias de México y Guatemala por orden del rey Felipe II. Estos informes describen cómo eran la organización territorial y el modo de vida de los habitantes de Nueva España seis décadas después de consumada la conquista de México-Tenochtitlan. Las *Relaciones* se componen de textos y mapas en cuya elaboración participaron informantes indígenas y oficiales españoles. Debido a la riqueza y variedad del contenido, el corpus constituye una de las fuentes más importantes para analizar la historia, la geografía, las jurisdicciones administrativas, la cultura, la religión, la economía, la interacción social y los procesos de transculturación que afectaron a las comunidades nativas y a los colonizadores.

El protocolo de investigación combina la aplicación de técnicas avanzadas de procesamiento de lenguaje natural, lingüística de corpus, aprendizaje

automatizado y análisis espacial. Una de las contribuciones más significativas del proyecto ha sido el perfeccionamiento de la metodología denominada Análisis Geográfico de Textos (*Geographical Text Analysis*), propuesta hace algunos años por I. Gregory y P. Murrieta-Flores (dos de los cuatro co-directores de este proyecto), en colaboración con otros investigadores (Cooper y Gregory 2011; Donaldson et al. 2015; Gregory et al. 2015; Gregory et al. 2018; Murrieta-Flores et al. 2015; Murrieta-Flores y Gregory 2017; Porter et al. 2015). Dicha metodología incluye el desarrollo de un modelo de inteligencia artificial para clasificar y etiquetar palabras de acuerdo a una serie de categorías analíticas relevantes para la investigación histórica a través del proceso conocido en lingüística computacional como *anotación de textos*. Dicho modelo ha sido adaptado específicamente a las características de las *Relaciones Geográficas*, caracterizadas por estar escritas en castellano pre-moderno y por contener una gran cantidad de términos en lenguas indígenas, lo que supone un reto significativo. Además, la metodología incluye la implementación de una herramienta de software que permite realizar consultas complejas para extraer las palabras o frases más significativas del corpus y analizar su contexto. Dicho desarrollo ha sido posible gracias a la participación de investigadores del Instituto Potosino de Investigación en Ciencia y Tecnología y del Instituto Nacional de Antropología e Historia, en México. Con esos recursos pueden investigarse temas como la correlación geográfica de distintos hechos históricos, el análisis de datos de carácter social, cultural o histórico asociados a nombres de lugar geo-localizados, la delimitación de jurisdicciones territoriales antiguas sobre la base de información espacial contenida en los documentos, o bien, el descubrimiento de patrones de interacción entre personas, actividades, instituciones y lugares.

Otra aportación del proyecto es la compilación de un directorio de nombres geográficos del siglo XVI, el cual provee las coordenadas geográficas de cerca de 4000 topónimos, acompañadas de otros rubros de información temática extraída de los documentos (lo que en inglés se denomina *gazetteer*). En 2021, los investigadores interesados en utilizar

¹ El título del proyecto en inglés es *Digging into Early Colonial Mexico: A large-scale computational analysis of sixteenth-century historical sources*; comenzó en diciembre de 2017 y finalizará en 2022. El equipo de investigación está integrado por historiadores, arqueólogos, geógrafos, lingüistas e ingenieros informáticos del Reino Unido, Portugal y México, afiliados a las siguientes instituciones: el Digital Humanities Hub del Departamento de Historia de la Universidad de Lancaster, Reino Unido; el Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Investigação e Desenvolvimento em Lisboa, INESC-ID, Universidad de Lisboa, Portugal; y el Museo de Templo Mayor del Instituto Nacional de Antropología e Historia en México. El proyecto opera gracias a la subvención de la iniciativa *Digging into Data 2016* de la Plataforma Transatlántica para la Investigación de Ciencias Sociales y Humanidades, un consorcio respaldado por el Consejo de Investigación Económica y Social (ESRC, Reino Unido), la Fundación para la Ciencia y la Tecnología (FCT, Portugal) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, México). El sitio web del proyecto puede encontrarse en: <http://www.lancaster.ac.uk/digging-ecm>

o complementar esos datos podrán acceder en línea a este directorio o podrán descargarlo del repositorio del proyecto en Github.

Una tercera contribución es la conversión del corpus de las *Relaciones Geográficas* del medio analógico a un formato legible por computadora. Esta versión digital estará disponible en distintas plataformas gracias a la tecnología de datos vinculados (i.e. *linked data*) para que pueda ser reutilizada por otros equipos de investigación.

Además, el proyecto prevé la creación de varios conjuntos digitales de datos históricos etiquetados por categorías analíticas, los cuales también estarán disponibles en línea.

El resto del artículo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 describe el corpus de las *Relaciones Geográficas*; la sección 3 explica la metodología, los principales avances y los desafíos encontrados en el curso de la investigación; mientras que la sección 4 ofrece una conclusión general que señala la relevancia del proyecto en el contexto general de la investigación histórica.

2. LAS RELACIONES GEOGRÁFICAS DE LA NUEVA ESPAÑA DEL SIGLO XVI

Las *Relaciones Geográficas de la Nueva España* son resultado de una iniciativa impulsada inicialmente por el emperador Carlos V (rey Carlos I de Castilla) y continuada por su heredero, el rey Felipe II, para conocer la situación de los reinos y territorios bajo su dominio. El proyecto abarcó tanto la recopilación de descripciones detalladas como la creación de mapas de las regiones gobernadas, entre las cuales se encontraban Castilla, Aragón, Italia, los Países Bajos, Portugal (a partir de su anexión en 1581), así como los virreinatos de Perú y la Nueva España (Mundy 1996: 1-27).

En América, el proyecto respondía a la necesidad de controlar la explotación de los nuevos recursos adquiridos, así como de resolver disputas frecuentes de posesión de tierras, de administración del trabajo indígena y de asignación de privilegios a españoles o a personas de la élite indígena. Otra razón que motivó la creación de las *Relaciones Geográficas* fue un genuino interés intelectual por conocer el terri-

torio y a los pobladores de Nueva España y Perú (De la Garza 1983; Delgado López 2010).

Bajo el reinado de Felipe II la tarea de diseñar cuestionarios para enviarlos al Nuevo Mundo recayó en el Consejo de Indias, específicamente en el cronista y cosmógrafo de la corte Juan de Ovando y Godoy. Tres encuestas se llevaron a cabo bajo su supervisión en 1569 (37 preguntas), 1570 (200 preguntas) y 1573 (135 preguntas).² Desafortunadamente, las respuestas que llegaron a Madrid fueron muy escasas. Esto puede explicarse porque los encargados de recopilar los datos en América pertenecían a las altas esferas eclesiásticas y de gobierno sin suficiente experiencia o conocimiento local para llevar a cabo semejante tarea. Juan López de Velasco, sucesor de Ovando en el puesto de cosmógrafo real, fue uno de los pocos funcionarios de la corte que aprovechó la escasa información recibida para redactar su libro *Geografía y descripción universal de las Indias* en 1571, el cual, desafortunadamente, permaneció inédito hasta 1894. No se sabe de otros funcionarios o instituciones que hayan utilizado los datos de esas tres encuestas. A pesar de ello, el mismo López de Velasco diseñó un nuevo cuestionario en 1577 que perseguía dos objetivos principales. El primero era obtener datos a partir de las observaciones de eclipses lunares en diferentes partes de las Indias (Cline 1964). Esto le permitiría determinar las coordenadas de longitud para los territorios americanos, lo que a su vez facilitaría la tarea de ubicar correctamente, en un mapa universal, la posición del Nuevo Mundo con respecto a Europa (Edwards 1969; Mundy 1996: 17-19). El segundo objetivo era completar las escasas descripciones recibidas en los años anteriores mediante una encuesta de 50 preguntas, acompañada de un documento impreso con instrucciones para recabar las respuestas (Figura 1). Información más detallada sobre la historia del corpus puede encontrarse en Cline (1972c) y De la Garza (1983, vol. 1: XI-LXXIII). Nuevos cuestionarios fueron preparados en 1604, 1648, y 1679-1683, pero los reportes que sobreviven son demasiado escasos y no forman parte de la

² La transcripción de estos cuestionarios se encuentra en Solano (1988). El de 1569 también se encuentra en Ochoa Serrano (2019).

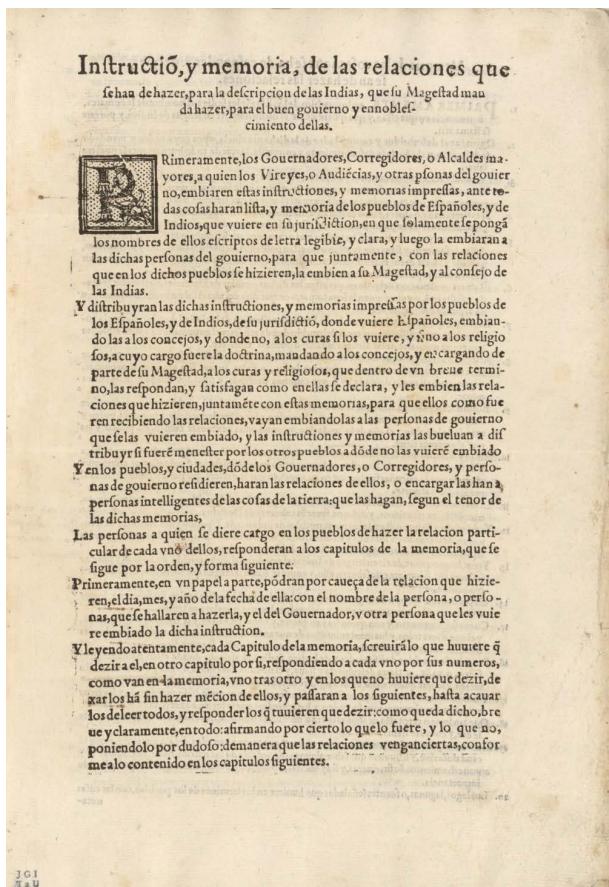


Figura 1. Primera página de la *Instrucción y memoria de las relaciones que se han de hacer para la descripción de las Indias, que su majestad manda hacer, para el buen gobierno y ennoblecimiento dellas*. Este documento impreso estableció los criterios para la recopilación de respuestas al cuestionario de 50 preguntas diseñado por López de Velasco en 1577. Reproducido por cortesía de la Benson Latin American Collection, LLILAS Benson Latin American Studies and Collections, The University of Texas at Austin.

presente investigación.³ Tampoco es tema de estudio el corpus de *Relaciones Geográficas* compiladas entre 1740-1792 (West 1972). Los funcionarios de América del Sur fueron los primeros en enviar sus informes

³ El cuestionario de 1604, preparado por el cosmógrafo real Andrés García de Céspedes, solicita 355 rubros de datos sobre: (a) medioambiente, (b) cultura, economía y administración; (c) aspectos militares; y (d) asuntos eclesiásticos, pero sólo un reporte sobrevive (Manuscrito 3035, folios 46-53 de la Biblioteca Nacional de Madrid). Del cuestionario de 1648 sólo sobreviven 2 reportes (uno se conserva en el archivo Archiepiscopal de Guadalajara y el otro en la Ayer Collection de la Newberry Library). Finalmente, del cuestionario de 1679-1683 existen 240 folios en el Archivo General de Indias en Sevilla (ver Becker 1917, cap. 8; y Cline 1972c para más detalles y bibliografía sobre estos documentos).

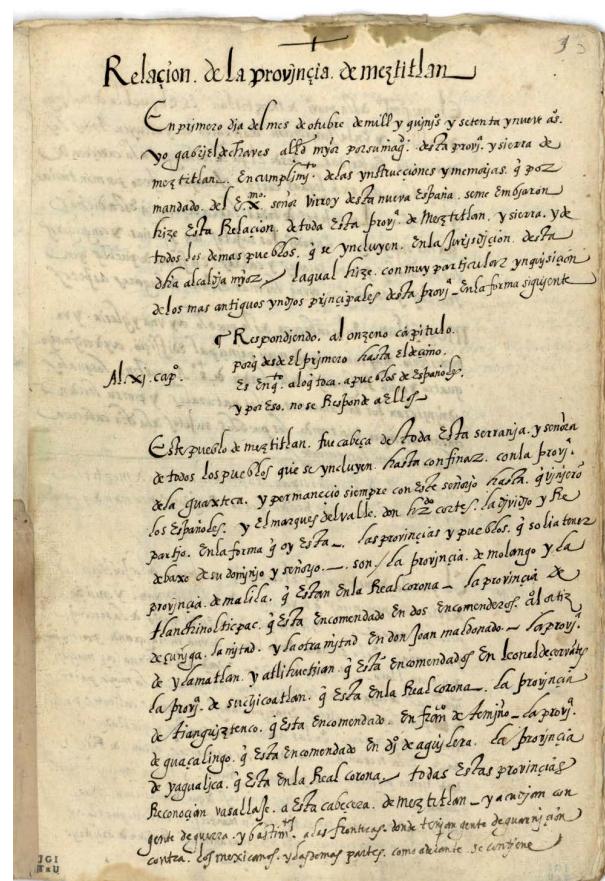


Figura 2. Un ejemplo del tipo de folios manuscritos que componen el corpus de las Relaciones Geográficas de 1577-1585. Este corresponde al inicio de la *Relación de la Alcaldía Mayor de Metztitlán y su Jurisdicción*. Reproducida por cortesía de la Benson Latin American Collection, LLILAS Benson Latin American Studies and Collections, The University of Texas at Austin.

a Madrid en 1578. De éstos sobreviven aproximadamente 40. Posteriormente, cerca de 200 reportes llegaron a la capital de Castilla desde Nueva España (1579-1585). Desafortunadamente 25 se han extraviado y en la actualidad sólo se conservan 34 de Antequera, 17 de Michoacán, 15 de Tlaxcala, 2 de Guatemala, 34 de México, 12 de Nueva Galicia y 54 de Yucatán, es decir un total de 168 documentos (Acuña 1982-1988; De la Garza 1983). Un ejemplo de estos manuscritos se muestra en la Figura 2.

Junto con los textos, el corpus incluye 78 pictografías de los territorios descritos, que merecen ser analizados como mapas, aunque la mayoría no se

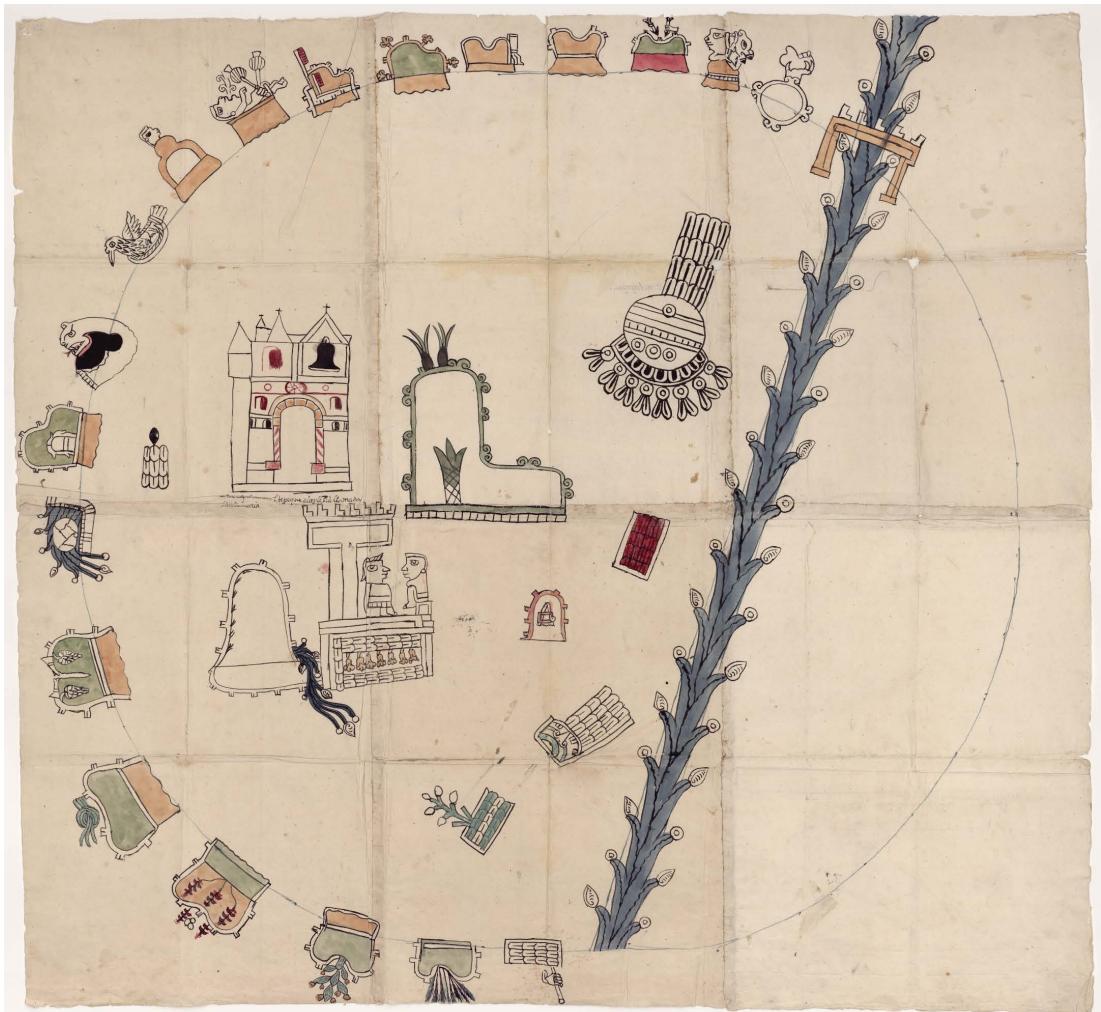


Figura 3. Mapa de Amoltepec (Santiago Amoltepec, Oaxaca, 1580), un ejemplo del tipo de representaciones territoriales con fuerte influencia de la concepción espacial indígena que se encuentran en el corpus de las Relaciones Geográficas de 1577-1585. Reproducido por cortesía de la Benson Latin American Collection, LLILAS Benson Latin American Studies and Collections, The University of Texas at Austin.

ajuste a la tradición cartográfica europea (Figura 3). Como señala Robertson (1972: 243), dichos mapas representan "... el mayor conjunto de manuscritos pictóricos interrelacionados del periodo colonial temprano que ha llegado hasta nosotros." A Mundy (1996) se debe el análisis más reciente y exhaustivo de estas pinturas. Veintitrés proceden de México; tres de Michoacán; una de Nueva Galicia; 21 de Oaxaca; 18 de Tlaxcala; tres de Yucatán y dos de Guatemala. También existen registros de 16 mapas perdidos en siglos pasados (Cline 1972c, tablas 6 y 10; Robertson 1972) y uno que Mundy (1996: 226) señala como recientemente extraviado. El censo

completo de los textos se halla en las publicaciones de Cline (1964, 1972c, 1972d), mientras que el inventario de mapas se encuentra en Robertson (1972).⁴

⁴ Las *Relaciones Geográficas* se hallan dispersas en cuatro repositorios: 80 se localizan en el Archivo General de Indias en Sevilla; 46 en la Real Academia de la Historia en Madrid; 41 forman parte de la Benson Latin American Collection de la Universidad de Texas (Cline, 1964) y un documento más se preserva en la Biblioteca de la Universidad de Glasgow, en Gran Bretaña. Además, existen transcripciones de dos *Relaciones*, realizadas a mano por Joaquín García Icazbalceta en la Biblioteca Nacional de la Ciudad de México (Cline 1964: 359) y copias de dos mapas del Corregimiento de Zempoala realizadas por Orozco y Berra (1857a, 1857b) en la Biblioteca del Museo Nacional de Antropología e Historia de México.

2.1. El contenido de las Relaciones Geográficas

El cuestionario de las *Relaciones Geográficas*⁵ -impreso en 1577 y reproducido en el Apéndice 1- estaba dirigido a las autoridades españolas del Nuevo Mundo (virreyes y presidentes de las Audiencias) para que a su vez encargaran a funcionarios subalternos (alcaldes mayores, corregidores o encomenderos) la compilación de los reportes. Éstos, a su vez, convocaban a miembros de la élite indígena local (gobernadores, alcaldes/jueces, regidores y principales) para que proporcionarán las respuestas de manera oral en sus lenguas nativas, mismas que eran transcritas con la ayuda de un traductor y un escribano. La *Instrucción* resultó acertada, pues tanto los residentes como los funcionarios locales tenían conocimientos de primera mano sobre lo que acontecía dentro de los pueblos y ciudades de su jurisdicción. Esa es una de las razones por las que esta encuesta produjo más resultados que las de 1569, 1570 y 1573, aunque tampoco en esta ocasión se utilizaron los reportes para tomar decisiones sustanciales sobre el gobierno de la Nueva España. Por otro lado, es importante tomar en cuenta que la participación de intérpretes españoles ocasionó que la visión del mundo indígena fuese filtrada y en ocasiones reelaborada por las concepciones europeas. Este hecho, lejos de ser un inconveniente, abre la posibilidad de investigar interesantes detalles del proceso de transculturación ocurrido a fines del siglo XVI en la Nueva España, como ha sido explicado elocuentemente por Gruzinski (2001: 77-103) y Mundy (1996: 61-89).

Las 168 *Relaciones* que se conservan abarcan más de la mitad del territorio de la Nueva España e incluyen información de 415 pueblos principales y cerca de 4000 localidades de menor jerarquía (Cline 1964, 1972c). Entre la variada información contenida en las *Relaciones* pueden citarse datos sobre demografía, tipo de asentamientos, prácticas sociales de los indígenas, lenguas habladas en cada región y

⁵ Tanto el cuestionario como las instrucciones han sido publicadas en español por Acuña (1982-1988), Bravo-García (2018), De la Garza (1983) y Del Paso y Troncoso (1905-1912), mientras que en inglés hay una traducción de Clinton R. Edwards incluida en Cline (1964, 1972c: 234-237) y reproducida en Jiménez-Badillo et al. (2021) y en Mundy (1996: 227-230).

muchos otros rubros interesantes. Por ejemplo, la quinta pregunta pide registrar si un pueblo es:

5. De muchos o pocos indios, y si ha tenido más o menos en otro tiempo que ahora, y las causas que dello se supieren; y si los que hay, están o no están poblados en pueblos formados y permanentes; y el talle y suerte de sus entendimientos, inclinaciones y manera de vivir; y si hay diferentes lenguas en toda la provincia, o tienen alguna generalmente en que hablen todos.

Otras preguntas demandan información sobre la historia local:

9. El nombre y sobrenombre que tiene o hubiere tenido cada ciudad o pueblo, y por qué se hubiere llamado así (si se supiere) y quién le puso el nombre y fue el fundador della, y por cuya orden y mandado la pobló, y el año de su fundación, y con cuántos vecinos se comenzó a poblar y los que al presente tiene.

También se solicitan listas de recursos naturales, incluyendo:

23. Los árboles de cultura y frutales que hay en la dicha tierra, y los que de España y otras partes se han llevado, y se dan o no se dan bien en ella.

24. Los granos y semillas, y otras hortalizas y verduras, que sirven o han servido de sustento a los naturales.

28. Las minas de oro y plata, y otros mineros de metales o atramentos y colores, que hubiere en la comarca y términos del dicho pueblo.

29. Las canteras de piedras preciosas, jaspes, mármoles, y otras cosas señaladas y de estima que asimismo hubiere.

Este corpus documental ofrece condiciones ideales para evaluar nuevas metodologías computacionales para el análisis histórico de textos; principalmente, porque facilita la comprensión de la organización territorial de muchas provincias, especialmente la relación jerárquica entre cabeceras de distrito y pueblos sujetos. Además, gracias a la aplicación del mismo cuestionario en todas las regiones, la información es suficientemente homogénea como para ser utilizada en estudios comparativos a distintas escalas. No obstante, debe considerarse que la calidad

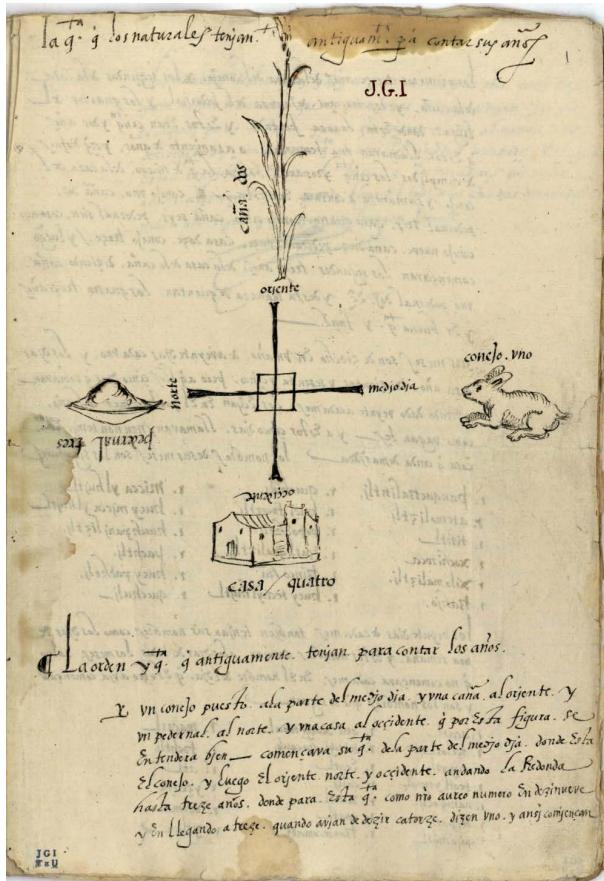


Figura 4. Dibujo del sistema calendárico indígena incluido en la *Relación de la Alcaldía Mayor de Metztitlán y su Jurisdicción* (1579). Reproducido por cortesía de la Benson Latin American Collection, LLILAS Benson Latin American Studies and Collections, The University of Texas at Austin.

y extensión de las respuestas varía de un caso a otro. Por ejemplo, la *Relación de la Ciudad y Provincia de Tezcoco* (Acuña 1982-1988, vol. 8: 23-113) es de las más detalladas (comprende 26,000 palabras), a pesar de que responde sólo 20 de las 50 preguntas del cuestionario. De hecho, Juan Bautista Pomar (1535-1601), autor mestizo de esta *Relación*, se dio a la tarea de escribir una verdadera historia del antiguo reino del Acolhuacan. En contraste, la *Relación de las Minas de Cimapan* (Acuña, 1982-1988, vol. 6: 97-104) también ofrece respuestas a 20 preguntas, pero su extensión es sólo de 1739 palabras. Aún más escueta es la *Relación de Samahil y Calotmul* (De la Garza, 1983, vol. 1: 363-364), escrita por el encomendero Rodrigo Álvarez, quien dedicó sólo 398 palabras al informe. Afortunadamente, es más común encon-

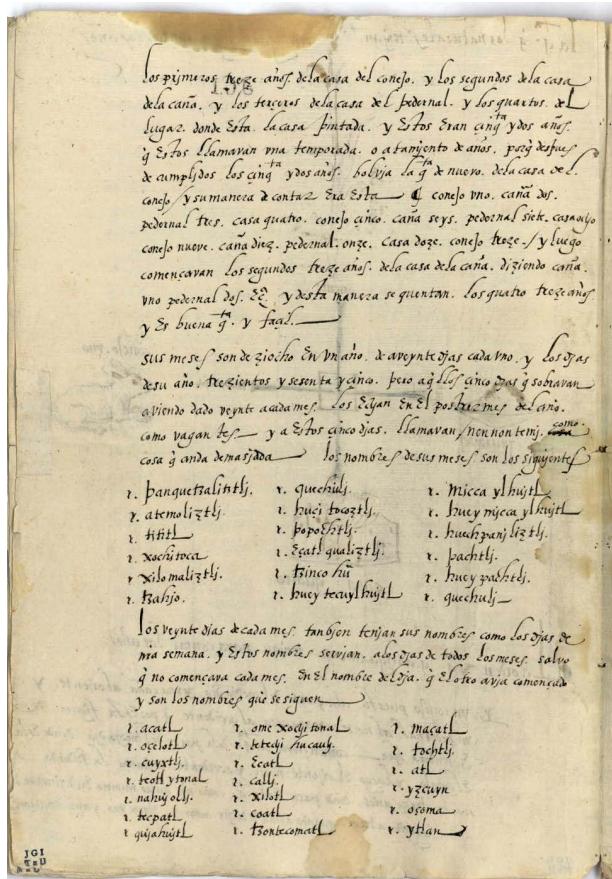


Figura 5. Folio manuscrito que explica el dibujo del sistema calendárico incluido en la *Relación de la Alcaldía Mayor de Metztitlán y su Jurisdicción* (1579). Reproducido por cortesía de la Benson Latin American Collection, LLILAS Benson Latin American Studies and Collections, The University of Texas at Austin.

trar reportes como la *Relación de la Alcaldía Mayor de Metztitlán y su Jurisdicción*, escrita en 14 folios manuscritos que contienen 6966 palabras (Acuña 1982-1988, vol. 7: 51-75). Este reporte contiene 23 respuestas con datos valiosos sobre la estructura política y la organización territorial de su jurisdicción; además incluye un dibujo acompañado de una explicación del sistema calendárico y los rituales indígenas (Figura 4; Figura 5) y anexa uno de los pocos mapas corográficos de estilo europeo pertenecientes al corpus (Figura 6). En dicho documento, como en muchos otros, es evidente que Gabriel de Chávez, Alcalde Mayor de Meztitlán, tomó en serio las instrucciones, reuniendo información proporcionada por miembros de la élite indígena y su propio conocimiento de los pueblos y habitantes descritos.

Figura 6. Mapa incluido en la Relación de la Alcaldía Mayor de Metztitlán y su Jurisdicción (1579). Un ejemplo de cartografía corográfica de influencia europea producido por el informante criollo Gabriel de Chávez (Mundy 1996: 39). Reproducido por cortesía de la Benson Latin American Collection, LLILAS Benson Latin American Studies and Collections, The University of Texas at Austin.



2.2. Estudios históricos basados en el corpus

Gracias al trabajo paleográfico y editorial de Del Paso y Troncoso (1905-1912), Acuña (1982-1988) y De la Garza (1983) disponemos de dos transcripciones completas del corpus, así como de algunas parciales: una incluye 23 *Relaciones* conservadas en Sevilla (Bravo-García 2018), otras tres comprenden las 20 *Relaciones* del Arzobispado de Michoacán, es decir las 11 de la región nuclear de Michoacán, 4 de Zatata, 4 de la provincia Chichimeca, y 4 de Colima. (Corona Núñez, 1958; Ochoa y Sánchez 1985; Ochoa Serrano, 2019). Todas esas ediciones han sido utilizadas en investigaciones históricas muy variadas. Moreno Toscano (1968), por ejemplo, aplicó un modelo matricial a datos extraídos de las *Relaciones* para comprender mejor la geografía económica de la Nueva España. Gerhard (1972, 1991, 2000) utilizó el corpus completo, junto con otras fuentes primarias, en sus investigaciones de geografía histórica. Grujinski (1991: 77-103) analizó la reconfiguración del imaginario colectivo a partir de la fusión de las cosmovisiones indígena y española. Por su parte, Mundy (1996) se concentró en los 78 mapas de las *Relaciones* para rastrear los cambios, continuidades y fusión de las tradiciones pictóricas indígenas y

europeas. Un estudio reciente de McDonough (2019), analiza las tecnologías indígenas representadas en los documentos. Aunado a dichos trabajos, otros investigadores han analizado por separado algunas *Relaciones* con el objetivo de extraer información que les permita profundizar en temas muy diversos, como el desarrollo de epidemias, particularmente la llamada *cocoliztli* (Acuña-Soto et al. 2004), los léxicos de diversos pueblos (Cáceres Lorenzo, 2013, 2016), la arquitectura (López-Guzmán 2007), o bien, para estudiar la organización territorial de alguna región en particular (Ballesteros García, 2005; Fernández Christlieb y Garza Merodio, 2006; Morato-Moreno 2017; Mundy 2013; Nuttall 1926; Torres Rodríguez, Rodríguez Cano 2001, y Valadez Vázquez et al. 2021; véanse también los libros de Afanador-Pujol 2015 y Miranda 2019 sobre la *Relación de Michoacán* de 1539-1541 y la bibliografía comentada de Cline 1972e).

A pesar de dichos esfuerzos, las *Relaciones Geográficas* siguen siendo utilizadas por muchos investigadores como recurso complementario y no como una fuente principal de datos históricos. Esto puede explicarse por la dificultad que representa el procesar, en un tiempo razonable, casi un millón de

palabras comprendidas en el corpus, así como por la falta de herramientas eficientes que ayuden a identificar patrones significativos en el contenido. La motivación de este proyecto es precisamente contribuir a superar ambos problemas.

3. METODOLOGÍA Y PRIMEROS RESULTADOS

El objetivo del proyecto *Explorando el México Colonial Temprano* es develar la información del corpus de las *Relaciones Geográficas* mediante el Análisis Geográfico de Textos. Como se menciona en la Introducción, la primera versión de esta metodología fue desarrollada por dos miembros de este proyecto, quienes la han aplicado en Gran Bretaña para estudiar el contexto geográfico de registros históricos y narraciones literarias (Cooper y Gregory 2011; Donaldson et al. 2015; Gregory et al. 2015; Gregory et al. 2018; Murrieta-Flores et al. 2015; Murrieta-Flores y Gregory 2017; Porter et al. 2015).

En este proyecto, nos hemos dado a la tarea de extender la metodología y de adaptarla específicamente al estudio de *corpora* novohispanos del siglo XVI. Los procedimientos principales se describen a continuación.

3.1. Preparación del corpus

La primera fase de la metodología es la preparación del corpus para el análisis. Esto implica la transformación de los documentos escritos sobre papel en archivos legibles por computadora a través de software de reconocimiento óptico de caracteres. La versión digital es posteriormente sometida a un proceso de detección y eliminación de errores. Valiosas recomendaciones sobre cómo realizar dichos procedimientos pueden encontrarse en Alpert-Abrams (2016) quien reporta su experiencia en el proyecto *Los Primeros Libros*.

El corpus obtenido incluye dos transcripciones digitales de cada *Relación Geográfica* existente. Cada una contiene aproximadamente un millón de palabras. Además se han producido dos versiones de cada uno de los 168 documentos que componen el corpus: la primera incluye solo la transcripción de los folios manuscritos, mientras que la segunda

contiene también las notas, referencias y comentarios de los paleógrafos y editores.⁶

3.2 Creación de un directorio geográfico del siglo XVI

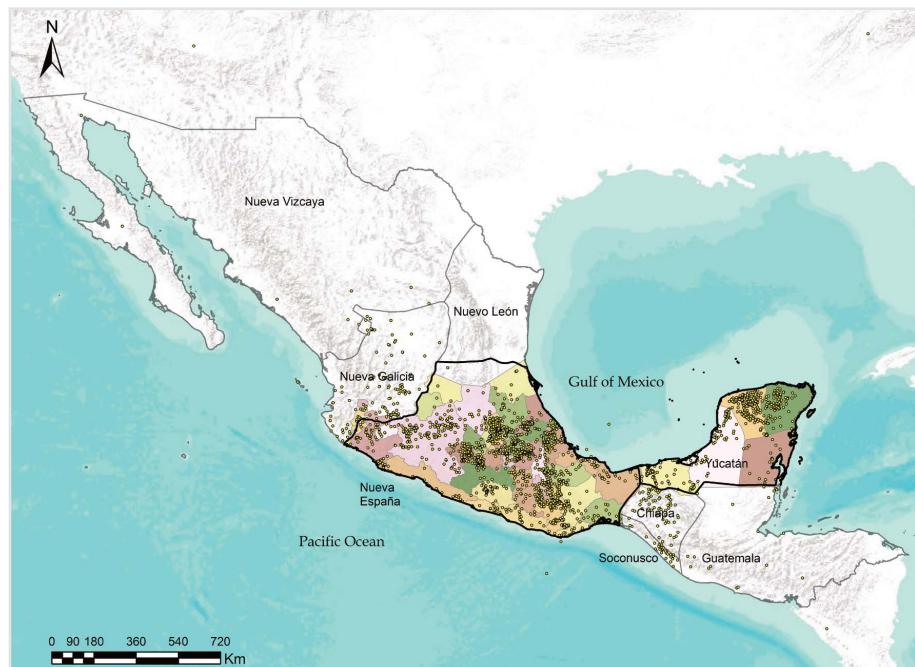
La segunda fase consiste en la producción de un directorio de topónimos del siglo XVI (*gazetteer*), el cual incluye las coordenadas de latitud y longitud de casi todas las localidades mencionadas en las *Relaciones Geográficas*. Ese directorio se utiliza en otras etapas de la metodología para geo-localizar la información histórica contenida en el corpus.

La tarea más importante al compilar un directorio de nombres geográficos es la desambiguación de topónimos, es decir la eliminación de cualquier duda lingüística o geográfica que impida asociar con exactitud el nombre de una localidad con sus coordenadas de longitud y latitud (Mager et al. 2018; Santos, J. et al. 2015; Santos, R. et al. 2017, 2018). Durante dicho proceso pueden encontrarse nombres de lugar que no han cambiado desde el siglo XVI, en cuyo caso basta buscar coincidencias entre los topónimos encontrados en las fuentes históricas con las listas de localidades mantenidas por agencias gubernamentales como INEGI o CONABIO, o bien con bases de datos en línea, tales como *Geonames* o el *Getty Thesaurus of Geographical Names* (Liceras-Garrido et al. 2019).⁷

Sin embargo, lo más común es enfrentarse a nombres de lugar difíciles de ubicar, debido, entre otras causas, a cambios de nombre por la adición de palabras castellanas al nombre indígena (como

⁶ Las fuentes del corpus legible por computadora incluyen: *Papeles de Nueva España* de Francisco del Paso y Troncoso (1905-1912); los diez volúmenes editados por Acuña (1982-1988); las 54 *Relaciones de Yucatán* publicadas en el volumen 11 de la *Colección de documentos inéditos relativos al descubrimiento, conquista y organización de las antiguas posesiones españolas de ultramar* (1898); y la versión más reciente de las *Relaciones de Yucatán*, transcritas y editadas por De la Garza (1983) que pudimos digitalizar gracias al generoso permiso de la Universidad Nacional Autónoma de México.

⁷ El directorio geográfico aprovechó los siguientes recursos digitales: el Catálogo de Localidades Indígenas, producido en 2010 por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); la tabla de localidades de México (censo 2010), también de INEGI; el inventario general de sitios arqueológicos del Instituto Nacional de Antropología e Historia; la base de datos *GeoNames* y el *Getty Thesaurus of Geographical Names*.



el nombre de un santo patrón); o bien, a variaciones ortográficas del mismo topónimo causadas por el uso de distintas reglas de transliteración de idiomas nativos al castellano. También pueden encontrarse nombres en dos o más lenguas indígenas (náhuatl y otomí) para el mismo lugar o, por el contrario, pueblos homónimos localizados en diferentes regiones geográficas, como las dos cabeceras llamadas Tezontepec localizadas a pocos kilómetros la una de la otra en el Estado de Hidalgo; o como Cempoala en Veracruz y Cempoala en Hidalgo.

Otro reto es rastrear los cambios de ubicación que muchos pueblos experimentaron a lo largo de su historia. Durante el siglo XVI, comunidades enteras se trasladaron de un lugar a otro (en ocasiones más de una vez) debido a la redistribución de tierras para introducir nuevos procesos productivos (minería, ganadería), a la concentración de pueblos para mejorar la administración de mano de obra indígena o aminorar el aislamiento de comunidades que perdieron gran parte de su población debido a las epidemias y a muchos otros factores (Gerhard 1977). Por ejemplo, la *Relación de Cempoala, Epazoyuca y Telitzaca* (Acuña 1982-1988, vol. 6: 69-93) menciona pueblos que no existen en la actualidad pero que eran muy importantes hacia 1580, año en que fue

redactado este documento. Entre ellos se encuentra Tecpilpan (también conocido como Tequipilpan), cuya ubicación exacta sigue siendo un misterio, pese a que Gerhard (2000: 70) señala que hacia 1580 podría haberse ubicado entre las cabeceras de Tlaquilpa y Cempoala. En el mismo documento se mencionan Cempoala y Zacuala, dos comunidades de Hidalgo que en 1553 acordaron trasladarse de las laderas de los cerros al valle para beneficiarse del agua traída por un acueducto construido en la región (Castañeda de la Paz, 2015); de tal forma que existen dos conjuntos de coordenadas geográficas para cada una de estas cabeceras. Para resolver todo ese conjunto de ambigüedades es inevitable buscar referencias en documentos de archivo, apoyándose también en listas publicadas de topónimos históricos y en estudios sobre la toponimia de diversas regiones de México, para lo cual existe una extensa bibliografía.⁸

⁸ Entre los estudios sobre la geografía histórica de la Nueva España sobresalen las obras de Cline (1972a, 1972b, 1972c), García Martínez y Martínez Mendoza (2013), Gerhard (1972, 1977, 1991, 2000), De la Garza (1983) y Tanck de Estrada et al. (2005). Estos estudios exhaustivos proporcionan mapas de provincias e índices de asentamientos compilados por los autores no sólo a partir de las *Relaciones Geográficas* sino de muchos otros documentos de los siglos XVI al XVIII. También hemos recurrido al conocimiento de estudiosos de la toponimia antigua de México. En este tema las referencias bibliográficas son mucho más numerosas (c.f. Anaya

Gracias al esfuerzo de tres miembros del proyecto (M. Favila Vázquez, R. Liceras Garrido y K. Bellamy) se han podido identificar un total de 14.657 topónimos y se han obtenido coordenadas geográficas exactas o aproximadas de cerca de 4000 localidades, incluidas ciudades, cabeceras de distrito, pueblos sujetos, barrios y estancias. La Figura 7 muestra el territorio y las localidades mencionadas en las *Relaciones Geográficas* que han podido ser ubicadas en el curso de esta investigación. También se han añadido los topónimos hallados en otras fuentes históricas, entre las que sobresalen *La suma de visitas de pueblos de la Nueva España* (Del Paso y Troncoso 1905-1912, vol. 1; García Castro 2013) y *El libro de las tasaciones de los pueblos de Nueva España. Siglo XVI* (González de Cossío 1952) y permanentemente se irán agregando más nombres de lugar descubiertos en los documentos inéditos conservados en los ramos de *Indios, Tierras, Congregaciones, Mapas, Planos e Ilustraciones* del Archivo General de la Nación.

Es importante señalar que la estructura del directorio de topónimos se ajusta a las recomendaciones técnicas del *Alexandria Digital Library Gazetteer* (Hill 2000; Hill et al. 1999) y del *World Historical Gazetteer*. Del primero, aprovecha el modelo de datos (almacenar e integrar información a partir de múltiples fuentes), mientras que del segundo utiliza los protocolos de importación y exportación de datos, específicamente el formato para la vinculación automática de lugares en línea (i.e. *Linked Places*).

3.3 Implementación de un modelo de Reconocimiento y Desambiguación de Entidades Nombradas

La tercera fase de la metodología consiste en desarrollar un modelo de Reconocimiento y Desambiguación de Entidades Nombradas (*Named Entity Recognition and Disambiguation*, o NERD), cuyo objetivo es identificar y etiquetar automáticamente, en todo el corpus, las palabras que designan a las entidades de interés histórico-geográfico, por

ejemplo, topónimos, antropónimos, nombres de instituciones, roles jugados por personajes históricos, fechas, etc. El proceso incluye también la anotación de las palabras según su función sintáctica (sustantivo, pronombre, adjetivo, determinante, verbo, adverbio, preposición, conjunción o interjección), lo que en español se llama anotación gramatical y en inglés *Part of Speech Tagging* (POS). Ambos tipos de anotaciones son utilizadas por los algoritmos de minería de datos para identificar información histórica importante durante la etapa de extracción de datos. Las ventajas de dicho enfoque han sido demostradas en otros proyectos de análisis de textos históricos (Borin et al. 2007; Brooke et al. 2015; Byrne 2007; Crane y Jones 2006; Ehrmann et al. 2016; Grover et al. 2008; Van Holland et al. 2013; Won et al. 2018).

Las entidades de interés histórico deben definirse previamente en una *ontología*, cuyas categorías analíticas pueden ser seleccionadas por historiadores y otros expertos, o bien pueden extraerse automáticamente a partir del mismo corpus mediante la aplicación de técnicas automáticas de lingüística computacional. Una revisión de técnicas automáticas ha sido publicada por Eynard et al. (2012). En este proyecto elegimos la primera alternativa y definimos un esquema ontológico a partir de la opinión de expertos, la cual incluye 21 categorías analíticas principales y 83 secundarias. Como puede verse en la Tabla 1, algunas de las entidades incluidas son arquitectura, recursos naturales, artefactos culturales, cosmogonía, salud, fechas, actividades, etc.

En el curso de este proyecto, la implementación del modelo NERD ha corrido a cargo de B. Martins, M. Won y J. Estima (investigadores del INESC-ID de Universidad de Lisboa), quienes han aplicado algoritmos de aprendizaje profundo (*deep learning*) disponibles en SpaCy, una de las mejores bibliotecas de software de inteligencia artificial dedicadas al procesamiento de lenguaje natural. Específicamente, dichos investigadores han utilizado algoritmos de redes neuronales convolucionales y de análisis contextual de palabras (*word embedding*). Los algoritmos de redes neuronales imitan el funcionamiento del cerebro humano al clasificar información nueva comparándola con ejemplos ya conocidos (i.e. previa-

Monroy 1960; Cáceres Lorenzo 2013, 2016; Guzmán Betancourt 1987, 1989, 1998; Márquez y Ramos Navarro Wold 1998; Lefebvre y Paredes Martínez 2017; León Portilla 2002; Mundy 2014; Muntzel y Villegas Molina 2010, etc.).

Tabla 1. Categorías analíticas seleccionadas para el esquema ontológico de las Relaciones Geográficas

Entidad	Etiquetas posibles	Referencia ontológica en DBpedia
Persona	Mujer; hombre; título; profesión	http://dbpedia.org/page/Person
Fecha		http://dbpedia.org/ontology/date
Institución	Civil; eclesiástica	http://dbpedia.org/page/Institution
Ubicación	Asentamiento; ubicación genérica; rasgo geográfico; topónimo; dirección; ubicación imaginaria; jurisdicción eclesiástica; jurisdicción civil	http://dbpedia.org/ontology/location
Actividad	Agricultura; guerra; economía; minería; actividad doméstica; actividad masculina; actividad femenina	http://dbpedia.org/ontology/activity
Animal	Insecto, mamífero, reptil; ave; anfibio; animal acuático; animal domesticado	http://dbpedia.org/ontology/animal
Planta		http://dbpedia.org/page/Plant
Comida		http://dbpedia.org/page/Food
Recurso natural		http://dbpedia.org/page/Natural_resource
Artefacto cultural	Artículos domésticos; mercancía; ropa; arma; herramienta	http://dbpedia.org/page/Cultural_artifact
Arquitectura	religiosa, civil; doméstica	http://dbpedia.org/page/Architecture
Cosmogonía	Ritual; festividad; deidad; santo; objeto de culto	http://dbpedia.org/page/Cosmogony
Salud	Enfermedad; remedio	http://dbpedia.org/page/Health
Ruta de transportación	Terrestre; acuática; ruta, dirección; distancia	http://dbpedia.org/ontology/RouteOfTransportation
Parentesco		http://dbpedia.org/page/Kinship
Clima		http://dbpedia.org/page/Climate
Grupo étnico		http://dbpedia.org/page/Ethnic_group
Clase social		http://dbpedia.org/page/Social_class
Lenguaje		http://dbpedia.org/page/Language
Evento	Histórico; desastre	http://dbpedia.org/page/Event
Medida	Valor; tributo; peso, medida demográfica	http://dbpedia.org/page/Measurement

mente *aprendidos*). En una primera fase, la red neuronal es alimentada con miles de ejemplos procedentes de fuentes externas (léxicos, diccionarios, textos extraídos de la Web, etc.), hasta que aprende a reconocer entidades similares a las que se espera encontrar en el *corpus histórico*. Durante una segunda fase, el modelo preliminar se aplica a los textos de las *Relaciones Geográficas*, esperando que los algoritmos logren reconocer las palabras que pertenecen a las categorías definidas en la ontología de ese *corpus*. Para evaluar el grado de éxito, el modelo compara sus resultados con una muestra de anotaciones correctamente realizadas y validadas previamente por expertos (Figura 8). A dicha muestra

se le conoce en la jerga de lingüística computacional como estándar de oro (*gold-standard*). Si encuentra discrepancias substanciales, el modelo asimila información sobre dichos errores, los corrige y vuelve a analizar los textos. Este proceso continúa de forma iterativa hasta que la anotación de palabras es suficientemente satisfactoria.

Como complemento del análisis de redes neuronales, se ha implementado una segunda técnica de aprendizaje profundo llamada en inglés *word-embedding*. Esta sirve para distinguir los diferentes contextos semánticos en los cuales puede aparecer cada tipo de vocablo. El proceso se basa en la idea de que el significado de una palabra depende del

The screenshot shows a user interface for a semantic annotation tool. At the top, there's a header with 'Content', a search bar ('marianna...'), and a color palette ('A'). Below the header is a toolbar with icons for 'pool', 'Content', 'Save', 'Confirm', and navigation arrows. A progress bar indicates '12 of 18'. On the left, a sidebar titled 'DECM_Michoa can' lists 'Cabildo' and 'Institution' under 'Change Type', along with other options like 'Labels', 'Delete', 'Add Relation', 'See Relations', 'Permalink', and 'Copy text'. The main pane displays a historical document titled 'RELACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉRIDA'. The text discusses the Cabildo of Mérida, its jurisdiction, and its relationship with other provinces like Yucatán, Oaxaca, and Tabasco. Numerous entities are highlighted with colored boxes: green boxes highlight 'Real', 'Gobernador', 'Capitán General', 'Ayuntamiento', 'parte del sur', 'provincias de Indios', 'parte del norte', 'provincia de Acumel', 'señores', 'guardianes', 'monasterios', 'orden de San Francisco', 'Cenca', 'Conkal', 'Yucatán', 'Izamal', 'Tecamán', 'Zitácuaro', 'Dzozantún', 'Hocatán', 'Roxan', 'Mam', 'Tecax', 'Téxax', 'Zotuta', 'Sotuta', 'Ecuas', 'ciudades', 'pueblos de indios naturales', 'señores', 'Gobernadores', 'vecinos', 'españoles', and 'forasteros'. Yellow boxes highlight 'Relación', 'Cabildo', 'Justicia', 'Regimiento', 'ayuntamiento', 'surcado', 'y', 'descubriose', 'Diego Velázquez', 'Adelantado', 'Cuba', 'Juan de Grijalva', 'Nueva España', 'Tabasco', 'surcado', and 'Y'. A legend on the right side categorizes these entities: Food (156), Climate (25), Institution (10), Kinship (7), Date (17), and Cosmogony (53). Each category has a small icon, a count, a percentage, and an IAA value.

Figura 8. Ejemplo de las anotaciones realizadas en la Relación de Mérida por varios expertos con la finalidad de compilar la muestra de validación (estándar de oro) para el modelo NERD. En este proceso fue utilizada la herramienta Tagtog, desarrollada por una compañía comercial que generosamente nos permitió el uso gratuito del software (ver www.tagtog.net).

contexto en el que se encuentra (Firth 1957). Por ejemplo, en la frase “La orden de San Francisco fue establecida en estas tierras en 1524”, el término *San Francisco* se refiere a una institución religiosa, pero en “Los frailes mendicantes ayudaban a los pobres siguiendo las enseñanzas de San Francisco”, el mismo término se refiere a una persona. En otro contexto, el término puede representar una ubicación geográfica: “La población actual de San Francisco Tlalcilalcalpan es de 18,721 personas”. Los algoritmos de *word-embedding* sirven para hacer esas distinciones, ayudando a las redes neuronales a hacer anotaciones correctas en el corpus.

A partir de las descripciones anteriores, puede apreciarse que entre mayor y mejor sean, por un lado, la muestra de datos de entrenamiento y, por el otro, el estándar de oro, mejores resultados se obtienen con las redes neuronales y el *word-embedding* (Goldberg 2017). Por ello, un paso crítico en el desarrollo del modelo NERD fue reunir dos muestras de textos -una para el entrenamiento y la otra para la verificación de resultados- que respondieran a las particularidades de las *Relaciones Geográficas*. Este corpus se caracteriza por el uso de una forma de castellano pre-moderno que, a pesar de las similitudes con el español actual, presenta diferencias sintácticas y gramaticales significativas.

A ello se suma la presencia de muchas palabras en al menos 69 lenguas indígenas como el náhuatl, el mixteco, el tarasco, el otomí y varios dialectos del maya (Harvey 1972). Por ambas razones, el equipo de Portugal decidió combinar textos escritos en español moderno con un número sustancial de textos históricos (principalmente en español del siglo XVI).

Entre las fuentes de datos utilizadas se cuentan léxicos como ANCora (Taulé et al. 2008), el Corpus del Español, el Corpus Diacrónico del Español CORDE (Sánchez-Martínez et al. 2013), así como diez diccionarios de lenguas indígenas (García Cubas 1988-1991; Peñaflor 1897; Robelo 1897, 1900, 1902a, 1902b, 1904, 1905; Starr 1920). El valor de ese conjunto de datos, particularmente los léxicos y diccionarios, es que contiene miles de instancias, si no es que millones, del tipo de entidades que es posible encontrar en los textos de las *Relaciones Geográficas*. En lo concerniente al estándar de oro, se reunió a los historiadores que colaboran en el proyecto para anotar manualmente 18 *Relaciones* del corpus (85,500 palabras o 9% del total). Esta muestra resultó ser suficiente para la construcción del modelo NERD que gracias a la muestra de datos y la combinación de algoritmos aplicados alcanza casi el 90% de resultados satisfactorios.

A los esfuerzos del equipo de Portugal, se suma la colaboración que recibimos por parte de la compañía Tagtog, especializada en desarrollar herramientas de anotación automática con métodos propios de inteligencia artificial. Esta colaboración nos ha permitido contar con un modelo NERD alternativo para el corpus de las Relaciones Geográficas.

3.4 Extracción de información del corpus: análisis contextual de palabras clave

La cuarta fase de la metodología GTA consiste en aplicar varias técnicas de minería de datos. Una de las más útiles y la primera implementada en el curso de este proyecto es la extracción de palabras clave en contexto (*keywords in context*, o KWIC). A grosso modo, la técnica consiste en identificar los vocablos o las frases que aparecen frecuentemente junto a una palabra clave, o bien, que están lo suficientemente cerca para ser consideradas como *asociaciones significativas*. La cercanía –medida en número de

palabras- es definida por el investigador en cada búsqueda. Para asegurarse que la co-ocurrencia de palabras no es aleatoria, se puede calcular la relevancia de la asociación por medios estadísticos. Uno de los métodos más sencillos es contar el número de veces que la palabra clave “A” aparece junto a la palabra o a la frase co-ocurrente “B”; el número de veces que A aparece sin estar cerca de B y viceversa; y el número de veces que A y B no aparecen en un pasaje del corpus. (Dunning 1993). La extracción de datos incluye los fragmentos de texto a la izquierda y a la derecha de la palabra clave para revelar cómo ha sido usada en cada instancia, es decir, para mostrar los distintos contextos semánticos en los que aparece y para resaltar las palabras asociadas. A menudo, los resultados se muestran en una tabla de cuatro columnas: Nombre del documento; Contexto a la izquierda; Palabra clave; Contexto a la derecha; y Posición exacta de la palabra clave en el texto (Figura 9). Al generar dicha tabla se puede utilizar la medida

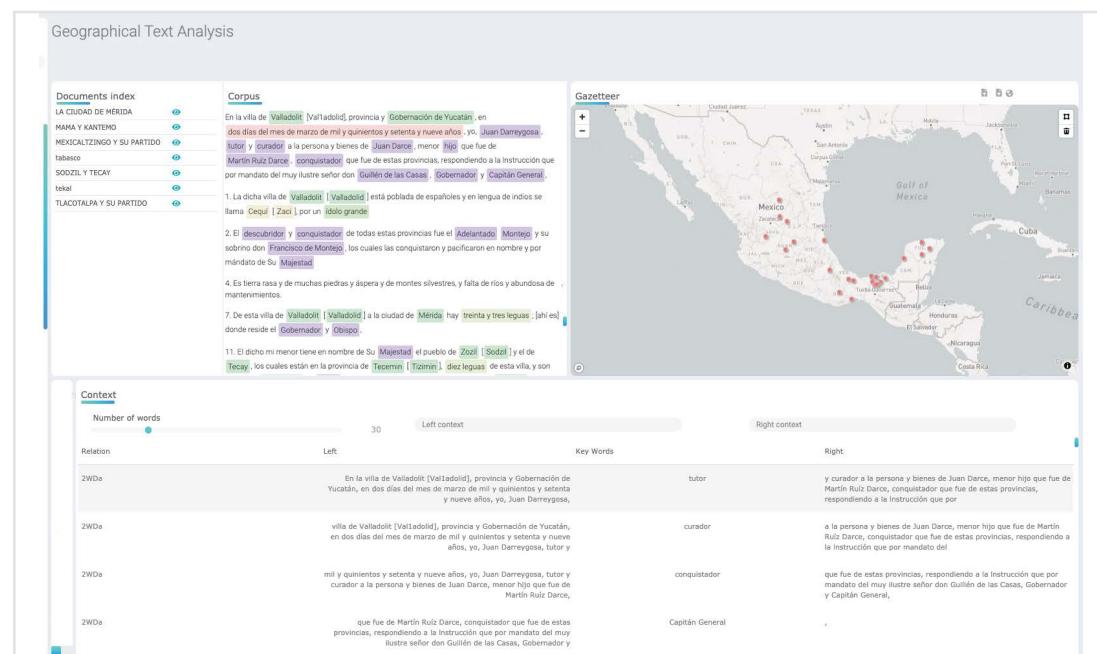


Figura 9. Interfaz de la herramienta GTA durante un análisis de palabras clave en contexto. Pueden observarse cuatro ventanas: En Documents Index (arriba a la izquierda), el usuario elige los textos que desea analizar, éstos pueden corresponder a un solo documento, a un grupo, o a todo el corpus. En la ventana Corpus (arriba, al centro) la herramienta despliega el contenido histórico del texto resaltando los términos significativos que resultan de la búsqueda. En el ejemplo ilustrado, la extracción estuvo basada en la combinación de dos criterios: “persona = género masculino” y “persona = profesión”. La ventana inferior (Context) muestra los resultados de la consulta en cuatro columnas (nombre del documento; contexto a la izquierda; palabra clave; contexto a la derecha; y posición exacta de la palabra clave en el texto), mientras que el mapa (pantalla Gazetteer) señala la localización geográfica de los datos.

de significancia estadística para ordenar los resultados de mayor a menor relevancia. Una adaptación interesante de dicha técnica es la *asociación geográfica*, es decir la búsqueda y recuperación de palabras claves situadas junto o cerca de términos geoespaciales como topónimos, nombres de rasgos del paisaje, e incluso de referencias a lugares imaginarios.

En el caso de las *Relaciones Geográficas*, la palabra clave puede pertenecer a una de las categorías definidas en la ontología del corpus, entre las que se encuentran nombres y roles de personas, topónimos, nombres de plantas y animales, denominaciones de grupos étnicos, etc. Por ejemplo, podría buscarse la categoría étnica *indios otomíes* para extraer los adjetivos más frecuentemente asociados a dichas palabras. En ciertos contextos los resultados podrían arrojar calificativos como *advenedizos* o *gente bárbara* -sobre todo en pasajes que consignan la opinión de los informantes nahuas sobre sus vecinos otomíes; pero en otros pasajes que describen el trabajo en las minas controladas por los españoles se podría encontrar *obedecidos* (obedientes), *trabajadores*, *perezosos*, etc. La identificación de esos patrones de asociación (y la medición de su relevancia estadística) permitiría entonces inferir distintas valoraciones de esos habitantes nativos de la Nueva España y explicar las variaciones a partir de un análisis contextual, lo que en sí mismo tiene gran valor para la investigación histórica. Si a ello se suma la geolocalización de dichos patrones, podría descubrirse que la primera opinión sobre los otomíes procede de pueblos donde los nahuas se habían asentado mucho antes que los otomíes y por ello éstos últimos eran considerados intrusos, forasteros o advenedizos o bien que, aunque los nahuas eran los migrantes más recientes, veían a los otomíes como *barbaros* debido a la poca sofisticación de su modo de vida.

Para facilitar ese tipo de análisis, hemos implementado la herramienta GTA que emula en cierto modo la funcionalidad disponible en el software de Voyant Tools (Gutiérrez de la Torre 2019), aunque se debe a un desarrollo independiente de los ingenieros E. Hernández Huérano y L. Álvarez Rivera, del Instituto Potosino de Investigación en Ciencia y Tecnología (IPICYT), en México. La Figura 9 muestra cómo

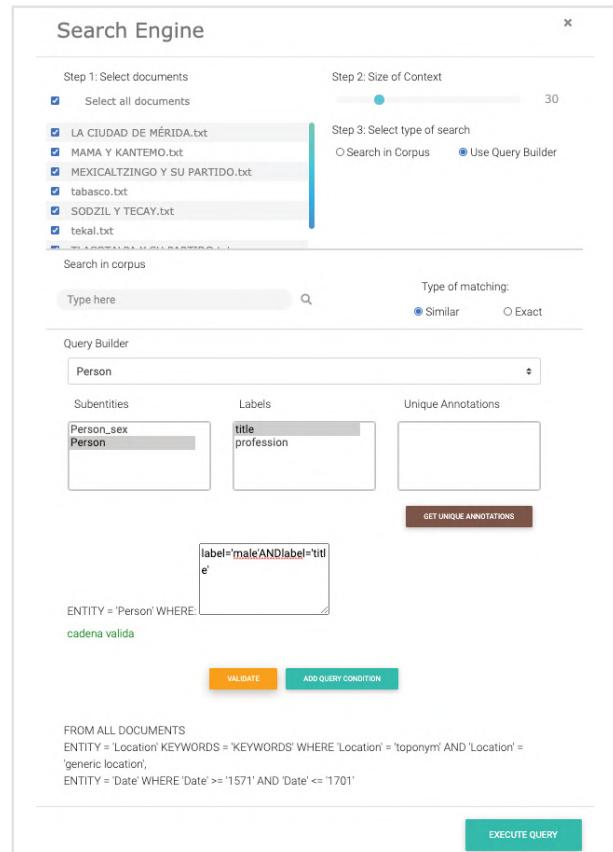


Figura 10. Interfaz de la herramienta para construir consultas complejas (Query Builder), la cual permite combinar criterios de búsqueda mediante operadores booleanos como AND, OR, XOR, etc.

aparece la interfaz principal de esta herramienta durante un análisis de *palabras clave en contexto*. Ahí pueden observarse cuatro ventanas: En *Documents Index* (arriba a la izquierda), el usuario elige los textos que desea analizar, éstos pueden corresponder a un solo documento, a un grupo, o a todo el corpus. En la ventana *Corpus* (arriba, al centro) la herramienta despliega el contenido histórico del texto resaltando los términos significativos que resultan de la búsqueda. En el ejemplo ilustrado, la extracción estuvo basada en la combinación de dos criterios: "persona = género masculino" y "persona = profesión". La ventana inferior (*Context*) muestra los resultados de la consulta en cuatro columnas (nombre del documento; contexto a la izquierda; palabra clave; contexto a la derecha; y posición exacta de la palabra clave en el texto), mientras que el mapa (pantalla *Gazetteer*) señala la localización

geográfica de los datos. Para facilitar análisis complejos –basados en la búsqueda de asociaciones entre distintos tipos de entidades y palabras claves– se desarrolló también un constructor de consultas (*query builder*), el cual permite combinar criterios de búsqueda mediante operadores booleanos como AND, OR, XOR, etc. (Figura 10).

La posibilidad de extraer datos de la narrativa histórica junto a sus referencias espaciales abre caminos interesantes para los investigadores. Un historiador, por ejemplo, podría filtrar la información del corpus mediante las palabras *maíz, siembra, subsistencia, mantenimientos, comida* para investigar si existe una variación significativa en la distribución espacial de datos relacionados con la agricultura o la alimentación. Un segundo ejemplo es estudiar el sistema de comunicación portuaria en la Nueva España buscando todas las asociaciones relacionadas con las palabras *canoa, barco, costa, puerto, embarcadero, etc.* El resultado arrojaría las frases donde las palabras claves aparecen cerca de topónimos que bien podrían haber servido como puertos marítimos, facilitando la identificación de estos en un plano cartográfico o bien la adquisición de información sobre la tecnología náutica utilizada en cada lugar identificado. De hecho, esta estrategia es precisamente la utilizada por Favila Vázquez (2019) en su libro sobre los sistemas de navegación prehispánicos en la Cuenca del río Balsas. Otros ejemplos de análisis de colocación en los campos de la literatura y la historia pueden encontrarse en Donaldson et al. (2015, 2017), Murrieta–Flores et al. (2017) y Taylor et al. (2017).

3.5 Análisis espacial aplicado a la investigación histórica

El análisis contextual de palabras clave y la aplicación de otras técnicas de extracción de datos solo son procedimientos previos encaminados a apoyar investigaciones históricas de mayor alcance, las cuales dependen del procesamiento y análisis de dos clases de información espacial. La primera clase comprende los datos precisos de localización (i.e. coordenadas de latitud y longitud) de los pueblos, provincias y rasgos geográficos registrados en las *Relaciones*

Geográficas, los cuales son representados mediante puntos, polígonos o líneas para procesarlos con la gran variedad de herramientas disponibles en los Sistemas de Información Geográfica. Utilizando software como ArcGIS y QGIS es posible analizar datos obtenidos en la fase 4 con modelos de captación de recursos naturales (Bailey 2005; Becker et al. 2017; Roper 1979), identificar redes espaciales y rutas de comunicación óptimas entre pueblos utilizando cálculos de distancia, costos de energía y de tiempo (Verhagen et al. 2019), o bien la separación relativa de los mismos (Jiménez-Badillo 2021); demarcar territorios (Ducke y Kroefges 2008; Jacquez et al. 2000); y estudiar muchos otros aspectos de la orografía y del paisaje antiguos.

La segunda clase de información, poco valorada en las Humanidades a pesar de ser muy interesante, es de tipo cualitativo y se halla a menudo, casi por accidente, tanto en la narrativa de los textos históricos como en las pictografías de muchos mapas incluidos en las *Relaciones*. De particular interés son las descripciones perceptuales que aluden, por ejemplo: a entidades *cerca, lejos, atrás, entre o delante* de ciertos rasgos del paisaje; direcciones que permiten conocer cómo se llegaba de un lugar a otro a partir de expresiones tales como *por el rumbo de, pasando por, a lo largo de, entre levante y sur*; el orden de sucesión de lugares reales o imaginarios a través de una ruta, indicado con frases como *primero se llega al sitio A y luego al B*; distancias expresadas en medidas no del todo precisas *la tierra es llana y los caminos llanos, y las leguas largas* y muchas otras que permiten reconstruir las geografías no mencionadas explícitamente en el corpus. Algunos investigadores han comenzado a valorar esta segunda clase de información en las *Relaciones Geográficas*. Por ejemplo, Bravo-García (2018: 440-446) apunta algunos patrones de distancia y posición relativa observados en la *Relación de Izcateupa* a partir de los cuales deduce información geográfica no mencionada explícitamente en el texto. Por su parte, Murrieta Flores et al. (2019) aplican el principio de *triadas semánticas (semantic triples)* al análisis espacial cualitativo del *Mapa de Atenco Mizquiahuala*, revelando la red de relaciones espaciales que articulaba la

interacción entre los pueblos, el paisaje y las personas representadas en dicho documento. No obstante, aún quedan por desarrollar modelos formales y herramientas de software que permitan explotar todo el potencial de la información espacial de tipo semántico. Los avances recientes en el campo de razonamiento espacial cualitativo (Bodenhamer et al. 2010; Cohn y Hazarika 2001; Cohn y Renz 2008; Harris et al. 2010; Stell 2019; Zwarts 2017) ofrecen un excelente conjunto de formalismos matemáticos, algoritmos y bibliotecas de software que hemos comenzado a adaptar al estudio de *corpora* históricos para publicarlos antes de concluir el proyecto a fines de 2022.

Los modelos para procesar ambas clases de información (la precisa y la semántica) nos permitirán abordar los siguientes temas de indagación histórica:

Demarcación de territorios

El primer tema que será abordado en la fase final del proyecto se refiere a la demarcación de territorios de la Nueva España, específicamente la identificación de las diferencias y los traslapes entre las jurisdicciones civiles y eclesiásticas a escala local, registradas tanto en las *Relaciones Geográficas* como en otras fuentes primarias. Durante el primer siglo de gobierno colonial las funciones político-administrativas, judiciales y de hacienda eran ejercidas en los pueblos de españoles por los alcaldes mayores (miembros del cabildo); mientras que en los pueblos de indios los corregidores asumían esas funciones actuando como jueces locales, administradores, recaudadores de impuestos y alguaciles (Gerhard 2000: 14). A ello se debe que las *Relaciones Geográficas* describan territorios correspondientes a algunas de las 70 alcaldías mayores o los 200 corregimientos existentes hacia 1570 (Gerhard 2000: 14). Cada una de esas unidades abarcaba por lo general una región contigua. En cambio, las encomiendas abarcaban áreas no adyacentes y sus territorios no siempre coincidían con el de las unidades administrativas a pesar de que, entre 1550 y 1570, las encomiendas fueron puestas bajo la supervisión de algún alcalde mayor o corregidor. Esa situación, ya de por si compleja, se vuelve más confusa cuando se trata de trazar los límites locales de los territorios religiosos.

A nivel regional, las funciones eclesiásticas estaban a cargo de las Diócesis, pero a nivel local se observa una gran diversidad de áreas de influencia de las doctrinas y parroquias controladas por las órdenes de monjes regulares (franciscanos, agustinos y dominicos) y los sacerdotes seculares (Gerhard 2000: 11). Tanto las *Relaciones Geográficas* como muchos otros documentos de la época ofrecen valiosos datos para elucidar esos distintos territorios. Por ejemplo, analizando el contexto de palabras como *partidos de clérigos, distrito de misión, custodia, guardianía, vicaría, presidencia*, etc. podríamos llegar a entender cómo estaban demarcadas algunas jurisdicciones eclesiásticas (Gerhard 1972: 66), cómo sus áreas de influencia se diferenciaban o traslapaban con los territorios de las alcaldías mayores y los corregimientos generalmente organizadas en *cabeceras, pueblos sujetos, barrios y estancias* (Valadez Vázquez, Castañeda de la Paz y Jiménez-Badillo, 2021). Del mismo modo es interesante comparar esos datos con la información existente sobre la extensión de las encomiendas.

Redes de interacción entre localidades (comercio, rutas de comunicación)

Un segundo tema consiste en revelar las redes de comunicación entre las localidades mencionadas en el corpus de las *Relaciones Geográficas*. Las redes que esperamos identificar corresponden a rutas de transportación o de comercio, tanto terrestres como acuáticas, cuyo alcance puede ser provincial o intrarregional. Algunas rutas pueden deducirse de los recorridos descritos por los autores de las *Relaciones* en las respuestas 7, 8, 11, y 12, así como de las representaciones de senderos y caminos en los mapas pictográficos (Figura 11 y Figura 12); mientras que detalles interesantes de las travesías acuáticas pueden inferirse usando las respuestas 19 y 38-47. Un resultado notable del uso de dicha información es el estudio de Favila Vázquez (2019) sobre las prácticas de navegación prehispánicas y coloniales, el cual reconstruye los sistemas de comunicación costero y rivero, la ubicación de los puertos, y las conexiones espaciales entre el Valle de México y la costa del Pacífico.

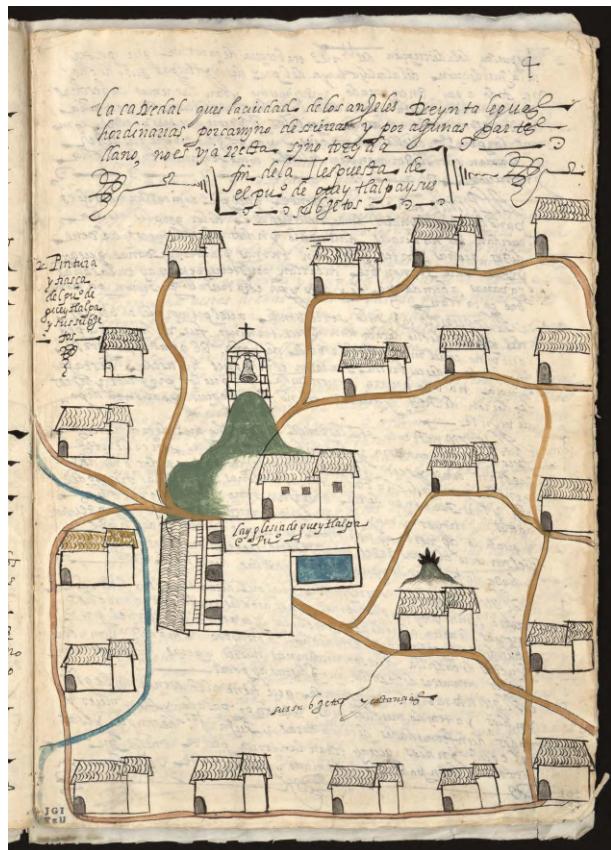


Figura 11. Folio 4r de la *Relación de Gueytalpa y su partido* (Hueytalpan, Puebla, 1581) en el que se incluye este mapa, mostrando los caminos existentes entre esta alcaldía mayor y los pueblos circundantes. Los topónimos aparecen sólo en el texto del documento. La parte superior del folio contiene sólo las últimas frases de la relación (respuestas 33 y 34): "...la catedral, que es la ciudad de los Ángeles, treinta leguas ordinarias, por camino de sierras y, por algunas partes, llano; no es vía recta, sino torcida. Fin de la respuesta del pu[eblo]o de Gueytalpa y sus sujetos." Sobre el mapa se leen las siguientes glosas: "Pintura y traza del pu[eblo]o de Gueytalpa y sus sujetos; La iglesia de Gueytalpa, y pu[eblo]; Sus sujetos y estancias." El texto enumera veintiuna estancias, pero el mapa sólo dibuja veinte (Acuña 1982-1988, v.5: 159; nota 18). Tanto el texto como la pintura pueden utilizarse para reconstruir las rutas de comunicación existentes en esta comarca en el último cuarto del siglo XVI. Reproducido por cortesía de la Benson Latin American Collection, LLILAS Benson Latin American Studies and Collections, The University of Texas at Austin.

Aún en regiones donde la información es escasa, las redes de comunicación pueden ser reveladas mediante la aplicación de modelos espaciales. Un enfoque interesante, desarrollado hace algunos años por Jiménez-Badillo (2021) y adaptado recientemente a los requerimientos de este proyecto, parte exclusivamente de los registros de coordenadas de latitud

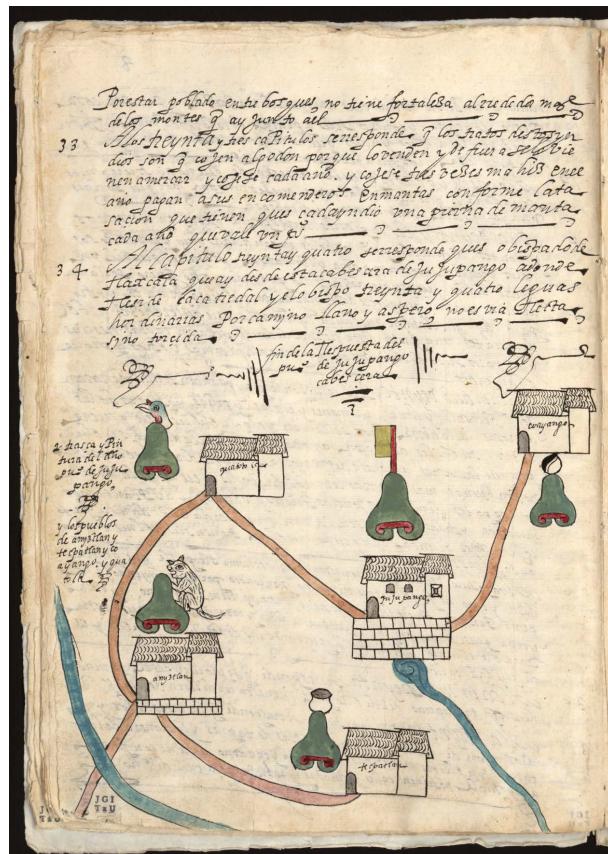


Figura 12. Mapa de Jujupango (Jojupango, Puebla, 1581) que muestra los caminos existentes entre esta cabecera y los pueblos circundantes. Procede del folio 8v de la Relación de Gueytlalpa y su partido (1581). Acuña (1982-1988, v. 5: 169, nota 34) transcribe las glosas de la siguiente manera: "Trazo y pintura del d[ic]ho pu[e]b[lo] de Jujupango, y [de] los pueblos de Amiztlan y Tecpatlán, y Coayango y Qua[u]h[to]lla. Qua[u]h[tot]ola ["lugar de muchos pájaros-águila"]. Coayango [etimología desconocida]. Jujupango ["lugar de mucho verdor"]. Amiztlan ["lugar de leones acuáticos"]. Tecpatlán ["lugar de pedernales"]". RReproducido por cortesía de la Benson Latin American Collection, LILIAS Benson Latin American Studies and Collections, The University of Texas at Austin.

y longitud de los pueblos para dibujar una red de sus posibles conexiones. Para ello, aplica la noción de *vecindad relativa* (Toussaint 1980) que, a diferencia del análisis de *vecino más cercano*, no es determinista, pues permite extraer no sólo una sino muchas hipótesis de los posibles nexos de comunicación entre los pueblos. La selección de la hipótesis más probable se realiza a partir de pruebas cuantitativas y de la consideración de cualquier otra información histórica disponible, como las respuestas contenidas en las *Relaciones Geoarágicas*. Este enfoque permite

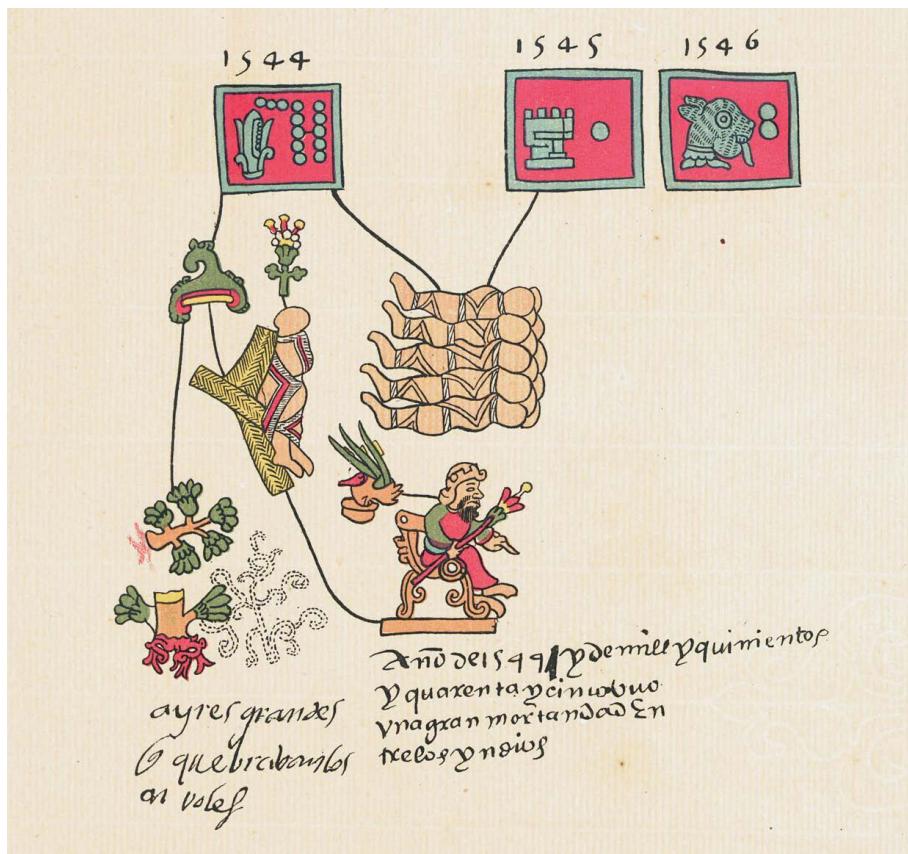


Figura 13. Fragmento del folio 46v del Códice Telleriano Remensis (Duque de Louvat, 1901). La sección cronológica del documento registra los eventos más importantes ocurridos entre los años 1399 y 1558. En esta imagen se muestran las víctimas de las epidemias que asolaron a la población de Nueva España entre los años 1544-1546. La glosa principal dice: "Año 1544 y de mill y quinientos y cuarenta y cinco uvo una gran mortandad Entre los Yndios." Reproducido por cortesía de la Fundación para el Avance de los Estudios Mesoamericanos, Inc., y la Universitätsbibliothek Rostock.

también cuantificar el grado de control e integración de cada sitio para determinar cuáles localidades tenían un papel central en la organización de la región.

Un enfoque alternativo es utilizar modelos de SIG, como los descritos por Verhagen et al (2019), basados en modelos digitales de elevación para extraer superficies de costo mínimo, lo cual a su vez permite identificar posibles senderos y redes de comunicación.

Análisis de enfermedades

Las Relaciones Geográficas también arrojan luz sobre eventos catastróficos que ocurrieron mientras se redactaban los informes. Entre ellos, vale la pena estudiar los efectos de la enfermedad conocida como *cocoliztli*, identificada por Acuña-Soto et al. (2002, 2004) como una fiebre hemorrágica transmitida por roedores, cuya propagación fue facilitada por las sequías experimentadas en regiones de gran altitud.

Dicha epidemia causó la muerte de más de la mitad de la población de la Nueva España (Borah y

Cook 1960, 1963; Cook y Simpson 1948). El brote de 1576-1581 sucedió a otros similares ocurridos en 1519-1520 y 1545-1548 (Figura 13). El brote de 1576 llevó al extremo la escasez de mano de obra para el servicio de las encomiendas y los repartimientos, así como para el trabajo en las minas; también provocó el desplazamiento de la gente a otras regiones, la congregación de los sobrevivientes en pueblos nuevos y muchos otros efectos que cambiaron para siempre el patrón de asentamientos y la vida social de la Nueva España (Malvido 1973).

Epidemiólogos de la UNAM y la Universidad de Arkansas han identificado los síntomas principales de esta enfermedad: fiebre alta, lengua ennegrecida, disentería, dolores abdominales y torácicos severos, nódulos en la parte posterior de las orejas que a veces invadían también el cuello y la cara, alteraciones neurológicas severas, y sangrado profuso por la nariz, ojos y boca, lo que provocaba la muerte en 3 o 4 días (Acuña-Soto 2002, Acuña-Soto 2004). Dichos síntomas ponen en entredicho el diagnóstico de

viruela (Noguez 2020), sarampión, tifo, paperas, u otra enfermedad de origen europeo, y en cambio parecen indicar fiebres hemorrágicas transmitidas por roedores. Otro estudio reciente, basado en datos de víctimas del *cocoliztli* enterradas en un cementerio de Teposcolula-Yucundaa, Oaxaca, fechada hacia 1545, han llevado a un equipo internacional de científicos a concluir que el brote de ese año se debió a la salmonella entérica (Vågene et al 2018). Las diferencias en los diagnósticos pueden deberse a que los brotes obedecen a distintas enfermedades descritas en las fuentes con el término genérico *cocoliztli*. Pero cualesquiera que sean la causas, hacen falta estudios históricos centrados en el análisis de las variaciones geográficas, tanto del clima como de las condiciones de higiene, el modo de vida, los patrones de socialización y de trabajo en distintas regiones, así como la distribución espacial del contagio y los remedios practicados en la época. Esas cuestiones pueden encontrar algunas respuestas en la variada información del corpus de las *Relaciones Geográficas*, especialmente la relativa a las enfermedades, síntomas y remedios que podría alimentar modelos matemáticos de contagio y análisis espacial de enfermedades.

Prácticas de explotación de recursos naturales y distribución espacial de flora, fauna, y minerales. Finalmente, un cuarto tema que pensamos abordar a partir de la información de las *Relaciones Geográficas* concierne a la distribución espacial de una gran variedad de recursos naturales, entre los que se cuentan plantas nativas y europeas, especies animales, minerales, etc. Otro tema de estudio es la disponibilidad de comida y de animales, tanto nativos como introducidos por los españoles, el uso de recursos naturales, la existencia de artefactos culturales, la presencia de sacerdotes y órdenes religiosas en regiones particulares y tipos de arquitectura.

CONCLUSIÓN

A lo largo de este capítulo hemos descrito el protocolo de investigación y los primeros resultados del proyecto *Explorando el México Colonial Temprano*. La intención ha sido dar a conocer varios enfoques

computacionales que ayudan a descubrir patrones significativos de información histórica. La metodología GTA, en particular, facilita la adquisición de nuevos conocimientos mediante la extracción de datos históricos y culturales asociados a su contexto geo-espacial. A través del modelo de reconocimiento y desambiguación de entidades nombradas, las herramientas de software desarrolladas, y los métodos de análisis espacial que hemos comenzado a implementar recientemente, el enfoque acelerará el procesamiento de colecciones masivas de documentos, lo cual, a su vez, ofrece la posibilidad de practicar lo que en estudios literarios se denomina *lectura distante* (Moretti 2000a, 2000b). La premisa de ese tipo de análisis es que, en presencia de un corpus masivo de textos, la lectura minuciosa de cada fragmento se vuelve casi imposible. Por tanto, si un investigador desea extraer conocimientos de una cantidad de libros mayor a la que su cerebro puede procesar en un tiempo razonable, la mejor estrategia es aplicar el procesamiento computarizado. Esta estrategia no solo es necesaria ante el reto imposible de leer todas las obras o documentos relevantes sobre un tema histórico, sino que es deseable, porque expande el foco de una investigación al abarcar no sólo obras consideradas más importantes, sino también aquellas que a menudo pasan desapercibidas por no pertenecer al *canon* de una tradición histórica o literaria.

Ello no significa que este capítulo promueva la desaparición de la *lectura cercana* que practican tradicionalmente los historiadores, es decir, el intenso escrutinio de las fuentes, la cuidadosa interpretación de un pasaje en el texto, el descubrimiento del subtexto en una oración o la filología de una palabra. Por el contrario, consideramos que el análisis de palabras en contexto y otras técnicas de minería de datos pueden aumentar el tiempo disponible para la lectura minuciosa y con ello disminuir el esfuerzo de hacer historia. En este escenario, la computadora efectúa un análisis macro que identifica las tendencias, los patrones generales, y los párrafos o segmentos que merecen un análisis micro, donde la aplicación de la experiencia y esfuerzo del investigador resulta mucho más fructífera.

Finalmente, informamos a los lectores que todos los productos digitales y las herramientas de software producidos en el curso de este proyecto estarán disponibles gratuitamente a fines de 2022 a través de varios repositorios, incluidos Github y nuestra propia plataforma Web. Liberando dichos recursos esperamos que académicos de distintas disciplinas sean capaces de identificar la información deseada, extraerla, interrelacionarla a otros recursos documentales y lo más importante, responder preguntas históricas que mejoren el conocimiento del periodo colonial de México.

Apéndice 1. Instrucción y memoria de las relaciones que se han de hacer para la descripción de las indias que su majestad manda hacer, para el buen gobierno y ennoblecimiento dellas.

PRIMERAMENTE, los gobernadores, corregidores o alcaldes mayores, a quien los virreyes, a audiencias y otras personas del gobierno envíaren estas Instrucciones, las distribuirán por los pueblos de españoles y de indios de su jurisdicción, enviándolas a los concejos o a los curas, si los hubiere, y, si no, a los religiosos a cuyo cargo fuere la doctrina, mandándoles de parte de su Majestad que, dentro de un breve término, las respondan como en ellas se declara, y les envíen las relaciones que hicieren, juntamente con estas Memorias, para que ellos, como fueren recibiendo las relaciones, vayan enviándolas a las personas de gobierno; y, las Instrucciones y Memorias, las vuelvan a distribuir, si fueren menester, por los otros pueblos a donde no las hubieren enviado.

Las personas a quien se diere cargo en los pueblos de hacer la relación, responderán a los capítulos de la Memoria que se sigue por la orden y forma siguiente:

Primeramente, en un papel aparte pondrán, por cabeza de la relación que hicieren, el día, mes y año de la fecha de ella, con el nombre de la persona o personas que se hallaren a hacerla, y del gobernador u otra persona que les hubiere enviado la dicha Instrucción.

Y, leyendo atentamente cada capítulo de la Memoria, escribirán lo que hubiere que decir a él en otro capítulo por sí, respondiendo a cada uno por sus números, como van en la Memoria, uno tras otro. Y, en los que no hubiere que decir, dejarlos han sin hacer mención de ellos, y pasarán a los siguientes, hasta acabarlos de leer todos y responder lo que tuvieran que decir, como queda dicho, breve y claramente, en todo afirmando por cierto lo que lo fuere y, lo que no, poniéndolo por dudoso; de manera que las relaciones vengan ciertas, conforme a lo contenido en los capítulos siguientes.

Memoria de las cosas a que se ha de responder y de que se han de hacer las relaciones:

1. Primeramente, en los pueblos de españoles, se diga el nombre de la comarca o provincia en que están, y qué quiere decir el dicho nombre en lengua de indios y por qué se llama así.

2. Quién fue el descubridor y conquistador de la dicha provincia, y por cuya orden y mandado se descubrió, y el año de su descubrimiento y conquista; lo que, de todo, bienamente se pudiere saber.

3. Y, generalmente, el temperamento y calidad de la dicha provincia o comarca, si es muy fría o caliente, o húmeda o seca, de muchas aguas o pocas y cuándo son, más o menos, y los vientos que corren en ella qué tan violentos y de qué parte son, y en qué tiempos del año.

4. Si es tierra llana o áspera, rasa o montuosa, de muchos o pocos ríos o fuentes, y abundosa o falta de aguas, fértil o falta de pastos, abundosa o estéril de frutos y de mantenimientos.

5. De muchos o pocos indios, y si ha tenido más o menos en otro tiempo que ahora, y las causas que dello se supieren; y, si los hay, si están poblados en pueblos formados y permanentes; y el talle y suerte de sus entendimientos, inclinaciones y manera de vivir; y si hay diferentes lenguas en toda la provincia, o tienen alguna generalmente en que hablen todos.

6. El altura o elevación del polo en que están los dichos pueblos de españoles, si estuviere tomada y se supiere, o hubiere quien la sepa tomar; o en qué días del año el sol no echa sombra ninguna al punto del medio día.

7. Las leguas a que cada ciudad o pueblo de españoles estuviere de la ciudad donde residiere la Audiencia en cuyo distrito cayere, o del pueblo donde residiere el gobernador a quien estuviere sujeta; y a qué parte de las dichas ciudades o pueblos estuviere.

8. Asimismo, las leguas que distare cada ciudad o pueblo de españoles de las otras con quien partiere términos, declarando a qué parte de ellos, y si las leguas son grandes o pequeñas y por tierra llana o doblada, y si por caminos derechos o torcidos, buenos o malos de caminar.

9. El nombre y sobrenombre que tiene o hubiere tenido cada ciudad o pueblo, y porqué se hubiere llamado así (si se supiere), y quién le puso el nombre y fue el fundador della, y por cuya orden y mandado la pobló y el año de su fundación, y con cuántos vecinos se comenzó a poblar y los que al presente tiene.

10. El sitio y asiento donde los dichos pueblos estuvieren, si es en alto, o bajo o llano, con la traza dellos.

11. En los pueblos de los indios, solamente se diga lo que distan del pueblo en cuyo corregimiento o jurisdicción estuvieren, y del que fuere su cabecera de doctrina.

12. Y asimismo, lo que distan de los otros pueblos de indios o de españoles que en torno de sí tuvieren, declarando, en los unos y en los otros, a qué parte dellos caen y si las leguas son grandes o pequeñas y, los caminos, por tierra llana o doblada, derechos o torcidos.

13. Item, lo que quiere decir en lengua de indios el nombre del dicho pueblo de indios y porqué se llama así, si hubiere qué saber en ello, y cómo se llama la lengua que los indios del dicho pueblo hablan.

14. Cuyos eran en tiempo de su gentilidad, y el señorío que sobre ellos tenían sus señores y lo que tributaban, y las adoraciones, ritos y costumbres, buenas o malas, que tenían.

15. Cómo se gobernaban y con quién traían guerra, y cómo peleaban, y el hábito y traje que traían y el que ahora traen, y los mantenimientos de que usaban y ahora usan, y si han vivido más o menos sanos antiguamente que ahora, y la causa que dello se entendiere.

16. En todos los pueblos, de españoles y de indios, se diga el asiento donde están poblados si es sierra o valle, o tierra descubierta y llana, y el nombre de la sierra o valle y comarca do estuvieren.

17. Y si es tierra o puesto sano o enfermo, y, si enfermo, por qué causa (si se entendiere), y las enfermedades que comúnmente suceden, y los remedios que se suelen hacer para ellos.

18. Qué tan lejos o cerca está de alguna sierra o cordillera señalada que esté cerca del, y a qué parte le cae y cómo se llama.

19. El río o ríos principales que pasaren por cerca, y qué tanto apartados dél y a qué parte, y qué tan caudalosos son; y, si hubiere qué saber, alguna cosa notable de sus nacimientos, aguas, huertas y aprovechamiento de sus riberas, y si hay en ellas, o podría haber, algunos regadíos que fuesen de importancia.

20. Los lagos, lagunas o fuentes señaladas que hubiere en los términos de los pueblos, con las cosas notables que hubiere en ellos.

21. Los volcanes, cuevas, y todas las otras cosas notables y admirables que hubiere.

22. Los árboles silvestres que hubiere en la dicha comarca comúnmente, y los frutos y provechos que dellos y de sus maderas se saca, y para lo que son o serían buenas.

23. Los árboles de cultura y frutales que hay en la dicha tierra, y los que de España y otras partes se han llevado, y se dan o no se dan bien en ella.

24. Los granos y semillas, y otras hortalizas y verduras, que sirven o han servido de sustento a los naturales.

25. Las que de España se han llevado, y, si se da en la tierra el trigo, cebada, vino y aceite, en qué cantidad se coge, y si hay seda o grana en la tierra y en qué cantidad.

26. Las yerbas o plantas aromáticas con que se curan los indios, y las virtudes medicinales o venenosas de ellas.

27. Los animales y aves, bravos y domésticos, de la tierra, y los que de España se han llevado, y cómo se crían y multiplican en ella.

28. Las minas de oro y plata, y otros mineros de metales o atramentos y colores, que hubiere en la comarca y términos del dicho pueblo.

29. Las canteras de piedras preciosas, jaspes, mármoles y otras cosas señaladas y de estima que asimismo hubiere.

30. Si hay salinas en el dicho pueblo o cerca dél, o de dónde se proveen de sal y de todas las otras cosas de que tuvieren falta para el mantenimiento o vestido.

31. La forma y edificio de las casas, y los materiales que hay para edificarlas en los dichos pueblos, o en otras partes de donde los trujeren.

32. Las fortalezas de los dichos pueblos, y los puestos y lugares fuertes e inexpugnables que hay en sus términos y comarca.

33. Los tratos y contrataciones y granjerías de que viven y se sustentan, así los españoles como los indios naturales, y de qué cosas y en qué pagan sus tributos.

34. La diócesi, de arzobispado u obispado o abadía, en que cada pueblo estuviere, y el partido en que cayere, y cuántas leguas hay y a qué parte del pueblo; dónde reside la catedral y la cabecera del partido, y si las leguas son grandes o pequeñas, por caminos derechos o torcidos, y por tierra llana o doblada.

35. La iglesia catedral, y la parroquial o parroquiales que hubiere en cada pueblo, con el número de los beneficios y prebendas que en ellas hubiere, y, si hubiere en ellas alguna capilla a dotación señalada, cuya es y quién la fundó.

36. Los monasterios de frailes o monjas de cada orden que en cada pueblo hubiere, y por quién y cuándo se fundaron, y el número de religiosos y cosas señaladas que en ellos hubiere.

37. Asimismo, los hospitales y colegios y obras pías que hubiere en los dichos pueblos, y por quién y cuándo fueron instituidos.

38. Y, si los pueblos fueren marítimos, demás de lo susodicho, se diga, en la relación que dello se hiciere, la suerte de la mar que alcanza, si es mar blanda o tormentosa, y de qué tormentas y peligros, y en qué tiempos comúnmente suceden, más o menos.

39. Si la costa es playa o costa brava, los arrecifes señalados y peligrosos para la navegación que hay en ella.

40. Las mareas y crecimientos de la mar, qué tan grandes son, y a qué tiempo mayores o menores, y en qué días y horas del día.

41. Los cabos, puntas, ensenadas y bahías señaladas que en la dicha comarca hubiere, con los nombres y grandeza dellos, cuanto buenamente se pudiere declarar.

42. Los puertos y desembarcaderos que hubiere en la dicha costa, y la figura y traza de ellos, en pintura comoquiera que sea en un papel, por donde se pueda ver la forma y talle que tienen.

43. La grandeza y capacidad de ellos, con los pasos y leguas que tendrán de ancho y largo poco más o menos (como se pudiere saber), y para qué tantos navíos serán capaces.

44. Las brasas del fondo dellos, la limpieza del suelo, y los bajos y topaderos que hay en ellos y a qué parte están; si son limpios de broma y de otros inconvenientes.

45. Las entradas y salidas dellos a qué parte miran, y los vientos con que se ha de entrar y salir dellos.

46. Las comodidades y descomodidades que tienen de leña, agua y refrescos, y otras cosas buenas y malas para entrar y estar en ellos.

47. Los nombres de las islas pertenecientes a la costa y porqué se llaman así; la forma y figura dellas, en pintura si pudiere ser, y el largo y ancho y lo que bojan; el suelo, pastos, árboles y aprovechamientos que tuvieron; las aves y animales que hay en ellas, y los ríos y fuentes señaladas.

48. Y, generalmente, los sitios de pueblos de españoles despoblados, y cuándo se poblaron y despoblaron, y lo que se supiere de las causas de haberse despoblado.

49. Describanse todas las demás cosas notables, en naturaleza y efectos, del suelo, aire y cielo, que en cualquier parte hubiere y fueren dignas de ser señaladas.

50. Y, hecha la relación, la firmarán de sus nombres las personas que se hubieren hallado a hacerla, y sin dilación la enviarán, con esta Instrucción, a la persona que se la hubiere enviado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es parte de las investigaciones practicadas dentro del proyecto *Explorando el México Colonial Temprano: Análisis computacional a gran escala de fuentes históricas del siglo XVI*, el cual opera gracias a la subvención de la iniciativa *Digging into Data 2016* de la Plataforma Transatlántica para la Investigación de Ciencias Sociales y Humanidades (T-AP). El consorcio es respaldado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (No. proyecto 275015), el Economic and Social Research Council (ESRC, Reino Unido) (ES / R003890 / 1), y la Fundación para la Ciencia y la Tecnología (FCT) de Portugal. <http://www.lancaster.ac.uk/digging-ecl>. Asimismo, agradecemos a la Red Conacyt de Tecnologías Digitales para la Difusión del Patrimonio Cultural (proyecto 294971) por su apoyo para la publicación de los resultados de este proyecto.

BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, René. (Ed.). 1982-1988. *Relaciones Geográficas del siglo XVI*, 10 vols. México: Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México. https://books.google.com/books/about/Relaciones_Geogr%C3%A1ficas_Del_Siglo_XVI.html?id=XuQ0834CgVAC
- Acuña-Soto, Rodolfo, Stahle, David W., Cleaveland, Malcolm K., y Therrell, Matthew D. 2002. Megadrought and Megadeath in 16th Century Mexico. *Revista Biomédica*, 13: 289-292.
- Acuña-Soto, Rodolfo, Stahle, David W. Therrell, Matthew D., Griffin, Richard D., y Cleaveland. Malcolm K. 2004. When half of the population died: The epidemic of hemorrhagic fevers of 1576 in Mexico. *FEMS Microbiology Letters*, 240(1): 1–5. DOI:10.1016/j.femsle.2004.09.011
- Afanador-Pujol, Angélica X. 2015. *La Relación de Michoacán (1539-1541) and the politics of representation in Colonial Mexico*. Austin: University of Texas Press.
- Alexandria Digital Library Gazetteer. Recurso en línea disponible en: <https://www.library.ucsb.edu/map-imagery-lab/alexandria-digital-library-gazetteer> [Consultado el 1 de noviembre de 2020].
- Alpert-Abrams, Hannah. 2016. Machine reading the *Primeros Libros. Digital Humanities Quarterly*, 10 (4). <http://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/10/4/000268/000268.html>
- Anaya Monroy, Fernando. 1960. Presencia spiritual de la cultura náhuatl en la toponimia. *Estudios de Cultura Náhuatl*, 2: 9-25.
- Ballesteros García, Victor M. 2005. *La pintura de la Relación de Zempoala de 1580*. Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Bailey, Geoff. 2005. Site catchment analysis. En C. Renfrew y P. Bahn (Eds.), *Archaeology. The key concepts*, pp. 172-176. London: Taylor & Francis.
- Becker, Daniel, Andrés-Herrero, María, Willmes, Christian, Weniger, Gerd-Christian, y Bareth, Georg. 2017. Investigating the influence of different DEMs on GIS-based cost distance modelling for site catchment analysis of prehistoric sites in Andalusia. *International Journal of Geo-Information*, 6(36): 1-28.
- Becker, Jerónimo. 1917. Los estudios geográficos en España (ensayo de una historia de la geografía). Publicaciones de la Real Sociedad Geográfica. Madrid: Establecimiento Tipográfico de J. Ratés.
- Bodenhamer, David J., Corrigan, John, y Harris, Trevor M. 2010. *The spatial humanities. GIS and the future of humanities scholarship*. Bloomington: Indiana University Press.
- Borah, Woodrow y Cook, S. F. 1960. *The population of Central Mexico in 1548. An analysis of the "Suma de visitas de pueblos"*. [Ibero-American, vol. 43]. Berkeley: University of California Press.
- Borah, Woodrow y Cook, S. F. 1963. *The aboriginal population of central Mexico on the eve of the Spanish conquest*. [Ibero-American, vol. 45]. Berkeley and Los Angeles: University of California Press.
- Borin, Lars, Kokkinakis, Dimitrios, y Olsson, Leif-Jöran. 2007. Naming the past: Named entity and animacy recognition in 19th century Swedish literature. En *Proceedings of the Workshop on Language Technology for Cultural Heritage Data (LaTeCH 2007)*, pp. 1-8. Prague: Association for Computational Linguistics. <http://www.aclweb.org/anthology/W/W07/W07-0901.pdf>
- Bravo-García, Eva. 2019. *Las voces del contacto. Edición y estudio de Las Relaciones Geográficas de México (Siglo XVI)*. Warsaw: University of Warsaw.
- Brooke, Julian, Hammond, Adam, y Hirst, Graeme. 2015. GutenTag: An NLP-driven tool for digital humanities research in the project Gutenberg Corpus. En *Proceedings of the North American Association for Compu-*

- tational Linguistics, pp. 1–6. Denver, Colorado. <http://www.cs.toronto.edu/pub/gh/Brooke-et-al-2015-CLfL.pdf>
- Byrne, Kate. 2007. Nested named entity recognition in historical archive text. En *Proceedings of the International Conference on Semantic Computing (ICSC 2007)*. Irvine, CA: IEEE. DOI:10.1109/ICSC.2007.107.
- Cáceres Lorenzo, María Teresa. 2013. Tipos de Relaciones Geográficas en el siglo XVI. *Critica Hispánica*, 35(1): 45-66.
- Cáceres Lorenzo, María Teresa. 2016. Heterogeneidad léxica en las Relaciones Geográficas de Yucatán, *Alpha. Revista de Artes, Letras y Filosofía*, 42 (publicado en línea). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-22012016000100007>
- Castañeda de la Paz, María. 2015. *En busca de agua para no morir de ser. Fray Francisco de Tembleque y la construcción del acueducto de Otumba y Zempoala*. Estado de México: El Colegio Mexiquense, Gobierno del Estado de México y Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cline, Howard F. 1964. *The Relaciones Geográficas of the Spanish Indies, 1577-1586*. The Hispanic American Historical Review, 44 (3): 341–374. DOI:10.2307/2511856.
- Cline, Howard F. 1972a. Introductory notes on territorial divisions of Middle America. En H. F. Cline (Ed.), *Handbook of Middle American Indians, vol. 12: Guide to ethnohistorical sources, part one*, pp. 17–62. Austin: University of Texas Press.
- Cline, Howard F. 1972b. Ethnohistorical regions of Middle America. En H. F. Cline (Ed.), *Handbook of Middle American Indians, vol. 12: Guide to ethnohistorical sources, part one*, pp. 166–182. Austin: University of Texas Press.
- Cline, Howard F. 1972c. The Relaciones Geográficas of the Spanish Indies, 1577-1648. En H. F. Cline (Ed.), *Handbook of Middle American Indians, vol. 12: Guide to ethnohistorical sources, part one*, pp. 183–242. Austin: University of Texas Press.
- Cline, Howard F. 1972d. A census of the Relaciones Geográficas of New Spain, 1579-1612. En H. F. Cline (Ed.), *Handbook of Middle American Indians, vol. 12: Guide to ethnohistorical sources, part one*, pp. 324-369. Austin: University of Texas Press.
- Cline, Howard F. 1972e. The Relaciones Geográficas of Spain, New Spain, and the Spanish Indies: An annotated bibliography. En H. F. Cline (Ed.), *Handbook of Middle American Indians, vol. 12: Guide to ethno-*
- historical sources, part one*, pp. 370-395. Austin: University of Texas Press.
- Cohn, Anthony, y Hazarika, Shyamanta.M. 2001. Qualitative spatial representation and reasoning: An overview. *Fundamenta Informaticae*, 46(1-2): 1-29.
- Cohn, Anthony, y Renz, Jochen. 2008. Qualitative spatial representation and reasoning. En F. van Harmelen, V. Lifschitz y B. Porter (Eds). *Handbook of Knowledge Representation*. Amsterdam: Elsevier. *Foundations of Artificial Intelligence*, 3: 551-596.
- Colección de documentos inéditos relativos al descubrimiento, conquista y organización de las antiguas posesiones españolas de ultramar, vol. 11: *Relaciones de Yucatán*. 1898. Introducción de José María Asencio. Madrid: Establecimiento Tipográfico Sucesores de Rivadeneyra.
- Cook, S. F., y Simpson, L. B. 1948. *The Population of Central Mexico in the Sixteenth Century*. [Ibero Americana Vol. 31]. Berkeley: University of California Press.
- Cooper, David, y Gregory, Ian N. 2011. Mapping the English Lake District: A literary GIS. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 36 (1): 89–108. DOI:10.1111/j.1475-5661.2010.00405.x.
- Corona Núñez, José (Ed.). 1958. *Relaciones Geográficas de la Diócesis de Michoacán. 1579-1580*, 2 vols. Guadalajara: Ernesto Ramos Editor.
- Corpus del español. Recurso en línea disponible en: <https://www.corpusdelespanol.org> [Consultado el 1 de noviembre de 2020].
- Corpus diacrónico del español. Recurso en línea disponible en: <https://www.rae.es/banco-de-datos/corde> [Consultado el 1 de noviembre de 2020].
- Crane, Gregory, y Jones, Alison. 2006. The challenge of Virginia Banks: An evaluation of named entity analysis in a 19th-century newspaper collection. En *Proceedings of the 6th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries (JCDL '06)*, Chapel Hill, NC: ACM Press. DOI:10.1145/1141753.1141759.
- De la Garza, Mercedes (Ed.). 1983. *Relaciones históricogeográficas de la gobernación de Yucatán*: (Mérida, Valladolid y Tabasco), primera edición, 2 vols. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Del Paso y Troncoso, Francisco (Ed.). 1905-1912. *Papeles de Nueva España*. Segunda Serie: Geografía y Estadística, vols. 1, 3-7. Madrid: Sucesores de Rivadeneyra.
- Delgado López, Enrique. 2010. Las Relaciones Geográficas como proyecto científico en los albores de la modernidad. *Estudios Mesoamericanos*, 2(9): 97–106.

- Donaldson, Christopher, Gregory, Ian N., y Murrieta-Flores, Patricia. 2015. Mapping 'Wordsworthshire': A GIS study of literary tourism in Victorian Lakeland. *Journal of Victorian Culture*, 20(3): 287–307. DOI:10.1080/13555502.2015.1058089.
- Donaldson, Christopher, Gregory, Ian N., y Taylor, Joanna E. 2017. Locating the beautiful, picturesque, sublime and majestic: Spatially analysing the application of aesthetic terminology in descriptions of the English Lake District. *Journal of Historical Geography*, 56: 43–60. DOI:10.1016/j.jhg.2017.01.006.
- Ducke, Benjamin, y Kroefges, Peter. 2008. From points to areas: Constructing territories from archaeological site patterns using an enhanced Xtent model. En A. Posluschny, K. Lambers, y I. Herzog (Eds.), *Layers of perception. Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA2007)*, pp. 245–251. *Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte*, Vol. 10. Bonn: Dr. Rudolf Habelt GmbH.
- Dunning, Ted. 1993. Accurate methods for the statistics of surprise and coincidence. *Computational Linguistics*, 19(1): 6174.
- Edwards, Clinton R. 1969. Mapping by questionnaire: An early Spanish attempt to determine New World geographic positions. *Imago Mundi*, 23: 17–28.
- Ehrmann, Maud, Colavizza, Giovanni, Rochat, Yannick, y Kaplan, Frédéric. 2016. Diachronic evaluation of NER systems on old newspapers. En S. Dipper, F. Neubarth, y H. Zinsmeister (Eds.), *Proceedings of the 13th Conference on Natural Language Processing (KONVENS 2016)*, pp. 97–107. Bochum, Germany: Bochumer Linguistische Arbeitsberichte. <http://infoscience.epfl.ch/record/221391>.
- Eynard, Davide, Matteucci, Matteo, y Marfia, Fabio. 2012. A modular framework to learn seed ontologies from text. En M. T. Pazienza y A. Stellato (Eds.), *Semi-automatic ontology development processes and resources*, pp. 22–47. Hershey, PA: IGI Publishing.
- Favila Vázquez, Mariana. 2019. *La navegación prehispánica: Un sistema de conectividad del paisaje mesoamericano. Modelo de interacción entre la costa del Pacífico y el Altiplano Central (Postclásico Tardío-Siglo XVI)*. Tesis de Doctorado, México: Universidad Nacional Autónoma de México. Facultada de Filosofía y Letras, Instituto de Investigaciones Filológicas. Programa de Maestría y Doctorado en Estudios Mesoamericanos.
- Fernández Christlieb, Federico, y Garza Merodio, Gustavo. 2006. La pintura de la Relación Geográfica de Metztitlán, 1579. *Secuencia. Revista de Historia y Ciencias Sociales*, 66: 160–186.
- Firth, J. R. 1957. A synopsis of linguistic theory 1930–1955. En J. R. Firth (Ed.), *Studies in linguistic analysis*, pp. 1–32. Oxford: Blackwell y Oxford Philological Society. Reimpreso en F. R. Palmer (Ed.), *Selected papers of J.R. Firth 1952–1959*. London: Longman, 1968.
- García Castro, René (Ed.). *Suma de visitas de pueblos de la Nueva España, 1548–1550*. Toluca: Universidad Autónoma del Estado de México.
- García Cubas, Antonio. 1888–1891. *Diccionario geográfico, histórico y biográfico de los Estados Unidos Mexicanos*. 2 vols. México: Antigua Imprenta de Murguía. <https://catalog.hathitrust.org/Record/010416157>.
- García Martínez, Bernardo and Martínez Mendoza, Gustavo. 2013. *Señoríos, pueblos y municipios. Banco preliminar de información*. México: El Colegio de México.
- Geonames. Recurso en línea disponible en: <http://www.geonames.org/> [Consultado el 1 de noviembre de 2020].
- Gerhard, Peter. 1972. Colonial New Spain, 1519–1786: Historical notes on the evolution of minor political jurisdictions. En H. F. Cline (Ed.), *Handbook of Middle American Indians, vol. 12: Guide to ethnohistorical sources, part one*, pp. 63–137. Austin: University of Texas Press.
- Gerhard, Peter. 1977. Congregaciones de indios de la Nueva España antes de 1577. *Historia Mexicana*, 26(3): 347–395.
- Gerhard, Peter. 1991. *La frontera sureste de la Nueva España*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gerhard, Peter. 2000. *Geografía histórica de la Nueva España 1519–1821*. Segunda edición. México: Universidad Nacional Autónoma de México [Traducción del original en inglés *A Guide to the historical geography of New Spain*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1972].
- Getty Thesaurus of Geographical Names. Recurso en línea disponible en: <http://www.getty.edu/research/tools/vocabularies/tgn/> [Consultado el 1 de noviembre de 2020].
- Goldberg, Yoav. 2017. Neural network methods for natural language processing. *Synthesis Lectures on Human Language Technologies*, 10(1). DOI:10.2200/S00762ED1V01Y201703HLT037.

- González de Cossío, Francisco (Ed.). *El libro de las tasaciones de pueblos de la Nueva España. Siglo XVI.* México: Archivo General de la Nación.
- Gregory, Ian N., Donaldson, Christopher E., Murrieta-Flores, Patricia, y Rayson, Paul E. 2015. Geoparsing, GIS, and textual analysis: Current developments in spatial humanities research. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 9(1): 1–14. DOI:10.3366/ijhac.2015.0135.
- Gregory, Ian N., Donaldson, Christopher E., Hardie, Andrew, y Rayson, Paul E. 2018. Modelling space in historical texts. En J. Flanders y F. Jannidis (Eds.), *The shape of data in digital humanities: Modeling texts and text-based resources*, pp. 133-149. London: Routledge. <http://eprints.lancs.ac.uk/81427/>.
- Grover, Claire, Givon, Sharon, Tobin, Richard, y Ball, Julian. 2008. Named entity recognition for digitised historical texts. En *Proceedings of the Sixth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'08)*, pp. 1343-1346. Paris: ELRA.
- Gruzinski, Serge. 1991. *La colonización de lo imaginario. Sociedades indígenas y occidentalización en el México español. Siglos XVI-XVIII.* México: Fondo de Cultura Económica [Original en francés: *La colonization de l'imaginaire. Sociétés indigènes et occidentalisation dans le Mexique espagnol XV^e-XVII^e siècle*. Paris: Editions gallimard, 1988].
- Gutiérrez de la Torre, Silvia. 2019. Análisis de corpus con Voyant tools. *The Programming Historian*. Artículo en línea: <https://doi.org/10.46430/phes0043> [Consultado el 1 de noviembre de 2020].
- Guzmán Betancourt, Ignacio (Ed.). 1987. *De toponomía y topónimos. Contribuciones al estudio de los nombres de lugar provenientes de lenguas indígenas de México.* México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Guzmán Betancourt, Ignacio. 1989. *Toponomía mexicana. Bibliografía general.* México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Guzmán Betancourt, Ignacio (Ed.). 1998. *Los nombres de México.* México: Secretaría de Relaciones Exteriores.
- Harris, Trevor, M., Corrigan, John, y Bodenhamer, David J. 2010. Challenges for the spatial humanities: Toward a research agenda. En D. J. Bodenhamer, J. Corrigan, y T. M. Harris (Eds.), *The spatial humanities. GIS and the future of humanities scholarship*. Bloomington: Indiana University Press.
- Harvey, H. R. 1972. The Relaciones Geográficas, 1579-1586: Native languages. En H. F. Cline (Ed.), *Handbook of Middle American Indians, vol. 12: Guide to ethnohistorical sources, part one*, pp. 279-323. Austin: University of Texas Press.
- Hill, Linda, Frew, James, y Qi Zheng. 1999. Geographic names: The implementation of a gazetteer in a georeferenced digital library. *D-Lib Magazine*, 5(1). DOI:10.1045/january99-hill.
- Hill, Linda. 2000. Core elements of digital gazetteers: Placenames, categories, and footprints. En *Research and advanced technology for digital libraries*, pp. 280–290. Lecture Notes in Computer Science 1923. Berlin: Springer. DOI:10.1007/3-540-45268-0_26.
- Jacquez, G.M., Maruca, S., y Forth, M.-J. From fields to objects: A review of geographic boundary analysis. *Journal of Geographical Systems*, 2: 221-241.
- Jiménez-Badillo, Diego. 2021. Nearest and Relative Neighbourhood Networks. En M. A. Peebles, J. Munson, B. Mills, y T. Brughmans (Eds.), *The Oxford handbook of archaeological network research*. Oxford: Oxford University Press.
- Jiménez-Badillo, Diego, Murrieta-Flores, Patricia, Martins, Bruno, Gregory, Ian, Favila Vázquez, Mariana, y Liceras Garrido, Raquel. 2021. Developing geographically oriented NLP approaches to sixteenth-century historical documents: Digging into Early Colonial Mexico. *Digital Humanities Quarterly, special issue*.
- Lefebvre, Karim y Paredes Martínez, Carlos (Eds.). 2017. *La memoria de los nombres: la toponimia en la conformación histórica del territorio, de Mesoamérica a México.* Morelia, Michoacán: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. <http://www.h-mexico.unam.mx/noden/19835>.
- León Portilla, Miguel. 2002. El destino de las lenguas indígenas de México. En N. Hernández (Ed.), *El despertar de nuestras lenguas (Queman tlachixque totlahtolhuacn)*, México: Editorial Diana, Fondo Editorial de las Culturas Indígenas.
- Liceras-Garrido, Raquel, Favila-Vázquez, Mariana, Bellamy, Katherine, Murrieta-Flores, Patricia, Jiménez-Badillo, Diego, y Martins, Bruno. 2019. Digital approaches to historical archaeology: Exploring the geographies of 16th century New Spain. *Open Access Journal of Archaeology & Anthropology-OAJAA*, 2 (1): 1-12.
- López de Velasco, Juan. 1894. *Geografía y descripción universal de las Indias.* Madrid: D. Justo Zaragoza:

- Establecimiento tipográfico de Fortanet. <http://www.cervantesvirtual.com/obra-visor/geografa-y-descripcin-universal-de-las-indias-recopilada-por-el-cosmgrafocronista-juan-lpez-de-velasco-desde-el-ao-de-1571-al-de-1574-publicada-por-d-justo-zaragoza-0/html/>.
- López Guzmán, Rafael J. 2007. *Territorio, poblamiento y arquitectura: México en las Relaciones Geográficas de Felipe II*. Granada: Universidad de Granada: Atrio.
- Mager, Manuel, Gutierrez-Vasques, Ximena, Sierra, Gerardo, y Meza, Ivan. 2018. Challenges of language technologies for the indigenous languages of the Americas. En *Proceedings of the 27th International Conference on Computational Linguistics (COLING 2018)*. <https://arxiv.org/abs/1806.04291>.
- Márquez, Ofelia, y Ramos Navarro Wold, Lilian. 1998. *Compilation of colonial Spanish terms and document related phrases*. Midway City, CA: Society of Historical and Ancestral Research Press. <http://www.somos-primos.com/spanishterms/spanishterms.htm>.
- McDonough, Kelly S. 2019. Indigenous technologies in the 1577 Relaciones Geográficas of New Spain: Collective land memory, natural resources, and herbal medicine. *Ethnohistory*, 66(3): 465–87. <https://doi.org/10.1215/00141801-7517886>.
- Miranda, Francisco (Ed.). 2019. *El Gran Michoacán. Inicios y primera expansion*. Morelia: Editorial Morevalladolid, Colección la tierra donde estamos, 2.
- Morato-Moreno, Manuel. 2017. The Map of Tlacotalpa by Francisco Gali, 1580: An early example of a local coastal chart in Spanish America. *The Cartographic Journal*, 55(1): 3-15.
- Moreno Toscano, Alejandra. 1968. *Geografía económica de México (siglo XVI)*. México: El Colegio de México.
- Moretti, Franco. 2000a. Conjectures on world literature. *New Left Review*, I: 54-68.
- Moretti, Franco. 2000b. The slaughterhouse of literature. *Modern Language Quarterly*, 61(1): 207-227.
- Mundy, Barbara E. 2013. Mapping Babel: A 16th Century Indigenous Map from Mexico. *The Appendix: A New Journal of Narrative & Experimental History*. Publicado en línea: <http://theappendix.net/issues/2013/10/mapping-babel-a-sixteenth-century-indigenous-map-from-mexico>
- Mundy, Barbara E. 2014. Place-names in Mexico-Tenochtitlan. *Ethnohistory*, 61 (2): 329–355. DOI:10.1215/00141801-2414190.
- Mundy, Barbara. 1996. *The mapping of New Spain: Indigenous cartography and the maps of the Relaciones Geográficas*. Chicago: University of Chicago Press.
- Muntzel, Martha C., y Villegas Molina, María Elena, (Eds.). 2010. *Itinerario toponímico de México: Ignacio Guzmán Betancourt*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Murrieta-Flores, Patricia, Baron, Alistair, Gregory, Ian, Hardie, Andrew, y Rayson, Paul. 2015. Automatically analyzing large texts in a GIS environment: The Registrar General's Reports and cholera in the 19th century. *Transactions in GIS* 19 (2): 296–320. DOI:10.1111/tgis.12106.
- Murrieta-Flores, Patricia, Donaldson, Christopher, y Gregory, Ian N. 2017. GIS and literary history: Advancing digital humanities research through the spatial analysis of eighteen-century travel writing. *Digital Humanities Quarterly*, 11(1). <http://www.digitalhumanities.org/dhq/vol/11/1/000283/000283.html>.
- Murrieta-Flores, Patricia, Favila-Vázquez, Mariana, y Flores-Morán, Evan. 2019. Spatial Humanities 3.0: Qualitative spatial representation and semantic triples as new means of exploration of complex indigenous spatial representations in sixteenth century early colonial Mexican maps. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 13(1-2): 53–68.
- Murrieta-Flores, Patricia, y Gregory, Ian N. 2017. Cruzando fronteras en humanidades digitales: Análisis geográfico de textos de interés histórico y arqueológico con sistemas de información geográfica. En D. Jiménez-Badillo (Ed.), *Arqueología computacional. Nuevos enfoques para la documentación, análisis y difusión del patrimonio cultural*, pp. 199–212. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Noguez, Xavier. 2020. Registro de tres epidemias en códices del centro de México, durante el siglo XVI. *Arqueología Mexicana*, 28(163): 10-13.
- Nuttall, Zellia (Ed.). 1926. Official reports on the towns of Tequizistlan, Tepechpan, Acolman, and San Juan Teotihuacan, sent by Francisco de Castañeda to His Majesty, Philip II, and the Council of the Indies, in 1580. *Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology*, 11(2): 45-84. Cambridge, Massachusetts: Harvard University.
- Ochoa, Álvaro, y Sánchez, Gerardo. 1985. *Relaciones y Memorias de la provincia de Michoacán. 1579-1581*. Morelia: Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo.
- Ochoa Serrano, Álvaro (Ed.). 2019. *El Gran Michoacán*.

- Descripciones y poblamiento, siglo XVI.* Morelia: Editorial Morevalladolid, Colección la tierra donde estamos, 1.
- Orozco y Berra, Manuel. 1857a. *Plano de la Congregación de Cenpoala mandado al Rey Felipe II en 1581 por el corregidor Luis Obregón*, <http://w2.siap.sagarpa.gob.mx/mapoteca/mapas/1189-OYB-7251-A.jpg>
- Orozco y Berra, Manuel. 1857b. *Copia del mapa de la Relación Geográfica de Epazoyuca*, <http://w2.siap.sagarpa.gob.mx/mapoteca/mapas/1190-OYB-7246-A.jpg>
- Peñafiel, Antonio. 1897. *Nomenclatura geográfica de México, etimologías de los nombres de lugar correspondientes a los principales idiomas que se hablan en la República*. 3 vols. México: Oficina tipográfica de la Secretaría de Fomento. <http://archive.org/details/nomenclaturageog00pe>
- Porter, Catherine, Atkinson, Paul, y Gregory, Ian N. 2015. Geographical Text Analysis: A new approach to understanding nineteenth-century mortality. *Health & Place*, 36(November): 25–34. DOI:10.1016/j.healthplace.2015.08.010.
- Robelo, Cecilio A. 1897. *Nombres geográficos indígenas del Estado de Morelos. Estudio crítico de varias obras de Toponimatología nahoa*. Cuernavaca: Luis G. Miranda, Impresor. <http://archive.org/details/nombresgeografi00robeuoft>.
- Robelo, Cecilio A. 1900. *Nombres geográficos indígenas del Estado de México: Estudio crítico etimológico*. Cuernavaca: Luis G. Miranda, Impresor. <http://cd.dgb.uanl.mx//handle/201504211/14251>.
- Robelo, Cecilio A. 1902a. *Nombres geográficos mexicanos del Estado de Veracruz: Estudio crítico etimológico*. Cuernavaca: Luis G. Miranda, Impresor.
- Robelo, Cecilio A. 1902b. *Toponimia tarasco-hispano-nahoa*. Cuernavaca: Imprenta de J. D. Rojas. <http://archive.org/details/toponimiatarasc00robegoog>.
- Robelo, Cecilio A. 1904. *Diccionario de aztequismos, ó sea, catálogo de las palabras del idioma nahuatl, azteca ó mexicano, introducidas al idioma castellano bajo diversas formas*. Cuernavaca: Impreso por el autor. <https://catalog.hathitrust.org/Record/009024985>.
- Robelo, Cecilio A. 1905. *Diccionario de mitología náhuatl*. México: Ediciones Fuente Cultural; Librería Navarro. <https://catalog.hathitrust.org/Record/001940449>.
- Robertson, Donald. 1972. The pinturas (maps) of the Relaciones Geográficas with a catalog. En H. F. Cline (Ed.), *Handbook of Middle American Indians*, vol. 12: *Guide to ethnohistorical sources, part one*, pp. 243-278. Austin: University of Texas Press.
- Roper, Donna C. 1979. The method and theory of site catchment analysis: A review. *Advances in Archaeological Method and Theory*, 2: 119-140. <http://www.jstor.org/stable/20170144>
- Sánchez-Martínez, Felipe, Martínez-Sempere, Isabel, Ivars-Ribes, Xavier, y Carrasco, Rafael C. 2013. An open diachronic corpus of historical Spanish: Annotation criteria and automatic modernisation of spelling. *Language Resources and Evaluation*, 47: 1327-1342. DOI:10.1007/s10579-013-9239-y
- Santos, João, Anastácio, Ivo, y Martins, Bruno. 2015. Using machine learning methods for disambiguating place references in textual documents. *GeoJournal*, 80(3): 375–392. DOI:10.1007/s10708-014-9553-y
- Santos, Rui, Murrieta-Flores, Patricia, Calado, Pável, y Martins, Bruno. 2018. Toponym matching through deep neural networks. *International Journal of Geographical Information Science*, 32(2): 324–348. DOI:10.1080/13658816.2017.1390119.
- Santos, Rui, Murrieta-Flores, Patricia, y Martins, Bruno. 2017. Learning to combine multiple string similarity metrics for effective toponym matching. *International Journal of Digital Earth*. DOI:10.1080/17538947.2017.1371253.
- Starr, Frederick. 1920. *Aztec place-names, their meaning and mode of composition, selected from the Spanish of Agustín de la Rosa, Antonio Peñafiel and Cecilio A. Robelo*. Chicago: Impreso por el autor. <https://catalog.hathitrust.org/Record/001360976>.
- Stell, John G. 2019. Qualitative spatial representation for the humanities. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 13(1-2): 2-27.
- Tanck de Estrada, Dorothy. 2005. *Atlas ilustrado de los pueblos de indios*. México: El Colegio de México, El Colegio Mexiquense, Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas, y Fomento Cultural Banamex.
- Taulé, Mariona, Martí, Antonia, y Recasens, Marta. 2008. AnCora: Multilevel annotated corpora for Catalan and Spanish. En *Proceedings of the Sixth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC'08)*, pp. 96-101. <https://www.aclweb.org/anthology/L08-1222/>
- Taylor, Joanna E., Gregory, Ian N., y Donaldson, Christopher E. 2017. Combining close and distant reading: A multiscalar analysis of the English Lake District's

- historical soundscape. *International Journal of Humanities and Arts Computing*, 2 (2): 163-182. DOI:10.3366/ijhac.2018.0220.
- Torres Rodríguez, Alfonso y Rodríguez Cano, Laura. 2001. Los topónimos del mapa histórico cartográfico de Atenco-Mizquiahuala. Disponible en línea: https://issuu.com/circulodemezquites/docs/mapa_de_mixquiahuala [Consultado el 1 de noviembre de 2020].
- Vägner, Ashild J., Herbig, Alexander, Campana, Michael G., Robles García, Nelly M. Warinner, Christina, Sabin, Susanna, Spyrou, Maria A., Andrade Valtueña, Aida, y Huson, Daniel, Tuross, Noreen, Bos, Kirsten I., y Krause, Johannes. 2018. *Salmonella enterica* genomes from victims of a major sixteenth-century epidemic in Mexico. *Nature Ecology and Evolution*, 2(3): 520-528. doi:10.1038/s41559-017-0446-6
- Valadez Vázquez, Ricardo, Castañeda de la Paz, María, y Jiménez-Badillo, Diego. 2021. Zempoala. Historia y paisaje de un corregimiento en el Estado de Hidalgo. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Investigaciones Jurídicas.
- Van Hooland, Seth, De Wilde, Max, Verborgh, Ruben, Steiner, Thomas, y Van de Walle, Rik. 2013. Exploring entity recognition and disambiguation for cultural heritage collections. *Digital Scholarship in the Humanities*, 30(2): 262–279. doi:10.1093/llc/fqt067.
- Verhagen, P., Nuninger, L., y Groenhuijzen, M. R. 2019. Modelling of pathways and movement networks in archaeology: An overview of current approaches. In: P. Verhagen, J. Joyce, y M. R. Groenhuijzen (Eds.), *Finding the limits of the limes. Modelling demography, economy and transport on the edge of the Roman empire*, pp. 217-249. Cham, Switzerland: Springer.
- West, Robert C. 1972. The Relaciones Geográficas of México and Central America, 1740-1792. En H. F. Cline (Ed.), *Handbook of Middle American Indians*, vol. 12: *Guide to ethnohistorical sources, part one*, pp. 396-449. Austin: University of Texas Press.
- Won, Miguel, Murrieta-Flores, Patricia, y Martins, Bruno. 2018. Ensemble named entity recognition (NER): Evaluating NER tools in the identification of place names in historical corpora. *Frontiers in Digital Humanities*, 5. DOI:10.3389/fdigh.2018.00002.
- World Historical Gazetteer. Recurso en línea disponible en: <http://whgazetteer.org/> [Consultado el 1 de noviembre de 2020].
- Zwart, Joost. 2017. Spatial semantics: Modeling the meaning of prepositions. *Language and Linguistics Compass*, 11(5): 1-20. <https://doi.org/10.1111/llc.12241>

An application of chemometrics to determine the provenance of obsidian artefacts from Xalasco, Tlaxcala

Denisse L. Argote

DIRECCIÓN DE ESTUDIOS ARQUEOLÓGICOS, INSTITUTO NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA

Pedro Lopez-García

POSGRADO DE ARQUEOLOGÍA, ESCUELA NACIONAL DE ANTROPOLOGÍA E HISTORIA.

Resumen: El sitio arqueológico de Xalasco, en el estado de Tlaxcala, ha sido considerado por algunos investigadores como un enclave de Teotihuacan durante el período Clásico. Varios artefactos de obsidiana se han obtenido a través de excavaciones arqueológicas. Sin embargo, hasta ahora no habían sido identificados los yacimientos de los que procedía su materia prima. El presente estudio propone la combinación de los métodos de Fluorescencia de Rayos X -en su modo portátil (pFRX) -y Quimiometría, con el objetivo de determinar la procedencia de dichos artefactos de obsidiana. En total, analizamos un conjunto de 258 artefactos; los espectros resultantes se utilizaron como firmas espectrales para procesarlos posteriormente mediante un análisis quimiométrico. Primeramente se aplicaron técnicas de pre-procesamiento espectral combinadas con métodos para la selección de variables dentro de un rango espectral. Las regiones espectrales seleccionadas fueron entonces analizadas aplicando un algoritmo de Análisis de Componentes Principales robusto (PCA, por sus siglas en inglés) para la discriminación de puntos aberrantes y la proyección de las observaciones en el espacio PCA. El método propuesto fue capaz de identificar cuatro yacimientos naturales; la explotación de dos de estos estaba controlada por Teotihuacan (Sierra de Pachuca y Otumba), mientras que la materia prima de los otros era distribuida regionalmente (Oyameles y Paredón). Los análisis propuestos probaron su efectividad para analizar cuantitativamente datos espectrales de interés arqueológico.

Palabras clave: determinación de procedencia; artefactos de obsidiana; quimiometría; pxrf; xalasco; tlaxcala

Abstract: The archaeological site of Xalasco, Tlaxcala has been considered one of the enclaves of Teotihuacan in the Classic Period. Several obsidian artefacts have been obtained through archaeological excavations. Unfortunately, the natural sources of their raw material have not been determined yet. This study proposes a combination of Portable X Ray Fluorescence Spectrometry (pXRF) and Chemometrics to determine the provenance of the obsidian artefacts. A set of 258 artefacts was analysed with a portable XRF spectrometer; the resultant spectral data were used as spectral signatures, which then were processed by means of chemometric analysis. Firstly, spectral pre-treatment techniques were applied combined with methods for the selection of variables within a spectral range. The selected spectral regions were then analysed with a Robust Principal Component Analysis (PCA) algorithm for the discrimination of outliers and the projection of the observations in the PCA space. Applying this method, we were able to identify four natural obsidian deposits: two of them -Sierra de Pachuca and Otumba- were controlled and exploited by Teotihuacan, while the other two offered raw materials that had a regional distribution (Oyameles and Paredón). This approach proves to be a valid technique for the quantitative analysis of spectral data of archaeological interest.

Keywords: provenance; obsidian artefacts; chemometrics; pxrf; xalasco; tlaxcala

1. INTRODUCTION

The archaeological site of Xalasco is located on a plateau in the northeast portion of the Mexican State of Tlaxcala, within the municipality of Atlzayanca (Figure 1).

Predominantly, the site was occupied during the Classic Period (100–700 A.D.) and covers an area of approximately 50 Ha. Remains of monumental architecture can still be found, with a central mound reaching 4 m high; another 15 lower mounds have also been detected. During the course of former archaeological projects several architectural features were uncovered; these include roadways, floors, walls, staircases and other elements corresponding to high-rank units with residential or civic functions (Juárez et al., 2017; López, Argote, and Tejero, 2016;

Manzanilla et al., 2011). Unfortunately, this great cultural heritage is nowadays disappearing due to modern agricultural practices and urban expansion.

The presence of at least two cultures was identified in the materials found in this site: the first one, called Tenayecac, exhibits local features, while the second one shows clear influences from Teotihuacan as well as some features from Veracruz and southern Puebla (Manzanilla et al., 2011). Since the architectural orientation of the recorded structures was similar to the ones existing in Teotihuacan, Bautista (2006) has concluded that Xalasco was inhabited by people from or directly related to Teotihuacan, suggesting that this was an enclave of the great metropolis. García Cook (1997) proposed the existence of sites in Tlaxcala within the Teotihuacan corridors, which

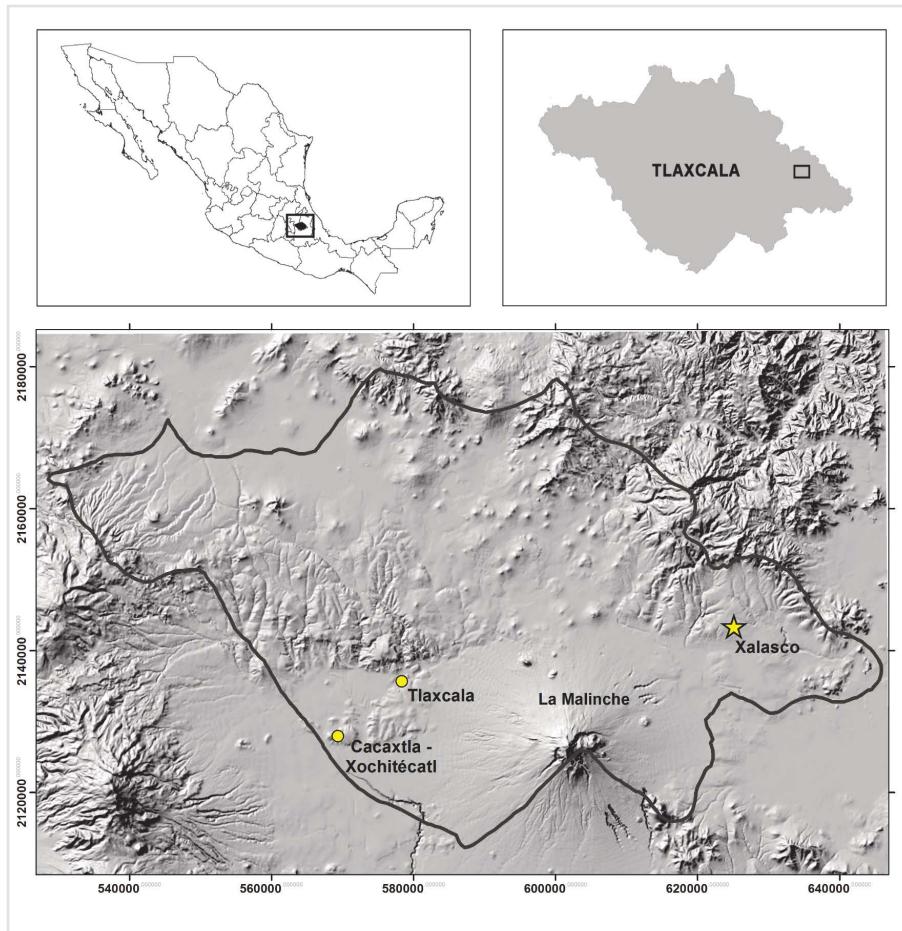


Figure 1 Location of the archaeological site of Xalasco, municipality of Atlzayanca, Tlaxcala (Source: INEGI, 2009; Geological chart E14B34, 1:50,000).

allowed traders to establish bases along the route of their trips to the Gulf of Mexico's coast. This hypothesis is based on the characteristics of the archaeological materials found in the area, which show a constant and dynamic interaction between different areas to the east of the plateau.

Therefore, it is reasonable to infer that this settlement, along with other sites in the Tlaxcala valley, had an important role in the sustainment and development of the great city of Teotihuacan by allowing the passage of resources that came from the Gulf as well as from south-eastern Mexico and the south of Puebla. Under this assumption, Xalasco would be a locality for exchange and transport of raw materials and finished products among these regions (Manzanilla et al., 2011).

During the course of archaeological excavations performed in the site in 2015 (López, Argote, and Tejero, 2016), 258 obsidian artefacts were collected. Unfortunately, their association to a natural obsidian deposit could not be determined by means of macroscopic analysis. Therefore, there is still a lack of information that could improve our knowledge of the exchange networks that were active in the region during Prehispanic times. One advantage of obsidian over other archaeological materials is its homogeneous composition within the same lava flow and its heterogeneous composition with respect to different volcanic regions (Pollard and Heron, 2008). This fact facilitates the application of multi-elemental analysis techniques for tracing the natural sources of the obsidian artefacts, allowing precise provenance identifications (Carballo, Carballo and Neff, 2007; Carter et al., 2006; Glascock, Speakman and Neff, 2007; Smith et al., 2007; Tykot, 2010).

Despite the value of Chemometrics in archaeological research, there are still very few works on the subject. This study proposes a combination of X-ray fluorescence and chemometrics to obtain a precise determination of the provenance of 258 obsidian artefacts recovered in the archaeological site of Xalasco. This will allow us proposing hypothesis about the utilization of resources coming from Teotihuacan and the control of this city over Xalasco. The methodology proposed for processing the resultant

spectra proves to be a valid quantitative approach for provenance determination.

2. METHODOLOGY

In Archaeology and Art History, spectroscopic methods have been increasingly applied due to their ability to measure the chemical characteristics of diverse materials, providing qualitative and quantitative information about major and trace elements without a sample pre-treatment. Nowadays, numerous papers have focused on the employment of X-ray Fluorescence portable instruments (pXRF) for determining the provenance of obsidian artefacts due to their positive characteristics, such as transportability, speed, cost effective and ease of use, allowing researchers all over the world to conduct very effective artefact analyses (Hunt and Speakman, 2015; Nazaroff, Prufer and Drake, 2010; Scharlotta and Quach, 2015; Shackley, 2010). Although pXRF has several disadvantages such as the low detection limit of some light elements (like Na and Mg) and the need for empirical standards (Speakman and Shackley, 2013), the reliability and validity of this technique for obsidian sourcing has been tested with confident results (Drake, Nazaroff and Prufer, 2009; Frahm, 2014; Millhauser, Rodríguez-Alegría and Glascock, 2011; Millhauser et al., 2017; Nazaroff, Prufer and Drake, 2010).

XRF is a spectroscopic technique that uses the emission of secondary radiation generated by exciting a sample with a primary X-ray radiation source. The resulting secondary radiation emission is characteristic of the different atoms that compose the sample. This emission can be displayed as a spectrum composed by the photon counts at different regions of energy or wavelengths $p(\lambda)$. Therefore, X-ray spectroscopy can provide $n \times p$ data matrices, where the rows refer to the obsidian samples and each column is associated with the intensities detected at each channel or energy region of the spectrum.

For this research, we used a Bruker TRACER III-SD portable analyser. The technical specifications of this instrument are a Rhodium (Rh) anode angled 52 degrees from the sample and a glancing angle

of 62 degrees toward a Silicon Drift Detector with a 7.5 μm Berilium (Be) window. The acquisition parameters were set at an energy value of 40 kV and a current of 30 μA , using a filter composed of 6 mil Cu, 1 mil Ti and 12 mil Al; no vacuum pump was used. The measuring time was 200 live seconds. In order to be able to compare the results, these parameters were set in the same way for the analyses of all samples (Kaiser and Shugar, 2012). After the spectra of the obsidian artefacts were obtained, a chemometric analysis was performed in order to determine the obsidian sources from which the artefacts proceed. This methodology is detailed in the following sub-sections.

2.1. Chemometric analysis of the spectral data

Differences in the relief along the surface of obsidian samples can hold undesired effects on the measurements, due to the physical dispersion of the light over the sample (La Tour, 1989). Therefore, besides the useful information, the collected spectra may contain noise and other irrelevant information. Spectra are often pre-processed for the removal of systematic noise and other spurious data, such as baseline variation and multiplicative scatter effects. Depending on the subject under research, specific filtering methods or a combination of filters can be used in order to enhance the quality of the spectrum (Lazim et al., 2016; Martelo and Vázquez, 2014). In this research, we employed the Savitsky-Golay (SG) filter with the Extended Multiplicative Signal Correction method (EMSC) for data smoothing and noise removal.

The SG filter is based on a local least-squares polynomial approximation, which reduces random noise of the instrumental signal while maintaining the shape and height of waveform peaks (Schafer, 2011). The EMSC performs model-based background correction and normalization of the spectra, removing identified but undesired physical and chemical interference effects, while retaining identified but desired effects as well as unidentified effects in the data (Dos Santos Panero et al., 2013). The EMSC can fit any desire order (linear, quadratic, polynomial), correcting complex fluctuations in the spectra (baseline features). The EMSC methods

provide the best overall performance in terms of prediction ability and calibration (Dos Santos Panero et al., 2013). For more details about these pre-processing techniques, please refer to Liland, Kohler and Afseth (2016), Varmuza and Filzmoser (2009) and Wehrens, 2011.

Chemometric applications usually work with the whole data spectrum, but spectral data may contain a large amount of redundant information (Nørgaard et al., 2000). Therefore, variable selection techniques can be used to improve chemometric models and to enhance spectral features. These techniques are able to retain and preserve only the variables that contain significant information for a specific task (Ballabio, 2006), removing the non-informative ones from hundreds of spectroscopic data points (Xu et al., 2014). The selection of specific spectral regions, or variables, is key to decreasing the complexity of the calibration model and increasing its prediction precision (Leardi, 2000; Nørgaard et al., 2000). In this work, the Interval Partial Least Squares (iPLS) and the Synergy Interval Partial Least Squares (siPLS) regression models were applied to select the spectral range that provided the lowest prediction error in comparison to the full-spectrum model (Nørgaard et al., 2000; Xu et al., 2015).

The iPLS splits the spectra into smaller equidistant subintervals, developing PLS models on each subinterval by using the same number of latent variables (Xu et al., 2015). The best sub-intervals (spectral ranges) are determined by the model's evaluation parameters, like the Root Mean Square Error of Cross-Validation (RMSECV), Root Mean Square Error of Prediction (RMSEP), the Squared Correlation Coefficient (r^2), the slope and the offset (Nørgaard et al., 2000; Suhandy et al., 2013). RMSEP is also an external method which evaluates whether the model constructed from calibration datasets correctly predicts the validation data. The predictive performances of all the local models as well as the global full spectrum model are then compared based on the validation parameter RMSECV/RMSEP for a given validation scheme (Leardi and Nørgaard, 2004).

The underlying principle of the siPLS tell us that the full spectrum must be split into a number of

smaller intervals since the selected features can be scattered throughout the spectrum (Zhiming et al., 2014). For this purpose, PLS regression models are employed in all possible combinations of two, three or four intervals, calculating the RMSECV for every combination of intervals. The optimal model is verified by the independent samples of the prediction set. Then, the combination of intervals with the lowest RMSECV is chosen. Generally, a good model should have lower RMSECV and RMSEP, and higher r^2 (Pan et al., 2015; Guo et al., 2014). The selected intervals can be subsequently used in any other modelling method, like Robust Principal Component Analysis or ROBPCA, Partial Least Squares (PLS) and Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA).

On the other hand, the existence of outliers should be taken into account in any spectral analysis, due to the large number of variables involved. An outlier is an observation that deviates much from the majority of the data set and arouses a suspicion that it was generated by a different mechanism (Hawkins, 1980), behaving differently from the rest of the observations (Van den Boogaart and Tolosana-Delgado, 2013). Examples of outliers could be samples that were differently measured than the rest or suffered contamination processes. Many multivariate methods are very sensitive to the presence of outliers (Filzmoser and Todorov, 2011; Hubert, Rousseeuw and Van den Branden, 2005), thus being important to identify them prior to modelling and analysis (Ben-Gal, 2005; Hron, Teml and Filzmoser, 2010; Liu, Shah and Jiang, 2004). With the aim of avoiding erroneous interpretations, it is advisable to employ robust methods like the ROBPCA method, which are less sensitive to the presence of outliers. A robust estimation finds a 'robust' fit, similar to the fit we would have found without outliers (Hubert and Rousseeuw, 2011). Nevertheless, in chemometrics there is the issue of high-dimensionality; therefore, it is necessary to use estimators that work when the number of variables p is greater than the number of observations n ($n << p$).

For this kind of issues, Hubert, Rousseeuw and Van den Branden (2005) proposed the ROBPCA method. The reduction of dimensionality of ROBPCA

consists in performing a decomposition of the singular data values, in order to express the information in the n -dimensional space (Filzmoser and Todorov, 2011). The ROBPCA method finds those linear combinations of the original variables that contain most of the information, even if there are outliers. This technique maximizes a robust measure of scattering and obtains consecutive directions in which the data points are projected (Hubert, Rousseeuw and Van den Branden, 2005:65). Once the outliers are eliminated, the intervals with the most relevant information are selected and the model is re-calibrated with the iPLS and siPLS. ROBPCA can also project the data points in the PCA space and reveal latent structures within the data.

For the analysis of our data, the statistical estimations were conducted in specialized software that runs in an R environment version 3.4.3 (R development Core Team, 2011) and iToolbox for Matlab version R2016a, which include a wide variety of functions for chemometric analyses. For data pre-processing, the SG filter was applied with the Prospectr package version 0.1.3 (Stevens and Ramirez-Lopez, 2015) and the EMSC algorithm with the EMSC package version 0.9.0 (Liland, 2017) for R. The iPLS and siPLS were conducted using iToolbox for Matlab (Nørgaard, 2013). For the ROBPCA computation, we used the toolboxes TOMCAT (Daszykowski et al., 2007) and LIBRA (Verboven and Hubert, 2005) for MATLAB.

3. DATA ANALYSIS AND RESULTS

In this investigation, 258 archaeological artefacts recovered from Xalasco archaeological site were analysed with a pXRF instrument. In order to determine their provenance, 34 samples collected from the Central Mexico's geological deposits of Oyameles (Puebla), El Paredón (Puebla), Sierra de Pachuca (Hidalgo), Zacualtipan (Hidalgo) and Otumba (state of Mexico) were also measured.

The processing applied to the data concerning the obsidian samples was as follows. The full spectral region of 1 to 40 keV (1 to 1850 channels of counts) of the samples was employed. Therefore, a matrix of 292 rows (258 artefacts plus 34 control samples

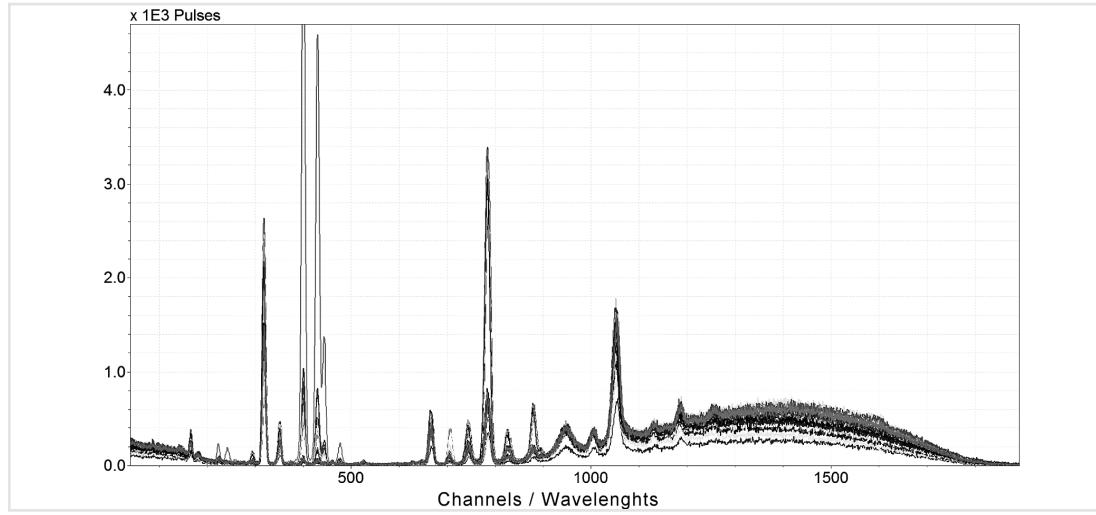


Figure 2. Raw XRF spectra of the 258 analyzed obsidian artifacts plus 34 sources samples (292 spectra in total).

from several obsidian sources) and 1850 columns was conformed.

Figure 2 presents the raw spectra of all obsidian samples; the figure shows that the shape of the spectra is similar, but the intensities are different. In addition to the sample information, the raw spectra contain background information and noise. To correct these undesired effects, the spectra were smoothed using the SG filter and the EMSC algorithm. For the SG filter, we used the following parameters: p = polynomial order (3), w = window size (11) data points, and m = m -th derivative (0 = smoothing).

For the EMSC, we increased the polynomial degree to six to provide a major improvement to the spectral data. Figure 3 shows the reduction of noise and the smoothed spectra, decreasing the effects of multiple scattering and enhancing small spectra differences in the samples.

Once the data was pre-processed, the iPLS algorithm was applied to eliminate collinearity and redundancy of information in spectral data, in order to isolate and highlight the important spectral intervals. The full spectral region (1– 1850) was divided into 20 equidistant non-overlapping intervals; each

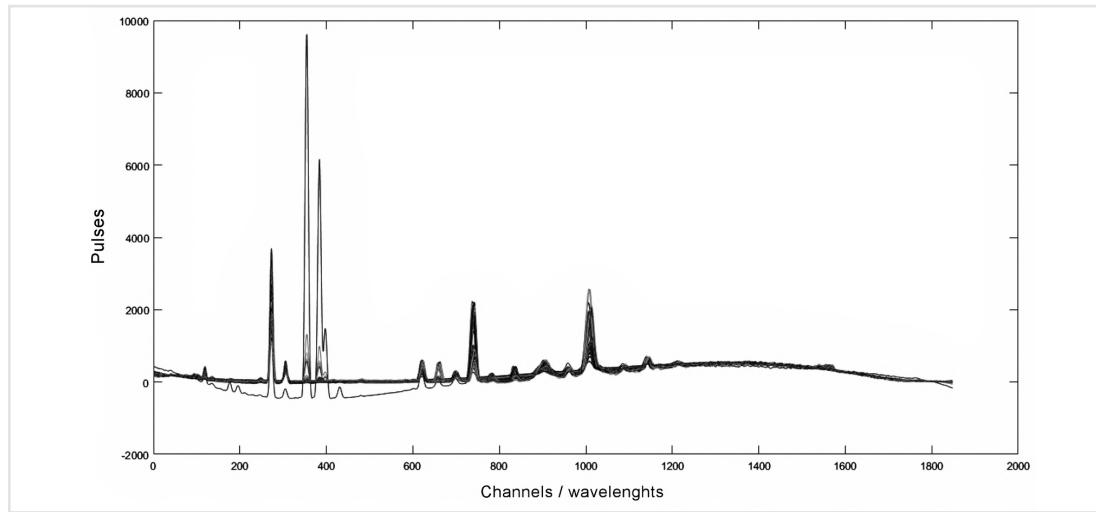


Figure 3. Spectra after the application of the SG filter and the sixth order polynomial EMSC model. The results clearly demonstrate that the pre-processing improves the correction of scattering effect.in total).

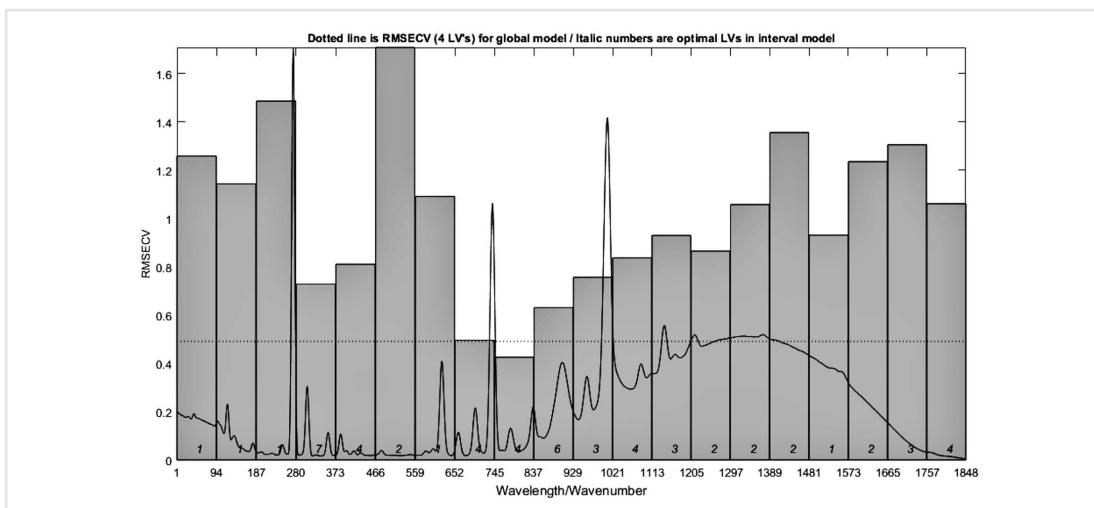


Figure 4. RMSECV plot obtained from the iPLS. The vertical bars are the RMSECV for each local model (20 interval model). The dotted line is the RMSECV for the full-spectrum PLS model versus interval model for one to 4 LV's. Italic numbers (at the bottom of each bar) are the optimal LV's in each interval model. The 9th interval was the most suitable with 4 LV's.

interval underwent a separate PLS modelling to determine the most useful variable range. In Figure 4, the bar plots of the RMSECV are shown for each range of variables (20 intervals). The italic numbers at the bottom of each bar displays the optimal LVs components in each interval. The dotted line represents the RMSECV of the full-spectrum iPLS model. The best modelling parameters in each iPLS interval model were selected. The iPLS calibration model of the 9th interval, located in the 745-837 spectral range of the PLS model and correspondent to the peak of Nb, achieves the minimum RMSECV (with 4 optimal LVs components).

The local iPLS calibration model of the 9th interval (Figure 5), used for predicting the Nb value, was reasonably good with 4 optimal LVs components, a low RMSECV (0.4256), a value of $r^2 = 0.9595$ and a bias of 0.0018. Although a satisfactory RMSECV value was obtained, the presence of outliers can be detected, for example sample 38 that is located far from adjustment of the predicted values (straight line). Outliers usually cause an undesired effect in the calibration of the model and tend to distort the results (Nørgaard, 2013). Therefore, we applied the ROBPCA algorithm to our data set in order to detect outliers, returning 3 observations classified as bad PCA-leverage points (samples 7, 27, 168) and one labelled as an orthogonal outlier (sample 38). There are also some good leverage

points corresponding to the samples proceeding from Otumba source. However, the good leverage points do not impact negatively the estimations, but rather stabilize the estimation of the PCA space (Todorov and Filzmoser, 2009).

According to the previous results, the four outliers were eliminated and the model was re-calibrated, observing an improvement in the model performance (Figure 6) represented by a lower RMSECV value (0.3821) and a higher r^2 value (0.9674). The RMSEP of the prediction was 0.4449 for the new model. For this last iPLS model, the results showed a good correlation between reference and predicted values, indicated by the correlation coefficient.

By comparing the figures 5 and 6, we can see that the model's predicted effect was good. Therefore, it was possible to fit a narrower region for Nb determination with small prediction errors and a reduced variable number. Afterwards, the siPLS algorithm was applied to the model without the presence of outliers, selecting the spectral region correspondent to interval number 9 (Figure 7). By this means, the original global model (with 1850 λ of the full-spectrum) was reduced to a number of only 92 variables and 4 LV's (compared to the 10 LV's used in the full-spectrum model), resulting in a more robust model with better predictive power.

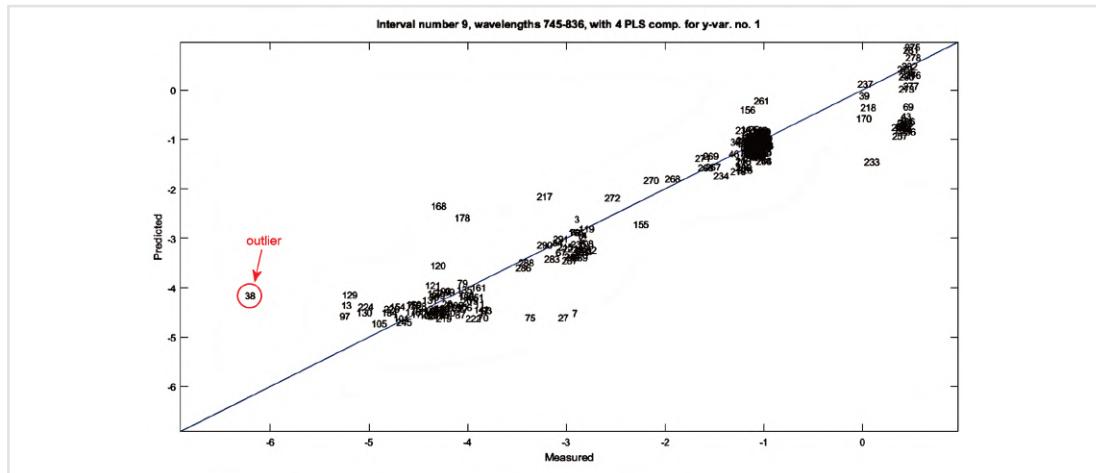


Figure 5. iPPLS local calibration model of interval number 9 (correspondent to Nb peak) with 4 PLS components for y-variable number 1.

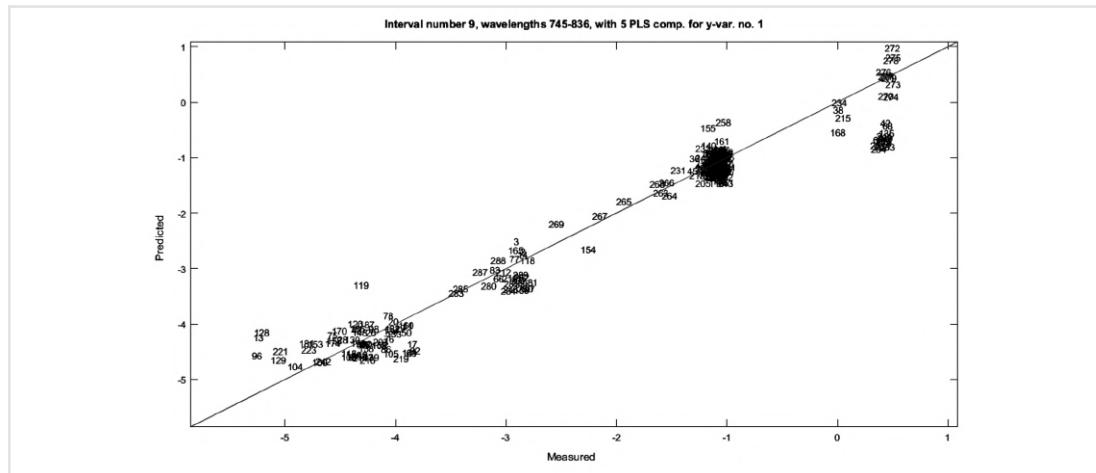


Figure 6. Selected spectral interval [9] (correspondent to Nb peak) for the siPLS model.

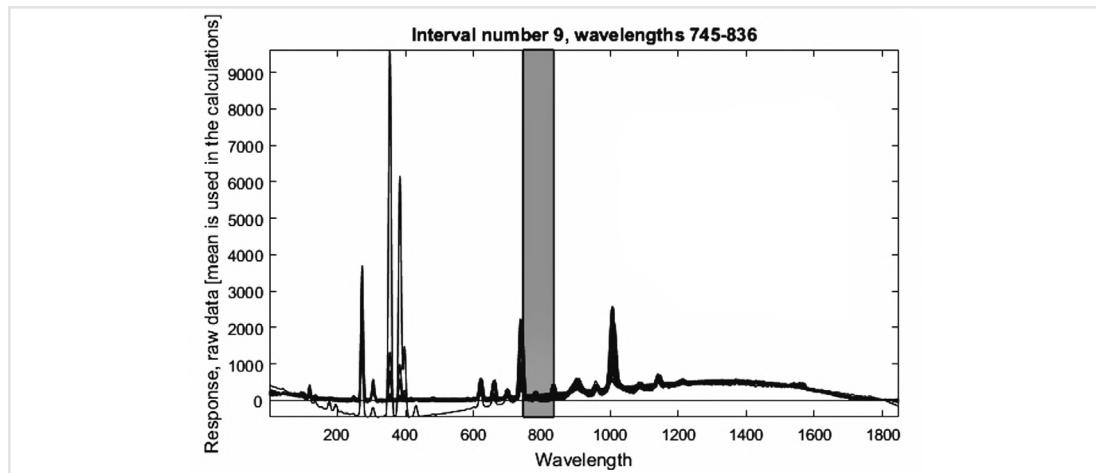


Figure 7. Scatter plot showing the correlation between reference, measured and predicted spectral data in the calibration set by the siPLS model without the presence of outliers.

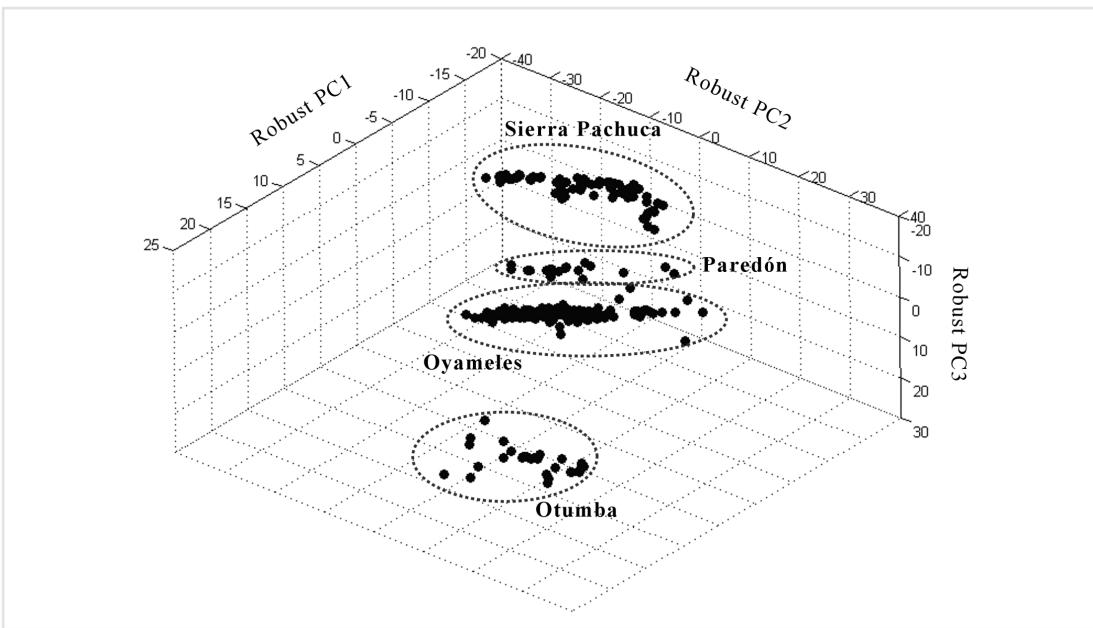


Figure 8. ROBPCA projection of the 3 robust principal components of the obsidian samples. The groups are marked with ellipses.

With the reduce model obtained, the ROBPCA method was applied to the obsidian samples data; the input data had now only $p = 92$ variables, including only the informative variables selected by the iPLS model. Through the projection of the obsidian samples data in the PCA space, the formation of several compact groups can be perceived (Figure 8), relating the artefacts to the following sources: Oyameles, Sierra de Pachuca, Paredón and Otumba. The effective discrimination between groups performed by the ROBPCA algorithm, with respect to their spectral information, supports the statement that the obsidian flows have distinctive chemical compositions as a result of their specific geological properties, which can be measured and detected by spectroscopic techniques such as pXRF.

4. DISCUSSION

Obsidian was a resource deemed of great value in pre-Hispanic times that was distributed via large exchange networks. Due to their physical qualities, some sources were more extensively and intensively exploited than others (Clark, 1989; Cobean, 2002). According to the results of the analysis of the 258 artefacts discovered in Xalasco, a preference towards Sierra de Pachuca, Oyameles, El Paredón and Otumba

sources (Figure 9) seems to be predominant, being Oyameles and Sierra de Pachuca the sources in which a greater percentage of artefacts were manufactured. Some of the geological characteristics of these four sources are briefly described below.

Sierra de Pachuca, also known as Sierra de las Navajas, is located in the state of Hidalgo between the modern cities of Pachuca and Tulancingo. Las Navajas is a per-alkaline volcanic centre already extinct that covers an approximate area of 250 km² (Argote-Espino et al., 2012; Ponomarenko, 2004). Las Minas flow was the second eruptive event occurring approximately 2 million years ago, producing the valued green-translucent obsidian (Ponomarenko, 2004). Sierra de Pachuca was one of the most important Mesoamerican obsidian sources in the Classic and Postclassic periods with quarries and mines strongly associated to Teotihuacan and Tenochtitlan exploitation, although its exploitation started thousands of years ago and is still performed by modern artisans. Due to its almost unique colour, its clean conchoidal fracture and its lack of crystals, this green obsidian was ideal for manufacturing a wide variety of artefacts, from fine prismatic blades to sumptuary pieces.

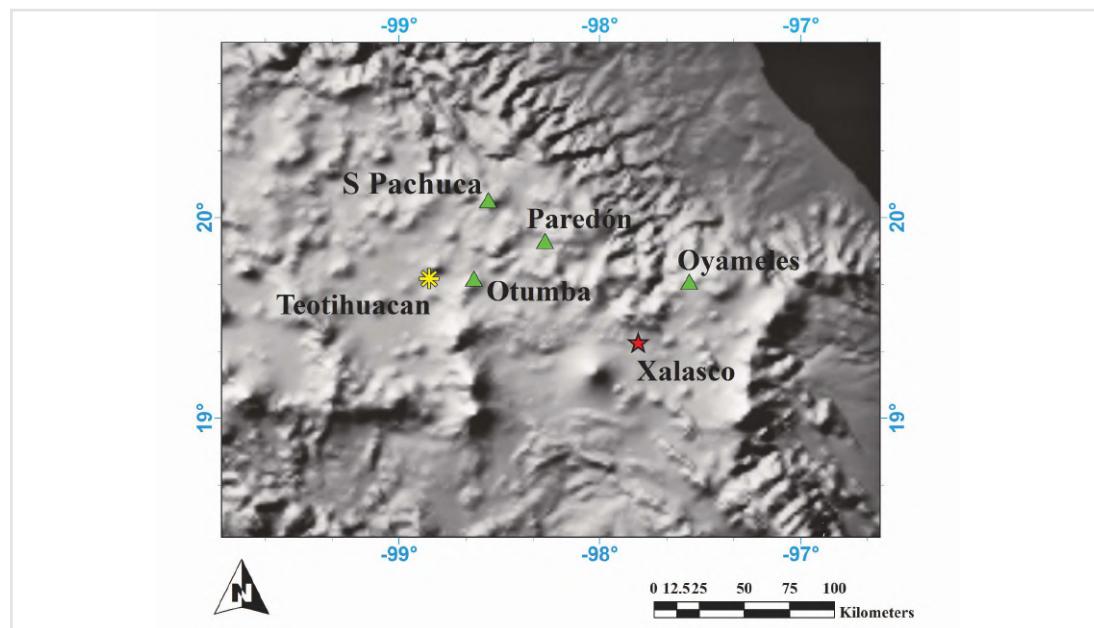


Figure 9. Geographical location of Oyameles, Otumba, Paredón and Sierra de Pachuca sources towards the archaeological site of Xalasco.

The Oyameles source is located in the eastern portion of the state of Puebla and near the border of Veracruz, a few kilometres north of the Prehispanic centre of Cantona (Argote et al., 2010). This natural deposit extends for over 30 km from the town of Oyameles to the south and Zaragoza city to the west. It consists of obsidian outcrops and rhyolitic domes that form part of the Xaltipan Ignimbrite, with an age of 0.46 million years (Cobean, 2002). Its exploitation began in the Formative period, reaching its maximum peak during the Late Classic and until the Late Postclassic periods; several workshops associated to this source produced prismatic blades and bifaces (Evans and Webster, 2001).

Otumba, the third source of obsidian, is located in the limits of the states of Mexico, Hidalgo and Tlaxcala. This volcanic complex contains deposits that are closest to Teotihuacan. It was exploited by this ancient city since its early phases (Clark, 1989). This volcanic region is affected by the east-west Chapala-Acambay fault system and the north-south Soltepec fracture zone (García-Palomo et al., 2002; Hernández, 2007; Mooser, 1968), which originated several lava flows and obsidian domes. The Soltepec range is a rhyolite calc-alkaline volcanic centre from

the early Pleistocene (~1.5 My) located east of the Teotihuacan Valley and covers an area of ~13 km² (Argote-Espino et al., 2012; Hernández, 2007). Due to their quality, Soltepec mines were more intensively exploited in Prehispanic times than the other nearby deposits (like Malpais and Ixtepec). The presence of obsidian from Otumba in Mayan archaeological sites of the Classic period speaks of the great influence of the Teotihuacan State (Cobean, 2002).

El Paredón -the fourth source of obsidian- is located in the state of Puebla and near the border with the state of Hidalgo, at the north-eastern end of Tecocomulco sub-basin; it covers an area of approximately 30 km² (Argote et al., 2010; Cobean, 2002; Millhauser et al., 2017). Millhauser et al. (2017) expose the existence of two sub-sources with chemical differences in El Paredón source, labelled as Paredón-A and Paredón-B. The analysis showed that some of the artefacts registered in Xalasco corresponded to Paredón-A sub-source. Paredón-A flow is located near the town of Tres Cabezas and occurs as part of a discontinuous flow exposed in a deep ravine. This deposit has a long history of exploitation, being a primary source of obsidian for sites of the Puebla-Tlaxcala Valley and Central Morelos during

the Formative (2000 BC – 100 AD) and the Postclassic (900–1521 AD) periods (Carballo, Carballo and Neff, 2007; Charlton, Grove and Hopke, 1978; Millhauser et al., 2015; Millhauser et al., 2017).

In the analysis of the 258 artefacts from Xalasco, two large assemblages are observed in the site, one coming from the Oyameles source (with 155 artefacts = 60.08%) and the other corresponding to Sierra de Pachuca (with 68 artefacts = 26.36%). While the second one is strongly associated to Teotihuacan control, the first one had a more local usage. Two assemblages with fewer artefacts are also present; these are related to El Paredón (with 17 artefacts = 6.58%) and Otumba (with 14 artefacts = 5.43%) sources. Otumba was also dominated by Teotihuacan, while El Paredón had a common regional distribution within the Puebla-Tlaxcala area, although considered as a minor source during the Classic and Epiclassic periods (100–900 AD; Millhauser et al., 2017). The later could explain the minor concentration of artefacts coming from this source in Xalasco. Four artefacts (1.55%) were classified as outliers and were not assigned to any source.

Of the total of artefacts recovered from Xalasco, 66.66% correspond to raw materials proceeding from obsidian sources that were nearer to the site and were commonly distributed along the Puebla-Tlaxcala region (Oyameles and Paredón), while only a 31.79% proceed from sources controlled by Teotihuacan. The predominance of regional deposits over sources dominated by Teotihuacan lead us to think that Xalasco was not necessarily an enclave of this metropolis and that a more balanced interaction between Teotihuacan state and the local inhabitants occurred. Therefore, the hypothesis about the absolute control of Teotihuacan over Xalasco can be discarded, at least in what it seems to be represented by the lithic materials.

5. CONCLUSIONS

In this research, we analysed a set of 258 obsidian artefacts from the archaeological site of Xalasco. By using the raw XRF spectra and a chemometric approach, it was possible to determine the provenance of 254 artefacts. The use of the SG smoothing

filter in combination with the EMSC algorithm allowed improving the quality of the data by eliminating scattering effects in the spectra. In the variable selection stage, the iPLS and the siPLS regression models were applied, which retained only the relevant information and eliminated the redundant information. A spectral sub-set of 92λ independent variables was chosen from a total of 1850λ original variables. These algorithms allowed constructing regression models with the lowest errors compared with the PLS model of the full-range spectra. With the outcomes, a ROBPCA algorithm for high-dimensional data was then applied. The associated diagnostic plot was a useful graphical tool for the visualization and classification of outliers.

Once the outliers were recognized and removed, the variable selection method with the siPLS model was run again in order to determine a more suitable range of informative variables. Afterwards, using this spectral region, the ROBPCA algorithm was applied to project the observations into a low-dimensional PCA subspace. By this means, we were able to attain a precise classification of the obsidian artefacts and to correlate them with their sources. The approach proposed here proved to be a valid technique for the quantitative analysis of obsidian samples, making it possible to identify the differences between the chemical patterns for classification purposes. The results shed some light in topics of archaeological interest, like the cultural interactions between Teotihuacan and the local settlers of Xalasco. Although Xalasco could have functioned as a centre of exchange and/or redistribution of products between the Gulf of Mexico and Teotihuacan, it did not have to be necessarily under the complete control of Teotihuacan.

ACKNOWLEDGMENTS

Special thanks to RAISA (Radiación Aplicada a la Industria S.A. de C.V.), Armando Macías and Enrique Franco, for providing us with the XRF spectrometer. We would also like to thank deeply to Gustavo Tolson for his valuable comments and the language revision of this article.

REFERENCES

- Argote Espino, D., Solé, J., López García, P., and Sterpone, O. (2010). Análisis composicional de seis yacimientos de obsidiana del Centro de México y su clasificación con DBSCAN. *Arqueología*, 43, 197-215.
- Argote-Espino, D., Solé, J., López-García, P., and Sterpone, O. (2012). Obsidian subsource identification in the Sierra de Pachuca and Otumba volcanic regions, Central Mexico, by ICP-MS and DBSCAN Statistical Analysis. *Geoarchaeology*, 27, 48-62.
- Ballabio, D. (2006). *Chemometric characterisation of physical-chemical fingerprints of food products* (PhD dissertation). University of Milano, Italy.
- Bautista, J.A. (2006). *Interacción cultural en el oriente de Tlaxcala durante el Clásico. El caso de Xalasco, Municipio de Atlixco* (Unpublished dissertation). Escuela Nacional de Antropología e Historia, México.
- Ben-Gal, I. (2005). Outlier detection. In O. Maimon and L. Rockach (Eds.), *Data mining and knowledge discovery handbook: A complete guide for practitioners and researchers* (pp. 131-146). New York: Springer.
- Carballo, D.M., Carballo, J., and Neff, H. (2007). Formative and classic period obsidian procurement in Central Mexico: A compositional study using laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Latin American Antiquity*, 18, 27-43.
- Carter, T., Poupeau, G., Bressy, C., and Pearce, N.J.G. (2006). A new program of obsidian characterization at Catalhöyük, Turkey. *Journal of Archaeological Science*, 33, 893-909.
- Charlton, T.H., Grove, D.C., and Hopke, P.K. (1978). The Paredón, Mexico, obsidian source and Early Formative exchange. *Science*, 201, 807-809.
- Clark, J. (1989). The distribution of obsidian. In V. Voorheis (Ed.), *Ancient trade and tribute: Economies of the Soconusco region of Mesoamerica* (pp. 268-284). Salt Lake City: University of Utah Press.
- Cobean, R.H. (2002). *A world of obsidian: The mining and trade of a volcanic glass in ancient Mexico*. Mexico: INAH and Pittsburgh University.
- Daszykowski, M., Serneels, S., Kaczmarek, K., Van Espen, P., Croux, C., and Walczak, B. (2007). TOMCAT: A MATLAB toolbox for multivariate calibration techniques. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 85(2), 269-277.
- Dos Santos Panero, P., Dos Santos Panero, F., Dos Santos Panero, J., and Bezerra da Silva, H.E. (2013). Application of Extended Multiplicative Signal Correction to short-wavelength near infrared spectra of moisture in marzipan. *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 1, 30-34.
- Drake, B.L., Nazaroff, A.J., and Pruger, K.M. (2009). Error assessment of portable X-ray fluorescence spectroscopy in geochemical sourcing. *The Society for Archaeology Sciences Bulletin*, 32(3), 14-17.
- Evans, S.T., and Webster, D.L. (2001). *Archaeology of ancient Mexico and Central America: An encyclopedia*. New York: Garland Publishing.
- Filzmoser, P., and Todorov, V. (2011). Review of robust multivariate statistical methods in high dimension. *Analytica Chimica Acta*, 705(1-2), 2-14.
- Frahm, E. (2014). Characterizing obsidian sources with portable XRF: accuracy reproducibility, and field relationships in a case study from Armenia. *Journal of Archaeological Science*, 49, 105-125.
- García Cook, A. (1997). The historical importance of Tlaxcala in the cultural development of the central highlands. En A. García Cook, and B. Merino (Comps.); L. Mirambell, (Coord.), *Antología de Tlaxcala, vol. 3* (pp. 327-381). Mexico: INAH.
- García-Palomo, A., Macías, J. L., Tolson, G., Valdez, G., and Mora, J. C. (2002). Volcanic stratigraphy and geological evolution of the Apan region, East-central sector of the Trans-Mexican Volcanic Belt. *Geofísica Internacional*, 41, 133-150.
- Glascott, M.D., Speakman, R.J., and Neff, H. (2007). Archaeometry at the University of Missouri research reactor and the provenance of obsidian artifacts in North America. *Archaeometry*, 49, 343-357.
- Guo, Z-M, Huang, W-Q, Chen, L-P, Peng, Y-K, and Wang, X (2014). Shortwave infrared hyperspectral imaging for detection of pH value in Fuji apple. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 7(2), 130-137.
- Hawkins, D. (1980). *Identification of outliers*. London: Chapman and Hall.
- Hernández, I. (2007). *Geología y geomorfología volcánica de la región de los yacimientos de obsidiana de Otumba en el sector Norte de la Sierra Nevada de México* (Unpublished dissertation). Facultad de Filosofía y Letras, UNAM, Mexico.
- Hron, K., Templ, M., and Filzmoser, P. (2010). Imputation of missing values for compositional data using classical and robust methods. *Computational Statistics and Data Analysis*, 54(12), 3095-3107.
- Hubert, M., and Rousseeuw, P. (2011). Multivariate techniques: Robustness. In M. Lovric (Ed.), *International Encyclopedia of Statistical Science* (pp. 932-935).

- Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hubert, M., Rousseeuw, P.J., and Van den Branden, K. (2005). ROBPCA: A new approach to robust Principal Component Analysis. *Technometrics*, 47, 64–79.
- Hunt, A.M.W., and Speakman, R.J. (2015). Portable XRF analysis of archaeological sediments and ceramics. *Journal of Archaeological Science*, 53, 1-13.
- Kaiser, B., and Shugar, A. (2012). Glass analysis utilizing handheld X-ray fluorescence. In A. Shugar, and J. Mass (Eds.), *Studies in archaeological sciences* (pp. 449-470). Belgium: Leuven University Press.
- Juárez, K., López-García, P., Argote-Espino, D.L., Tejero-Andrade, A., Chávez, R.E., García-Serrano, A. (2017). Magnetic and Electrical prospections in the Archaeological Site of Xalasco, Northeast of Tlaxcala, Mexico. *Global Journal of Archaeology and Anthropology* 2 (1): 1-10. DOI: 10.19080/GJAA.2017.02.555581. ISSN: 2575-8608.
- La Tour, T. (1989). Analysis of rocks using x-ray fluorescence spectrometry. *The Rigaku Journal*, 6(1), 3-9.
- Lazim, S.S.R.M., Nawi, N.M., Chen, G., Jensen, T., and Rasli, A.M.M. (2016). Influence of different pre-processing methods in predicting sugarcane quality from near-infrared (NIR) spectral data. *International Food Research Journal*, 23 (Suppl), S231-S236.
- Leardi, R. (2000). Application of genetic algorithm-PLS for feature selection in spectral data sets. *Journal of Chemometrics*, 14, 643-655.
- Leardi, R., and Nørgaard, L. (2004). Sequential application of backward interval partial least squares and genetic algorithms for the selection of relevant spectral regions. *Journal of Chemometrics*, 18(11), 486-497.
- Liland, K.H. (2017). *Extended Multiplicative Signal Correction*. Available at <https://cran.r-project.org/web/packages/EMSC/EMSC.pdf> [downloaded May 28th, 2019].
- Liland, K.H., Kohler, A., and Afseth, N.K. (2016). Model-based pre-processing in Raman spectroscopy of biological samples. *Journal of Raman Spectroscopy*, 47(6), 643-650.
- Liu, H., Shah, S., and Jiang, W. (2004). On-line outlier detection and data cleaning. *Computers and Chemical Engineering*, 28, 1635–1647.
- López, P., Argote, D., and Tejero, A. (2016). *Informe del Proyecto Prospección arqueológica de los sitios de Los Teteles de ocotitla y Xalasco, Noreste de Tlaxcala, Temporada 2015* (Unpublished report). Mexico: Archivo Técnico del INAH.
- Manzanilla, L.R., Aguayo, E., Hernández, M., and Bautista, A. (2011). *Informe técnico final del salvamento de un conjunto con materiales teotihuacanos en Xalasco, Atlitzayanca, Tlaxcala 2008* (Unpublished report). Mexico: Archivo Técnico del INAH.
- Martelo, M.J., and Vázquez, V. (2014). Classification of red wines from controlled designation of origin by ultraviolet-visible and near-infrared spectral analysis. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 29(1), 35-43.
- Millhauser, J.K., Rodríguez-Alegría, E., and Glascock, M.D. (2011). Testing the accuracy of portable X-ray fluorescence to study Aztec and Colonial obsidian supply at Xaltocan, Mexico. *Journal of Archaeological Science*, 38, 3141-3152.
- Millhauser, J.K., Fargher, L.F., Espinoza, V.Y.H., and Blanton, R.E. (2015). The geopolitics of obsidian supply in Postclassic Tlaxcallan: a portable X-ray fluorescence study. *Journal of Archaeological Science*, 58, 133-46.
- Millhauser, J.K., Bloch, L., Golitko, M., Fargher, L.F., Xiuhtecutli, N., Heredia, V.Y., and Glascock, M.D. (2017). Geochemical variability in the Paredón obsidian source, Puebla and Hidalgo, Mexico: a preliminary assessment and inter-laboratory comparison. *Archaeometry*, published online. doi: 10.1111/arcm.12330
- Mooser, F. (1968). Geología, naturaleza y desarrollo del Valle de Teotihuacan. In J.L. Lorenzo (Ed.), *Materiales para la arqueología de Teotihuacan* (pp. 29–37). Mexico: INAH.
- Nazaroff, A.J., Prufer, K.M., and Drake, B.L. (2010). Assessing the applicability of portable X-ray fluorescence spectrometry for obsidian provenance research in the Maya lowlands. *Journal of Archaeological Science*, 37, 885-895.
- Nørgaard, L. (2013). iToolbox manual. Denmark: KVL. Available at http://www.models.life.ku.dk/sites/default/files/iToolbox_Manual.pdf
- Nørgaard, L., Saudland, A., Wagner, J., Nielsen, J.P., Munck, L, and Engelsen S.B. (2000). Interval Partial Least Squares Regression (iPLS): A comparative chemometric study with an example from Near-Infrared Spectroscopy. *Applied Spectroscopy*, 54, 413-419.
- Pan, X., Li, Y., Wu, Z., Zhang, Q., Zheng, Z., Shi, X., and Qiao, Y. (2015). An online NIR sensor for the pilot-scale extraction process in fructus aurantii coupled with single and ensemble methods. *Sensors*, 15, 8749-8763.
- Pollard, M.A., and Heron, C. (2008). *Archaeological*

- chemistry. UK: Royal Society of Chemistry.
- Ponomarenko, A.L. (2004). The Pachuca obsidian source, Hidalgo, Mexico: A geoarchaeological perspective. *Geoarchaeology*, 19, 71–91.
- R Development Core Team (2011). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Available at <http://www.R-project.org>
- Schafer, R.W. (2011). What Is a Savitzky-Golay filter? *IEEE Signal Processing Magazine*, 28(4), 111-117.
- Scharlotta, I., and Quach, T.T. (2015). Provenance analysis of porphyritic volcanic materials in San Diego using portable X-ray Fluorescence. *Journal of Archeological Science: Reports*, 3, 285-294.
- Shackley, M.S. (2010). Is there reliability and validity in portable X-ray fluorescence spectrometry (PXRF)? *The SAA Archaeological Record*, 10(5), 17–20.
- Smith, M.E., Burke, A., Hare, T.S., and Glascock, M.D. (2007). Sources of imported obsidian at Postclassic sites in the Yautepec valley, Morelos: A characterization using XRF and INAA. *Latin American Antiquity*, 18, 429–450.
- Speakman, R.J., and Shackley, M.S. (2013). Silo science and portable XRF in archaeology : A response to Frahm. *Journal of Archaeological Science*, 40, 1435–1443.
- Stevens, A., and Ramirez-Lopez, L. (2015). *Package 'prospector': Miscellaneous functions for processing and sample selection of vis-NIR diffuse reflectance data*. Available at <https://cran.r-project.org/web/packages/prospector/prospector.pdf>
- Suhandy, D., Yulia, M., Ogawa, Y., and Kondo, N. (2013). Prediction of L-Ascorbic Acid using FTIR-ATR Terahertz spectroscopy combined with Interval Partial Least Squares (iPLS) Regression. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 6(3), 111-117.
- Todorov, V., and Filzmoser, P. (2009). *Multivariate Robust Statistics: Methods and Computation*. Saarbrücken: Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften.
- Tykot, R.H. (2010). Sourcing of Sardinian obsidian collections in the Museo Preistorico-Etnografico "Luigi Pigorini" using Non-Destructive XRF. *Atti del 5º Convegno internazionale "L'ossidiana del Monte Arci nel Mediterraneo. Nuovi apporti sulla diffusione, sui sistemi di produzione e sulla loro cronologia"*, Pau, Italia. Ales: NUR.
- Van den Boogaart, K.G., and Tolosana-Delgado, R. (2013). *Analyzing compositional data with R*. London: Springer.
- Varmuza, K., and Filzmoser, P. (2009). *Introduction to multivariate statistical analysis in chemometrics*, Boca Raton: CRC Press.
- Verboven, S., and Hubert, M. (2005). LIBRA: a MATLAB Library for Robust Analysis. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 75(2), 127-136.
- Wehrens, R. (2011). *Chemometrics with R: Multivariate data analysis in the natural sciences and life sciences*. Heidelberg: Springer Verlag.
- Xu, L., Lu, J., Yang, Q., and Chen, J. (2014). An objective wavelength selection method based on moving window Partial Least Squares for Near-Infrared Spectroscopy. *Journal of Computers*, 9(1), 228-234.
- Xu, J., Huang, F., Li, Y., Chen, Z., and Wang, Y. (2015). Rapid detection of total nitrogen content in soy sauce using NIR spectroscopy. *Czech Journal of Food Sciences*, 33(6), 518–522.

Análisis de Imágenes por transformación de reflectancia para registrar y analizar huellas de manufactura en la lapidaria de obsidiana del Templo Mayor de Tenochtitlan

Emiliano Melgar Tísoc

INAH-TEMPLO MAYOR

Jannu Lira Alatorre

ENAH-LABORATORIO DE ANÁLISIS LÍTICO Y EXPERIMENTACIÓN. LITOTECA

Edgar Israel Mendoza Cruz

INAH-DEPARTAMENTO DE COLECCIONES ARQUEOLÓGICAS COMPARATIVAS

Resumen: En los últimos años se ha incrementado el registro de campo y el análisis de objetos arqueológicos a través del procesamiento de imágenes con programas computarizados. Una de ellas es la técnica novedosa de Análisis de Imágenes por Transformación de Reflectancia (RTI por sus siglas en inglés de Reflectance Transformation Imaging), a través de la cual se analizan una serie de 24 a 36 fotogramas obtenidos mediante la aplicación de luz incidente emitida desde distintos ángulos. Los fotogramas son procesados comúnmente con software especializado, por ejemplo *RTI Builder* y *RTI Viewer*. Ello permite generar un modelo 2.5 D para revisar de forma más detallada las características superficiales de los materiales arqueológicos. En este trabajo se muestra la aplicación de esta técnica a un grupo de 13 objetos lapidarios elaborados en obsidiana que proceden de las ofrendas del Templo Mayor de Tenochtitlan. Gracias a ello fue posible resaltar las huellas de manufactura de las piezas e identificar distintas calidades de trabajo en su elaboración. Además, el catálogo de huellas obtenido sirve como referente para otros estudios traceológicos que buscan mejorar el registro de los rasgos de elaboración de las piezas lapidarias.

Palabras clave: imagen digital; lapidaria en obsidiana; traceología; templo mayor; manufactura

Abstract: In recent years, field recording and archaeological object analysis have improved thanks to digital imaging techniques implemented with the aid of computer programs. One of these techniques is Reflectance Transformation Imaging (RTI), which consists in taking series of 24 to 36 photographs of the object with incident light emitted from different angles and processing the images with software such *RTI Builder* and *RTI Viewer*. The 2.5 D models allowed us to amplify the surface characteristics and details of the traces of manufacture. In this text, we will show the employment of this technique applied on a group of obsidian lapidary items from the Great Temple of Tenochtitlan. Through the analysis of the multiple views from the digital images we could highlight some traces of manufacture and different qualities of craft production techniques. Also, the catalog could serve as a reference database for improve other traceological researches on lapidary objects.

Keywords: digital imaging technique; obsidian lapidary objects; traceology; templo mayor; manufacture

INTRODUCCIÓN

Los estudios arqueológicos se han fortalecido a lo largo del tiempo con técnicas y metodologías procedentes de otras ciencias y disciplinas, las cuales han enriquecido las interpretaciones e inferencias sobre las sociedades en estudio. En la actualidad, el empleo de programas computarizados en el registro del quehacer arqueológico se ha propagado tanto en laboratorio como en campo. Esta tendencia ha derivado en nuevas áreas de oportunidad de estudio, como el Análisis de Imágenes por Transformación de Reflectancia, una técnica mejor conocida por su nombre y siglas en inglés: Reflectance Transformation Imaging o RTI. Esta fue originalmente desarrollada por Tom Malzbender y Dan Gelb, investigadores de Hewlett-Packard Labs (Malzbender & Wolters, 2001). Se trata de una herramienta digital que, por medio de la compilación

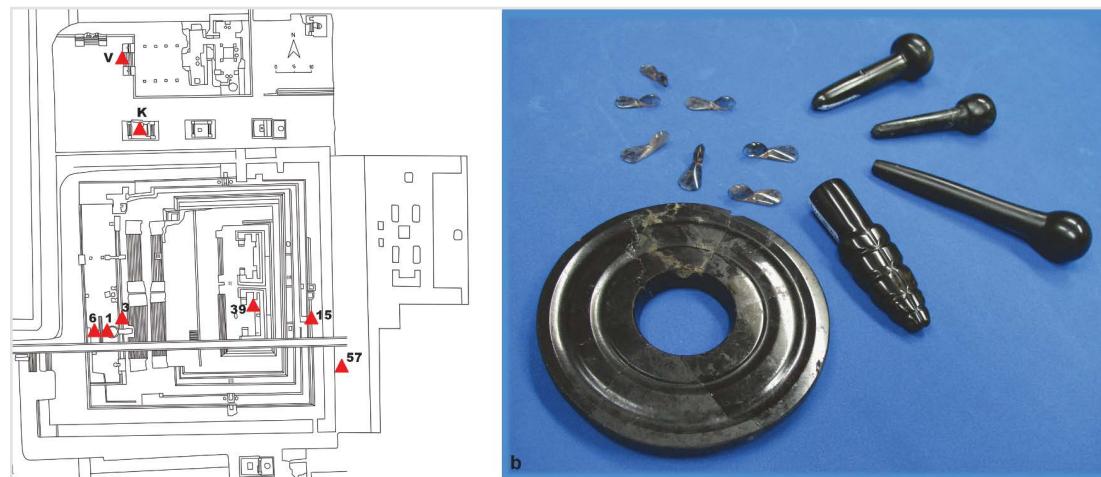


Figura 1. Localización de las ofrendas de procedencia de los objetos analizados en el recinto sagrado de Templo Mayor (a) y ejemplos de la lapidaria en obsidiana revisada (b). Plano elaborado por Víctor Solís y Emiliano Melgar, foto de Emiliano Melgar.

de una serie de 24 a 36 fotogramas con diversos ángulos de luz incidente, genera un modelo 2.5D, el cual permite apreciar de manera más detallada las características superficiales de los materiales arqueológicos. En años recientes esta visualización digital ha sido aplicada a los materiales líticos, dando buenos resultados en la identificación macro y microscópica de huellas tanto de manufactura como de uso.

La revisión con RTI permite visualizar y enfatizar el relieve y dirección de las huellas de elaboración en objetos lapidarios, ya que debido al lustre vítreo y gran brillo de sus superficies, los rasgos son difíciles de observar y parecen piezas lisas y sin rayones. Gracias al RTI pueden apreciarse huellas que son evidencia de procesos que la pieza tuvo durante su vida útil, ya sea marcas de manufactura, de uso e incluso postdepositionales; y con base en ello inferir estos procesos de manera más puntual, resaltando las características superficiales de sus modificaciones y las marcas dejadas por la aplicación de los instrumentos de trabajo en distintas direcciones. Ello permite a los especialistas ser más precisos en los resultados obtenidos en los análisis tecnológicos, al mismo tiempo que puede aprovecharse dicho registro digital para un análisis con mayor control y sin poner en riesgo la integridad del objeto arqueológico en cuestión. Por último, el software de libre acceso de HP (RTI Builder y RTI Viewer) (Cultural Heritage Imaging, 2018) puede utilizarse tanto en

campo como en laboratorio, permitiendo un acercamiento detallado sin daño ni manipulación de los materiales, teniendo alcances que con otras técnicas de registro visual resultan más costosos debido a las licencias del software y la compra de equipo.

MATERIALES ANALIZADOS

Para este estudio se eligieron 13 piezas de lapidaria en obsidiana que abarcan la mayoría de las formas representativas de los objetos recuperados en las ofrendas del Templo Mayor de Tenochtitlan y que sus contextos fueran de distintas temporalidades (Tabla 1 y Figura 1).

Si bien existen detallados estudios sobre la minería, las herramientas y armas de obsidiana como elementos importantes en el desarrollo, guerra y expansión de la sociedad mexica, poco se sabe de los objetos lapidarios hechos de este vidrio volcánico, sus lugares de elaboración y sus técnicas de manufactura. En el caso de la lapidaria en obsidiana del Templo Mayor, debido a que se trata de elementos terminados, a varios de ellos como las orejeras de carrete, las cuentas y los bezotes, se les ha buscado semejanzas con piezas de otros sitios contemporáneos para determinar su procedencia foránea. Sin embargo, algunos objetos terminados similares a los de Tenochtitlan se han recuperado en asentamientos anteriores a los mexicas o son piezas únicas e irrepetibles en el Templo Mayor, por lo cual se ha

Tabla 1. Piezas analizadas

Pieza	Ofrenda	Etapa constructiva	Cantidad
Cetro curvo en forma de gancho <i>ehecahuictli</i>	57	VII	1
Pectoral circular <i>anáhuatl</i>	3	IVb	1
Nariguera rectangular de extremos bifidos	1	IVb	1
Orejeras de carrete	39	II	2
Cetro en forma de crótalo de víbora de cascabel	V	V	1
Bezote	Guatemala 38	N.D.	1
Orejera circular cóncava de Quetzalcóatl	6	IVb	1
Cetro cilíndrico con remate globular de Techálotl	K	VII	1
Pendiente en forma de cabeza de pato	V	V	8
Incrustaciones circulares de ojos	15	IVb	3
Disco calado	39	II	1
Cuenta helicoidal	39	II	1

N.D. No determinable.

Etapas constructivas: II (1375-1426 d.C.), IVb (1469-1481 d.C.), V (1481-1486 d.C.) y VII (1502-1520 d.C.).

planteado que ellos pertenecen a una antigua tradición de labrar y pulir obsidiana del Centro de México (Matos, 1988, p. 11). Asimismo, hay piezas de formas estandarizadas, como los cetros, las orejeras y narigueras de divinidades que se considera son “manufacturas mexicas” (Matos, 1988, p. 92). Por ello, en este trabajo se busca obtener nueva información sobre las características superficiales de estas piezas y detalles sobre las técnicas de elaboración empleadas en ellas.

FUNDAMENTOS DE LA TÉCNICA RTI

La técnica empleada en este estudio es conocida como Análisis de Imágenes por Transformación de Reflectancia (RTI, por sus siglas en inglés), basada en el concepto de “Mapeo polinomial de textura” (PTM, por sus siglas en inglés) (Cultural Heritage Imaging, 2013). Ésta trabaja con fotografías que derivan en la formación de modelos digitales 2.5 D manipulables en computadora. El concepto “2.5 D” quiere decir que no son tridimensionales en su totalidad, ya que no admiten manipular todo el volumen de una pieza, pero por medio del juego de luz y sombras -además

del zoom-, permiten observar detalles de la superficie de un objeto de manera más clara y fácil, es decir, se observa el relieve de la facie analizada permitiendo la detección de elementos que no son tan claros a simple vista (Cultural Heritage Imaging, 2018).

La luz, entendida como “el agente físico que hace visible a los objetos” (Real Academia Española, 2017), es la “materia prima” que hace posible el funcionamiento de esta técnica, lo cual hace necesario explicar de manera breve sus características aquí implicadas, con la finalidad de ayudar a entender de mejor manera el resultado final de la investigación, además de su aplicación durante todo el procedimiento necesario para llegar a éste.

Primeramente, hay que mencionar que la luz se comporta como ondas y se distribuye como vectores; las longitudes de onda permiten apreciar los colores de un objeto y la obstrucción de éstas es lo que forma lo que conocemos como sombras; es decir lugares que al carecer de iluminación se tornan oscuros, las cuales son fundamentales para que el ojo humano perciba profundidades, un principio con el que se maneja el RTI (Cultural Heritage

Imaging, 2018). Por otro lado, la incidencia de luz se da por medio de vectores, es decir líneas perpendiculares que tienen diversas direcciones dependiendo de la posición de la fuente de luz, la superficie del objeto y el lugar donde se encuentra el observador. Estos factores son los que provocan que al ver un objeto desde diversos ángulos se noten o no elementos físicos que lo conforman, además de variaciones en la coloración. A su vez, la incidencia de luz gira alrededor de tres leyes fundamentales, dos de las cuales son básicas para este trabajo: la propagación directa y la reflexión, así como una propiedad derivada de esta última llamada reflexión especular. Éstas también son relevantes para la implementación de RTI y se definen de la siguiente manera (Sirlin, 2006, p. 5):

- Propagación directa: Esta se presenta cuando la luz se distribuye de manera lineal sin algún obstáculo. El vector viaja en línea recta sin ninguna interrupción por el espacio.
- Reflexión: La reflexión de la luz ocurre cuando las ondas electromagnéticas se topan con una superficie que no absorbe la energía radiante. La onda, llamada rayo incidente se refleja -o rebota- produciendo un haz de luz, denominado rayo reflejado. Si una superficie límite es lisa y el haz de luz reflejado tiene un ángulo exactamente igual al de la luz incidente, se dice que ocurre reflexión especular.
- “En la reflexión especular un solo rayo incidente produce un único rayo reflejado. En el punto de incidencia, el rayo incidente, el rayo reflejado y la perpendicular a la superficie límite se encuentran en el mismo plano. El rayo incidente y el rayo reflejado poseen iguales ángulos en relación con la perpendicular y se encuentran sobre lados opuestos de ella.”

Otros dos conceptos que juegan un papel importante y que remiten directamente a los materiales a trabajar son los de la iluminancia y la luminancia. En primer lugar, la iluminancia es la cantidad de flujo luminoso que llega a un área determinada desde una fuente de luz radiante (Sirlin, 2006, p. 10). Es decir, con qué intensidad de luz, además del tono de ésta, se le está irradiando a un objeto. El segundo es la cantidad

de luz que refleja un objeto o área iluminada al ojo humano (Sirlin, 2006, p. 10). En otras palabras, por medio de la reflexión se mide cuánta luz está llegando al observador y con base en ello cuántos detalles, tanto de coloración como del relieve de la superficie pueden ser apreciados.

El aumento de la iluminación de un objeto puede aumentar la luminancia de éste. Así mismo el factor permite ajustar la cantidad de luz, además de la coloración y la cercanía de la fuente de la misma durante el proceso de trabajo para optimizar los resultados que se pretenden alcanzar, dando énfasis en determinados detalles logrando contrastes marcados o alejando la fuente para una mejor claridad.

Con respecto a lo anterior, lo que sucede cuando se trabaja la técnica RTI es que:

Cada RTI se asemeja a una sola imagen fotográfica bidimensional (2D). A diferencia de una fotografía típica, la información de reflectancia se deriva en forma tridimensional (3D) del sujeto de la imagen y se codifica en la imagen por pixel, de modo que la imagen RTI sintetizada “sabe” cómo la luz se reflejará en el sujeto. Cuando se abre el RTI en el software de visualización, cada pixel constituyente puede reflejar la luz “virtual” interactiva del software desde cualquier posición seleccionada por el usuario. Esta interacción cambiante de luz y sombra en la imagen revela detalles finos de la forma de superficie 3D del sujeto” (Cultural Heritage Imaging, 2018).

En otras palabras, la simulación “recuerda” los ángulos de reflexión por cada pixel, además del grado de luminancia que este llegó a tener, formando una imagen de la superficie con lujo de detalle que puede ser apreciada con detenimiento; es decir, literalmente “congela” el fenómeno de iluminación. El concepto que se emplea mayoritariamente en el proceso de digitalización de los materiales a analizar es el de reflexión, siendo la reflexión especular la que tiene un papel fundamental, ya que los modelos a revisar son producidos con base en los rayos de luz reflejada que resultan de la luz incidente. Entendiendo que el ángulo de reflejo es exactamente el mismo que el de incidencia, se puede enfocar de manera directa en detalles que se deseen sobreexplicar.

Además, estos modelos son básicamente interactivos con el usuario, permitiendo a éste el control de la iluminación según convenga a los fines establecidos, así como la captura de detalles y el posterior trabajo de análisis sin exponer la integridad de las piezas estudiadas.

PROCESO DE TRABAJO CON RTI

El proceso para llegar a los modelos inicia con la captura de imágenes, ya sea en campo o en gabinete, donde se toman al menos 12 fotografías. La captura de éstas se lleva a cabo por medio de una cámara digital, que entre mayor cantidad de píxeles posea, mejor resultado brindará en la resolución de los modelos finales; la cámara se coloca fija y de manera paralela a la superficie que se desee trabajar, teniendo cuidado a que no sufra ninguna alteración de posición (Cultural Heritage Imaging, 2013).

La fuente de iluminación, que puede ser un flash o una lámpara que mantenga iluminancia constante, es la que se movilizará alrededor de la pieza que se desee examinar, la cual también se mantiene fija. El movimiento de la luz puede ser alrededor de la pieza, conformando una especie de cúpula sobre ella o de manera aleatoria siempre y cuando se presenten diversidad de ángulos de propagación. Los últimos elementos básicos para obtener los modelos son las esferas reflectantes de color negro o rojo, las cuales se colocan sin moverlas en cada toma para evitar que su posición sea afectada, ya que fungen como “eje de referencia” para el ordenamiento de los píxeles en el modelo final al unir las distintas fotografías en una sola imagen a partir de los distintos ángulos de luz reflejados en la superficie de la esfera (Cultural Heritage Imaging, 2013) (Figura 2). Otros elementos son el uso de trípode o pie de copiado para la colocación de la cámara, el empleo de escalas gráficas para dimensionar las piezas a trabajar y fondos para la colocación de los materiales. Cabe señalar que el personal que realizó las tomas fotográficas empleó guantes para evitar deteriorar los materiales arqueológicos y dejar huellas sobre estos que son apreciables en los modelos finales, en especial en los objetos de obsidiana en cuya superficie es fácil que queden marcadas las huellas dactilares.

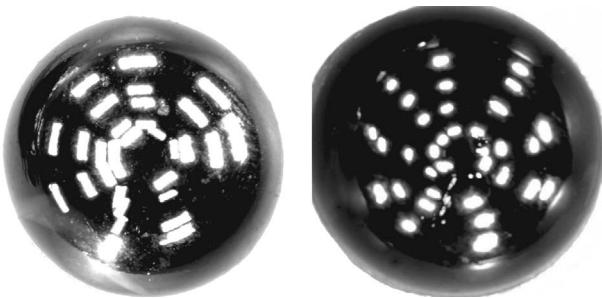


Figura 2. Registro de los ángulos de luz en las esferas negras de referencia que se usan para armar los modelos de las imágenes digitales compuestas de las piezas bajo estudio con RTI. Imágenes de Jannu Lira y Édgar Mendoza.

Con este proceso se produce una serie de imágenes del mismo objeto bajo estudio con diferentes reflejos y sombras. La información de las imágenes se sintetiza matemáticamente para generar un modelo de la superficie por medio del software RTI Builder. Así, se realiza un empalme de todas las imágenes contempladas, tomando como ejes de referencia las esferas colocadas en la fotografía, en las cuales se reflejarán los diversos ángulos que se emplearon. El funcionamiento del programa se da por medio de algoritmos que formulan un patrón de carácter matemático con el cual se permite explorar en una pantalla la superficie del objeto a estudiar (Cultural Heritage Imaging, 2013; 2018). Aunado a esto se registran los valores de intensidad RGB (rojo-verde-azul) de cada imagen para que en el modelo se puedan recrear los colores exactos según la incidencia de la luz. En otras palabras, la luz reflejada en distintos ángulos es registrada de manera algorítmica en cada pixel y con esa información se puede recrear la facie en cualquier ángulo de luz y la escala cromática que esta iluminación permite apreciar (Cultural Heritage Imaging, 2018).

Posteriormente, el usuario puede volver a “encender” la imagen RTI de forma interactiva por medio del software RTI Viewer, seleccionando el ángulo de luz incidente y de esta manera examinar su superficie a voluntad. La aplicación de esta técnica es de gran utilidad debido a los beneficios que presenta; en primer lugar, hay que destacar que la luz no es invasiva ni destructiva, incluso en materiales que tradicionalmente se aconseja no ser expuestos a iluminación excesiva si se le controla adecuada-

Tabla 2. Resultados obtenidos del análisis con RTI

Pieza	Tipo de huella observada	Dirección del trabajo	Acabado de superficie	Elementos empleados en la manufactura
Incrustación circular para ojos de escultura	Abrasión gruesa	Movimientos aleatorios	Pulido básico	Basalto para el desbaste primario, Pulidor sólido no identificado y bruñido con piel
Bezote	Abrasión gruesa	Movimientos de forma horizontal y tipo "espiga", se encuentran desvanecidas por el bruñido posterior	Pulido y bruñido	Basalto para el desbaste primario, Pulidor sólido no identificado y bruñido con piel
Cetro cilíndrico con remate globular de <i>techalotl</i>	Abrasión gruesa y fina	El glóbulo se trabaja en forma de rosca sobre pulidor sólido y sobre la parte distal es multidireccional	Pulido y bruñido	Basalto para el desbaste primario. Pulidor sólido no identificado el cual se toma como base para rotar el objeto para mayor facilidad de trabajo; por último se realiza el bruñido con piel.
Cetro curvo en forma de gancho <i>ehecahuictli</i>	Abrasión fina	Movimientos mayoritariamente transversales para el cuerpo de toda la pieza, los cuales resultan más homogéneos en las partes laterales	Pulido y bruñido	Basalto para el desbaste primario, Pulidor sólido no identificado y bruñido con piel.
Crótalo de víbora de cascabel	Incisión, pulido y bruñido	Diversidad de direcciones por la complejidad de la pieza, aunque el bruñido final es paralelo al eje de la pieza	Bruñido	Incisión central con lasca o buril y transversales, realizados en ese orden con pedernal
Cuenta tubular helicoidal	Incisión y abrasión fina	Huellas de corte para la hélice en "V" con pedernal	Bruñido	Desgaste con andesita, pulido con nódulo de pedernal, incisiones con pedernal y bruñido con piel.
Disco calado	Corte en el centro para calado y abrasión fina	Rectas paralelas	Bruñido	Desbaste con basalto, calado con pedernal y bruñido con piel
Nariguera rectangular de extremos bifidos de Xipe Totec	Abrasión fina	Rectas paralelas en el cuerpo y transversales en los extremos	Bruñido	Basalto para el desbaste primario, Pulidor sólido no identificado y bruñido con piel
Pectoral circular <i>anáhuatl</i>	Incisión, perforación, abrasión fina	Las de incisión para los canales de la pieza son encadenadas de rectas que posteriormente se disimulan con el pulido. La abrasión es radial en los extremos de la pieza y aleatorio en el cuerpo	Bruñido	Incisión y calado ambos con pedernal.
Orejera de carrete	Perforación y abrasión fina	Perforaciones concéntricas y huellas rectas paralelas	Bruñido al exterior, pulido al interior	Desgaste con basalto y arena, perforador de carrizo con abrasivo de arena
Pendiente en forma de cabeza de pato	Definición de caras de trabajo	Imperceptible	Bruñido	Desbaste con basalto, perforado con polvo de pedernal y bruñido con piel

	<i>Etapas de trabajo</i>	<i>Observaciones</i>
	La pieza no presenta mayor trabajo para mejorar los detalles, posiblemente debido a su función.	Se notan las correcciones para emparejar la superficie
	Se realiza la contra en primera instancia y después la espiga de la pieza, para posteriormente dar los terminados finales	La contra se trabaja por facetas o caras a manera de prisma
	La espiga se trabaja por facetas, además que se aprovecha la forma del cetro para realizar un movimiento rotatorio a "manera de mano de metate" para realizar el desbasto, sin embargo estas sólo son notorias en la parte donde inicia el remate globular, en el resto de la pieza se nota un trabajo de bruñido significativo que desaparece por completo las caras facetadas	La pieza se realiza aprovechando un núcleo de navajas prismáticas, ya que la forma que se obtiene al final de la extracción de estas funge como base para el resto del proceso de trabajo
	Abrasión gruesa para forma básica con basalto; pulido y bruñido para acabado final	Los laterales del instrumentos se realizan por medio de caras a manera de prisma, las cuales facilitan el movimiento del especialista al desbastar y reducen el peligro de ruptura, posteriormente; se realiza un pulido y bruñido general enfocado para desaparecer las aristas de dicha forma de trabajo
	Pieza sobre núcleo de micro navajas prismáticas. Primero se hace el canal central y después los transversales	Canal central presenta bruñido. Para los transversales solo presentan pulido y se realiza un bruñido general al final del proceso de manufactura
	Las hélices se realizan con una lascia o buril de pedernal, del cual se propone este último ya que ayudaría para ensanchar el canal. Posteriormente se realiza un pulido general a la pieza.	Para este fragmento se identifican dos cortes hilados para formar la hélice, es decir se realizan cortes rectos que se van uniendo para dar la apariencia de curvatura del decorado los cuales se inician en los extremos
	La pieza se realiza por completo y se realiza un bruñido de alto grado al final, el calado del centro es por medio de corte con pedernal, cuya huella es desvanecida con el terminado final de la pieza.	El bruñido elimina a nivel macroscópico las huellas, además de que por medio de la fotografía se aprecia una ligera falta de simetría, sin embargo a la vista la forma geométrica alcanzada es de gran calidad
	La pieza se moviliza a voluntad del especialista para poder dar los terminados, principalmente en los extremos que requieren la manipulación para lograr el terminado final, donde las huellas son perpendiculares al resto de la pieza	La pátina no afectó en la visualización de este modelo, además presenta una corrección en el cuerpo de la pieza, posiblemente por una intrusión en la materia prima que se decidió retirar por medio de desgaste
	Se realiza la forma general del pieza, posteriormente el calado central y las incisiones de la pieza, para terminar con un bruñido general de ésta	La incisión externa no presenta pulido a comparación de la interna. El bruñido en la periferia es radial y en el cuerpo es aleatorio, lo cual indica que hay más facilidad de movimiento y manipulación cuando se trabaja la periferia a diferencia del cuerpo de la pieza
	Se inicia con el cilindro para posteriormente realizar la perforación, seguido de una abrasión gruesa y bruñido final	La pátina en piezas tan delgadas evita ver las huellas, así como el bruñido. Sumado con el desgaste con abrasivo que genera una textura homogénea. En la parte interior del carrete hay huellas de abrasión pero por el bruñido casi no se observan.
	Se realizan diversas caras para dar forma al objeto posteriormente se bruñen, el "pico" se realiza de una sola vez, por último, se realiza la perforación	La pieza al estar manufacturada en un material translucido y con un terminado bruñido hace difícil ver las huellas, sin embargo, si son apreciable las caras y las aristas de éstas, las cuales son necesarias para un mejor trabajo, además que minimiza el riesgo de fractura

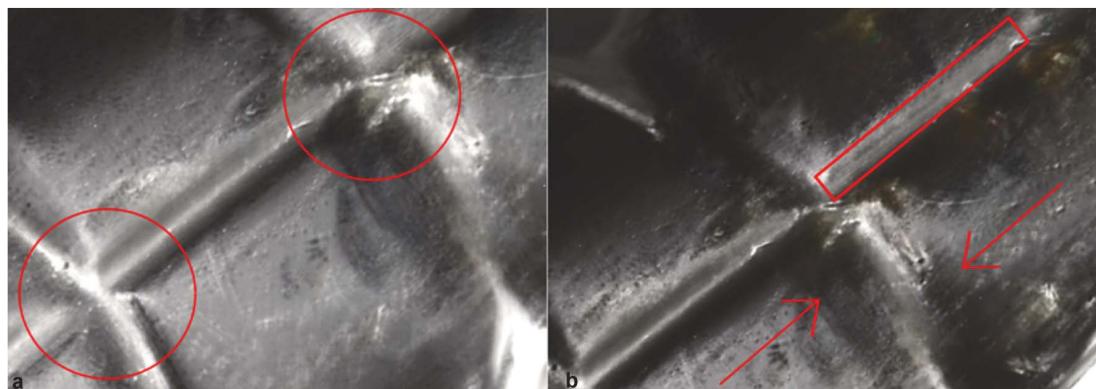


Figura 3. Crótalo de obsidiana, se muestra la unión entre incisiones laterales y central, la cual indica que ésta última fue la primera en realizarse (a). Dirección de las huellas del bruñido final de la pieza y marcas de trabajo de la canaleta principal (b). Imágenes de Jannu Lira y Édgar Mendoza.

mente. En segundo término, estos modelos permiten una interacción indirecta con los objetos, evitando poner en peligro su estado físico (Duffy, 2013, p. 3), en especial los que tengan un estado delicado de conservación.

Si bien la técnica ha sido enfocada mayoritariamente al registro y análisis de materiales encaminados a resaltar aspectos en la superficie, como lo son los ejemplos correspondientes a dinteles, manuscritos antiguos, petrograbados y monedas entre algunos (Cultural Heritage Imaging, 2018); con el tiempo diversos investigadores se han percatado de su utilidad en otros rubros como lo son los análisis tecnológicos y de desgaste, por medio de las huellas de manufactura y uso presentes en los materiales arqueológicos. Como parte de dichos esfuerzos, desde hace algún tiempo el Laboratorio de Análisis Lítico y Experimentación de la Litoteca de la ENAH ha sido pionero en la aplicación del RTI para el análisis de los materiales de carácter metálico (Mendoza, Schönleber, Punzo, & Ibarra, 2017), lítico (Schönleber, Lira, Mendoza, & Ibarra, 2016) y malacológico (Velázquez, Lira, & Mendoza, 2017).

RESULTADOS OBTENIDOS

El aplicar la técnica RTI en los materiales procedentes de contextos de ofrenda del recinto sagrado del Templo Mayor de Tenochtitlan ha permitido detectar características y detalles superficiales y de huellas de manufactura que con otros medios de estudio no habían sido identificados por ser demasiado

puntuales en los detalles y perder de vista la pieza completa, como la falta de profundidad de campo de los microscopios. Además, ofrece la posibilidad de variar la dirección e intensidad de la fuente de luz y el uso de filtros para remarcar, difuminar o mejorar el contraste de los rasgos microtopográficos no perceptibles con la fotografía tradicional o difíciles de captar (Hammer, Bengtson, Malzbender & Gelb, 2002; Díaz & Wheatley, 2013). Sin embargo, cabe mencionar que esta metodología sólo permite apreciar las etapas finales de trabajo en los materiales, específicamente las últimas huellas que éstos presentan, ya sean de manufactura -como en los casos de los materiales de este texto-, de uso o postdeposicionales (Schönleber, Lira, Mendoza, & Ibarra, 2016). A pesar de esta limitante, es posible revisar de forma interactiva las piezas mediante el resultado de sus rasgos de manufactura con distintas direcciones e intensidades de luz (Schneider & Hager, 2017). Entre los resultados principales están los mostrados en la Tabla 2.

En el remate de cetro en forma de crótalo de víbora de cascabel se aprecia que la incisión central fue la primera en realizarse, la cual es un poco más profunda y aparece cortada por las incisiones transversales, ya que sus líneas internas no son continuas y por lo tanto puede concluirse que fueron dejadas por el instrumento empleado en la incisión (Figura 3).

En los casos específicos de la aplicación circular para el ojo de escultura y el pectoral circular Anáhuatl, las huellas de manufactura son muy evidentes en

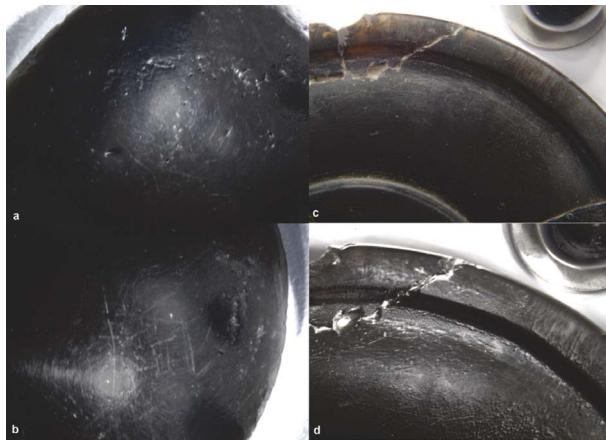


Figura 4. Detalle de las piezas de etapas finales de Templo Mayor, en la aplicación de ojo (a-b) y el pectoral Anáhuatl (c-d) se nota un terminado sin mayor refinamiento. Imágenes de Jannu Lira y Édgar Mendoza.

distintas direcciones y la visualización permite inferir que los artesanos no prestaron mayor atención en disimular dichas marcas, reforzando la idea de que aparentemente el objetivo principal era tener la pieza a disposición para el ritual y no tanto una alta calidad en su terminado final (Figura 4). Ello contrasta con otras piezas como el cetro cilíndrico con remate globular de Techálotl o la cuenta cilíndrica helicoidal, las cuales presentan un terminado altamente cuidadoso y ordenado con el empleo de los instrumentos de trabajo en un mismo sentido de vaivén alterno que produjo huellas paralelas (Figura 5).

Estos aspectos son perceptibles en los modelos que resultaron de la aplicación de RTI a las piezas mencionadas, principalmente en la modalidad de visualización especular, donde se presentan de manera latente las huellas dejadas en los procesos de manufactura.

También se pudo identificar una técnica que los especialistas pudieron emplear para realizar los terminados más complejos de las piezas, principalmente las que presentan bordes redondeados. Se trata de una serie de etapas que inician con el “careo” o “facetado”, a manera de prisma, para dar una configuración a las caras que posteriormente se desgastan y bruñen para desaparecer las aristas generadas. Ello fue visible en las imágenes y permite al trabajador movilizar y desgastar la pieza a voluntad dando el terminado deseado, además de que algunos artesanos

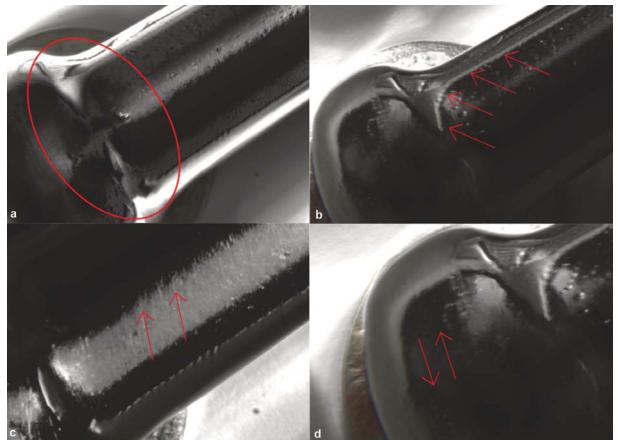


Figura 5. Análisis del cetro globular donde se aprecian las escaletas aun visibles del proceso de trabajo para formar la espiga (a-b) y la dirección del desbaste para pulir la pieza (c-d). Imágenes de Jannu Lira y Édgar Mendoza.

actuales realizan piezas redondeadas con un sistema básicamente idéntico, cuya principal diferencia es la implementación herramientas automatizadas.

Esta técnica de trabajo fue más evidente en: el bezote enfocado principalmente en la parte de la contra (Figura 6); en el cetro curvo en forma de gancho llamado *ehecahuictli*; en el cetro de Techálotl; y en los pendientes en forma de pato (Figura 7). Algo similar para dar el terminado de redondez se encuentran en la espiral de la cuenta helicoidal y en la incisión del pectoral Anáhuatl, donde se realizan incisiones de manera recta que se van hilando para formar una línea curva (Figura 8).

Todos los aspectos de trabajo mencionados son muestra de una serie de factores que influyeron en los individuos dedicados a estas labores, los cuales se fueron desarrollando de manera empírica -es decir por prueba y error-, lo cual llevó a una estandarización ya sea por la efectividad de los elementos implicados, por la facilidad que implicaba abastecerse de ellos, por el hecho de que correspondían a una serie de lineamientos ideológicos o a la suma de todas las opciones mencionadas. El trabajo también debió estar amarrado a cuestiones de tiempo, como lo sugieren los elementos de etapas tardías del recinto sagrado donde el objeto en sí es lo fundamental y no específicamente la calidad de su terminado.

Se puede hablar de que los experimentos y posterior análisis por medio de la técnica RTI ha brindado

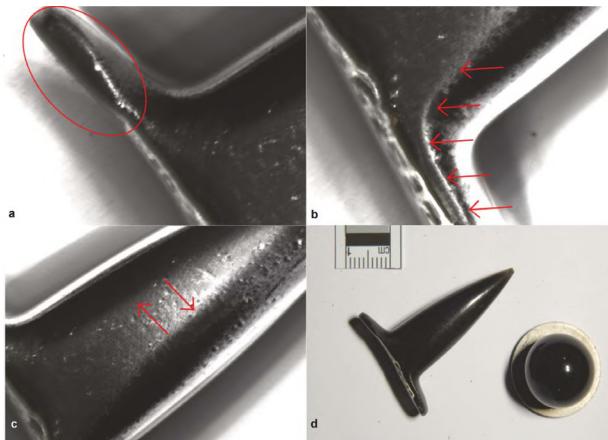


Figura 6. Revisión del bezote de obsidiana, en el cual se aprecian aristas de trabajo en las caras de la pieza (a-b), la dirección del trabajo de pulido (c) y la vista general de la pieza (d). Imágenes de Jannu Lira y Édgar Mendoza.

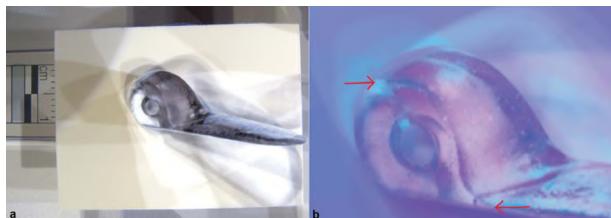


Figura 7. Análisis de la cuenta en forma de cabeza de pato: perfil de la pieza (a) y aristas de las caras de trabajo (b). Imágenes de Jannu Lira y Édgar Mendoza.

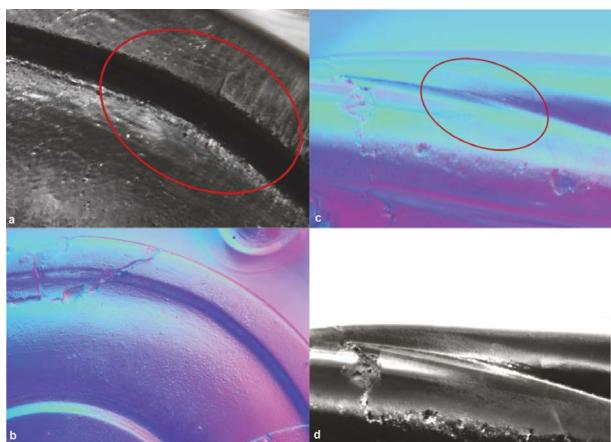


Figura 8. Análisis de las incisiones en el pectoral Anáhuatl (a-b) y cuenta tubular helicoidal (c-d), donde se aprecian las uniones de las líneas rectas para formar los diseños curvos. Imágenes de Jannu Lira y Édgar Mendoza.

nuevos datos sobre los objetos lapidarios en obsidiana con distintas calidades de trabajo y, en especial, el desgaste por facetado de las piezas tardías. También destacan los detalles técnicos que se pudieron registrar en la lapidaria en obsidiana, ya que sus características vítreas dificultan su análisis visual. Gracias al empleo de RTI no sólo se obtienen datos nuevos o poco visibles con la fotografía común o el dibujo; también permite detectar impurezas superficiales en la calidad de las obsidianas empleadas, así como correcciones en los bordes durante la elaboración de los objetos, el desgaste por facetado de forma clara en el cetro curvo *ehecahuictli* y distintos trazos en el empleo de los instrumentos de trabajo (Figura 9).

Dentro de este mismo punto, se pudieron observar con mayor detalle en las simulaciones, las correcciones dentro del proceso de manufactura como sucede con la pieza identificada como nariguera de Xipe-Tótec, si bien esta es distingible a simple vista, ver la dirección del trabajo amplía el proceso de comprensión de las etapas del mismo; además de que permite observar de manera clara los restos de la intrusión en la obsidiana que llevó a los especialistas que trabajaron en ella a llevar a cabo esta corrección (Figura 10).

En el caso de las piezas de obsidiana de la etapa II, las más tempranas en ser ofrendadas en el Templo Mayor, presentan los rasgos muy difusos en su elaboración, como la concavidad y desgaste del disco calado y el acinturamiento y abrasión interna de las orejeras de carrete (Figura 11). Ello contrasta con las piezas de las etapas tardías, como los distintos cetros, los cuales sí presentan muchos rayones en varias direcciones como se aprecia en las figuras anteriores.

Poniendo en foco la efectividad y los aspectos que el RTI permite apreciar, en primera instancia en todas las piezas incrementó la claridad de la dirección en que se está realizando el trabajo de abrasión, el cual variaba dependiendo de los detalles a realizar en éstas. Seguidamente se puede observar el esmero que llegaban a tener en el terminado de la pieza, así se encuentran piezas con un brillo de gran calidad, como es el caso de los pendientes en forma de cabeza de pato, el disco calado y las orejeras de carrete. Ello

contrasta con el trabajo final en la aplicación para ojos de escultura, cuyo acabado no refleja mayor esfuerzo, mismo caso del pectoral Anáhuatl. Dichos detalles son poco evidentes a simple vista debido al carácter vítreo de la obsidiana y al tamaño de las piezas; sin embargo, por medio del RTI son claramente evidentes y se incrementa el marcado de las huellas para su registro visual.

En tercer lugar, se pudo inferir de mejor manera las etapas de trabajo y las técnicas utilizadas en la producción de los instrumentos. Los ejemplos más representativos de este aspecto son el cetro curvo, la cuenta helicoidal, el pendiente de cabeza de pato y el bastón globular.

Detalles específicos de los objetos también son apreciables, como la corrección en la nariguera bifida debido a la intrusión que presentaba, aspecto que a simple vista es casi imperceptible. La detección de estos detalles particulares es una muestra de que si bien un tipo de objeto se encuentra con frecuencia, cada ejemplar es resultado de un trabajo personalizado y único.

En suma, el RTI permite llevar la percepción del investigador a un nivel mayor, gracias al control que se tiene de la visualización de la pieza y a los detalles que se pueden observar de manera más práctica, con el agregado de que los aspectos que se consideren más representativos pueden ser capturados de manera digital al instante. Se utiliza como una manera eficiente de apreciar los procesos de factura y todas las variantes que implican en las piezas lapidarias. Así es posible identificar cuáles piezas se distinguen de las demás por presentar rasgos diferentes a las demás y cuándo hay una uniformidad en la colección, permitiendo elegir cuáles objetos requieren mayor estudio y cuáles forman parte del patrón tecnológico general. Como se pudo apreciar en las piezas revisadas, se detectaron varios grupos con rasgos superficiales que fueron remarcados e incrementados con ayuda de RTI. La ventaja de poder modificar la dirección e intensidad de la luz de forma interactiva y el uso de filtros en los modelos digitales mostró que en algunas piezas los rasgos aumentaban y en otras se difuminaban al mejorar el contraste micro-topográfico en sus superficies. Así mismo,

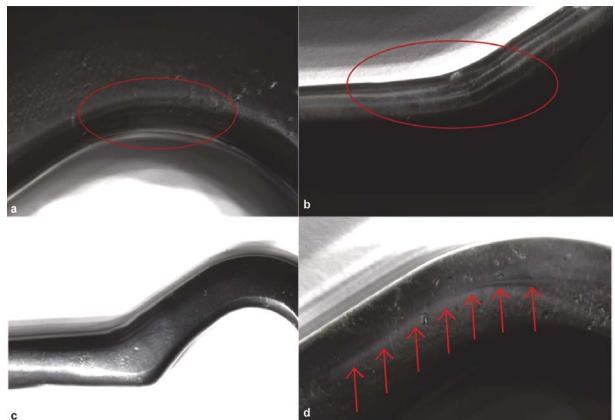


Figura 9. Revisión del cetro curvo de Ehecahuictli, en el cual se aprecian las caras y facetas de los bordes (a-b) que posteriormente son pulidas para difuminar los rasgos del desgaste inicial (c-d). Imágenes de Jannu Lira y Édgar Mendoza.

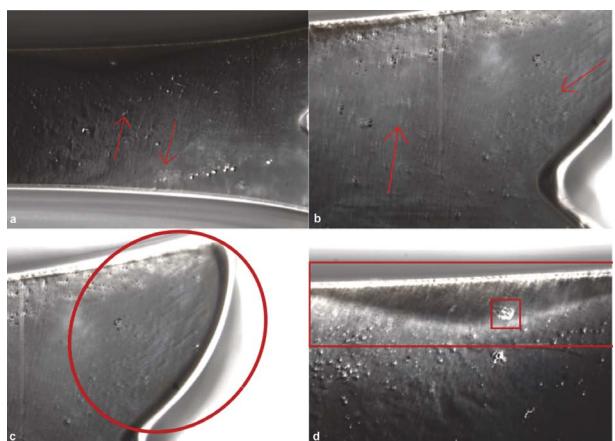


Figura 10. Revisión de la nariguera bifida de Xipe-Tótec, donde se indican las diversas direcciones del desbaste que se requieren para lograr la forma y el pulido deseado en la pieza (a-c), así como el detalle de la corrección que se realizó para retirar una impureza de la cual aún se aprecia un poco de ella (d). Imágenes de Jannu Lira y Édgar Mendoza

cuáles presentaron correcciones en su elaboración e impurezas difíciles de apreciar al mismo tiempo de que los rasgos de manufactura, cuáles tuvieron distintas direcciones de empleo de los instrumentos de trabajo y detalles de la posición en que fueron elaboradas, como las distintas caras y aristas detectadas al redondear algunos objetos.

El apoyo de la Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) complementa los estudios realizados, ya que las amplificaciones alcanzadas (desde 30x hasta 200000x) permiten medir los rasgos de manufactura dejados por cada instrumento de trabajo y hacer comparaciones en pares de imágenes (una experi-

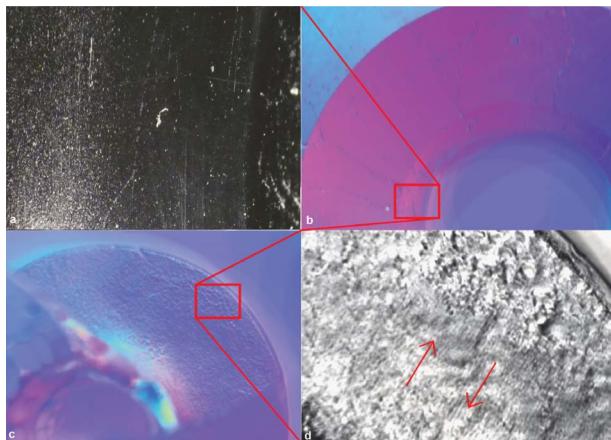


Figura 11. Revisión de piezas de la etapa II: detalle del desgaste con abrasivo y bruñido en la concavidad del Disco calado que presenta rasgos circulares muy difusos (a-b) y parte interna del carrete de una orejera, donde se aprecia la dirección del abrasivo empleado (c-d). Imágenes de Jannu Lira, Édgar Mendoza y Emiliano Melgar.

mental y una arqueológica) para identificar con bastante precisión cuál material fue empleado en cada modificación de las piezas. De esta manera, con RTI se hace una primera división de los objetos en grupos que presentan superficies y microtopografías similares, las cuales son revisadas con MEB para determinar el instrumento empleado.

En cuanto a los resultados obtenidos al ser complementados con el análisis traceológico con MEB, como indica la tabla, existe una tendencia a estandarizar las materias primas con las que se trabaja la lapidaria en obsidiana en las piezas de las etapas imperiales del Templo Mayor (etapas IV a VII), como el desgaste con basalto, el corte con pedernal, el pulido con un material fino y el bruñido con piel (Melgar Tísoc & Solís Ciriaco, 2009). La preferencia por el basalto en lugar de la andesita para desgastar las piezas que se identificó en la etapa II, parece resultado de las estrategias de las élites tenochcas por tratar de expresar materialmente su identidad y poderío al romper con la tradición lapidaria que existía en la Cuenca de México. Para ello, desde Moctezuma I se convocó a los mejores maestros y artesanos para trabajar en los talleres palaciegos y elaborar los preciosos bienes que serían ofrendados a los dioses o para ostentar el poder tenochca. Esta concentración de artesanos supervisados por las élites favoreció la estandarización, pero también el cambio

tecnológico y la elaboración de muchas insignias y emblemas de divinidades nahuas que no se han recuperado en otros asentamientos de Mesoamérica (Velázquez & Melgar, 2014, p. 304-305). En cuanto el corte por sílex en vez de emplear obsidiana se puede sugerir que responde a dos cuestiones principales. Primeramente, una efectividad técnica ya que la incisión con este material es más práctica, que con uno de la misma dureza que la obsidiana; por otro lado, se infiere una restricción de trabajar obsidiana con la misma materia prima por cuestiones ideológicas, ya que quizás lo "semejante no puede trabajar lo semejante" y porque la obsidiana se asociaba con el inframundo y el sílex con un origen ígneo en su cosmovisión (Velázquez & Melgar, 2014, p. 303).

Finalmente reflexionamos sobre que todas las técnicas que se puedan complementar para el estudio de los materiales arqueológicos son válidas y nos ayudan a comprender el papel que desempeñan dentro de una o varias sociedades. Este tipo de herramientas no invasivas aportan nuevos datos sobre la elaboración de las piezas e incrementan la visibilidad de los rasgos de manufactura, lo cual contribuye y enriquece las interpretaciones. La corroboración y retroalimentación de las diversas técnicas ayuda a mantener los estándares óptimos que exige la investigación científica arqueológica de nuestros días.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue posible gracias al apoyo del proyecto de Ciencia Básica CONACYT CB-283896: La filiación cultural de los objetos lapidarios en el Templo Mayor de Tenochtitlan.

Al personal de la Bodega de Resguardo de Bienes Culturales del Museo del Templo Mayor, al grupo de becarios y encargados del Laboratorio de Análisis Lítico y Experimentación. Litoteca de la ENAH, al equipo de trabajo del Departamento de Colecciones Arqueológicas Comparativas del INAH, al proyecto "Estilo y tecnología de los objetos lapidarios en el México Antiguo" y al taller de arqueología experimental en lapidaria.

BIBLIOGRAFÍA

- Cultural Heritage Imaging. (2013). *CHI Cultural Heritage Imaging*. Obtenido de Guide to Highlight Image Capture. Disponible en: <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/CulturalHeritageImaging>. (2013). *Reflectance Transformation Imaging: Guide to Highlight Image Capture*. San Francisco, California: Cultural Heritage Imaging.
- Cultural Heritage Imaging. (2018). *More Examples of Reflectance Transformation Imaging*. Obtenido de Cultural Heritage Imaging. Disponible en: <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/index.html> [consultado: 25 de enero de 2018].
- Cultural Heritage Imaging. (2018). *Reflectance Transformation Imaging (RTI)*. Obtenido de Cultural Heritage Imaging. Disponible en: <http://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/> [consultado: 25 de enero de 2018].
- Díaz Guardamino, M., & Wheatley, D. (2013). Rock Art and Digital Technologies: The Application of Reflectance Transformation Imaging (RTI) and 3D Laser Scanning to the Study of Late Bronze Age Iberian Stelae. *Menga. Revista de Prehistoria de Andalucía*, 4, pp. 187-203.
- Duffy, M. S. (2013). *Multi-light Imaging for Heritage Applications*. Reino Unido: English Heritage.
- Hammer, Ø., Bengtson, S., Malzbender, T., & Gelb, D. (2002). Imaging Fossils using Reflectance Transformation and Interactive Manipulation of Virtual Light Sources. *Paleontologia Electronica*, 5 (4), 9 pp.
- Malzbender, T., Gelb, D., & Wolters, H. (2001). Polynomial Texture Maps. En *Eurographics*. pp. 519-528.
- Matos, E. (1988). *The Great Temple of the Aztecs. Treasures of Tenochtitlan*. Londres: Thames and Hudson
- Melgar Tísoc, E. R., & Solís Ciriaco, R. B. (2009). Caracterización de huellas de manufactura en objetos lapidarios de obsidiana del Templo Mayor de Tenochtitlan. *Arqueología. Revista de la Coordinación Nacional de Arqueología*, 42, pp. 118-134.
- Mendoza, C. E., Schönleber, R. I., Punzo, D. J., & Ibarra, I. M. (17 al 19 de mayo de 2017). Análisis por medio de "Reflectance Transformation Imaging" (RTI) Aplicado a Dos Hachas de Metal Arqueológicas Provenientes de Michoacán. León, Guanajuato, Guanajuato.
- Real Academia Española. (2017). *Real Academia Española*. Disponible en: <http://dle.rae.es/?id=NkAteAU|NkDulmp> [consultado: 30 de enero de 2017].
- Schneider, T. D., & Hager, L. D. (2017). Detailing the Bead-Maker: Reflectance Transformation Imaging (RTI) of Steatite Disk Beads from Prehistoric Napa Valley, California. En D. Bar-Yosef Mayer, C. Bonsall & A. Choyke (Eds.), *Not Just for Show. The Archaeology of Beads, Beadwork, & Personal Adornments*. Oxford: Oxbow Books, pp. 136-155.
- Schönleber, I., Lira, J., Mendoza, E. I., & Ibarra, M. (2016). Reflectance Transformation Imaging (RTI) aplicada al estudio de los materiales líticos tallados y pulidos. En E. A. Solano Sosa (Ed.), *Compendio de Investigaciones Científicas en México*, vol. 1. León, Guanajuato: Centro de Investigaciones en Óptica.
- Sirlin, E. (2006). *"La Luz en el Teatro"-Manual de Iluminación*. Buenos Aires: Atuel.
- Velázquez, C. A., Lira, A. J., & Mendoza Cruz, E. I. (Agosto de 2017). Archaeometric Techniques for the Study of Malacological Materials. Reflectance Transformation Image (RTI) and Scanning Electron Microscopy (SEM). *XXVI International Materials Research Congress*. Cancún, Quintana Roo, México.
- Velázquez Castro, A. & Melgar Tísoc, E. R. (2014). Producciones palaciegas tenochcas en objetos de concha y lapidaria. *Ancient Mesoamerica*, 25 (1), pp. 295-308.

Diferentes niveles de realidad mixta en entornos museales como una herramienta para cambiar la experiencia de los visitantes en los museos

Hector Valverde Martínez

CENTRO DE INVESTIGACIÓN, DOCUMENTACIÓN E INFORMACIÓN MUSEOLÓGICA
DIRECCIÓN TÉCNICA DE LA COORDINACIÓN NACIONAL DE MUSEOS Y EXPOSICIONES, INAH

Resumen: El siglo XXI inició con una de las revoluciones tecnológicas que han cambiado en su totalidad la manera en que las personas nos relacionamos con nuestro entorno. La llamada revolución digital ha provocado el surgimiento de una sociedad enfocada en lo visual y con lógicas completamente diferentes a las que imperaban hace 50 años, cuando no necesitábamos de dispositivos digitales como intermediarios para entender el mundo, lo que significó la transformación de los públicos de los museos desde una posición de entes pasivos a una de agentes activos, que buscan experimentar dentro del espacio museal. En este sentido, es fundamental explorar cómo los productos tecnológicos afectan a los museos, así como la manera en que éstos pueden ser aprovechados (Vackimes: 2005). En el entendido de que el Museo es una institución al servicio de la sociedad, que adquiere, conserva, estudia, expone y difunde el patrimonio material e inmaterial de la humanidad con fines de educación y recreo (ICOM), se agradece que haya comenzado a preocuparse por hacer uso de los dispositivos tecnológicos y poco a poco comience a incursionar en el uso de herramientas digitales como un recurso museográfico que permita conocer y profundizar sobre algún tema determinado, para tratar de presentar sus contenidos de una forma atractiva a los diferentes públicos. El reto al que se enfrentan los profesionales de los museos es el de generar un precepto y no convertir al museo en un espacio netamente entretenido. En este texto se exploran las posibilidades de aplicación que tienen los desarrollos en Realidades Mixtas, para ser utilizados como elementos que inciden en la relación visitante-museo para atender las necesidades -tanto de conocimiento como de espaciamiento- que tienen los visitantes dentro del espacio museal y de esta manera mejorar la experiencia en las visitas a este tipo de recintos culturales. El énfasis en dicho planteamiento apunta hacia la manera en que se piensa desde lo digital para entender la relación que pueden guardar el diseño de experiencias museales con la idea que se tiene del museo como institución y como un dispositivo de comunicación que busca alcanzar a los más diversos públicos en clara competencia con agentes del sector del entretenimiento. Se analizará lo que significa hacer museos en un ambiente digital sin que ello suponga la implementación de aditamentos por mera innovación, sino la exploración de otras estrategias en la manera de presentar los contenidos de una exposición. Se exemplificarán algunas de las estrategias utilizadas dentro y fuera del espacio museal, a partir del uso de Realidades Mixtas y su impacto en la experiencia del visitante para alcanzar diferentes niveles de profundidad de conocimiento en una exposición; se analizarán los límites en la creación de atmósferas que permiten a los visitantes sentirse inmersos en una realidad completamente diferente de la que viven, que ayudan a comprender mejor los temas abordados en la exposición; se explorarán las estrategias que pueden ser utilizadas para incentivar a los públicos de los museos a participar de manera activa y ampliar la experiencia del museo más allá de sus muros, como la ludificación de la experiencia museal o la portabilidad de la experiencia.

Palabras clave: realidad mixta; experiencia; visitante; museos

Abstract: The 21st century began with the technological revolutions that have completely changed the way we relate to our environment, the so-called digital revolution has led to the emergence of a society focused on the visual and the logics completely different to how they were 50 years ago, where we did not need the use of digital devices as intermediaries to understand the world, which meant the transformation of the public of museums from a position of passive entities into one of the active agents, who seek to experiment within the museum space; in this sense, it is fundamental to explore how technological products affect museums, as well as how they can be used (Vackimes: 2005). With the understanding that the Museum is an institution at the service of society that acquires, preserves, studies, exhibits and promotes the mate-

rial and immaterial heritage of humanity for the purpose of education and recreation (ICOM), it is grateful that museums has begun to worry to make use of technological devices, and step by step begin to venture into the use of digital tools as a museographic resource to try to present the museum contents in an attractive way to different audiences, the challenge [that face museum professionals] is to generate a percept and not to turn the museum into a purely entertaining space. In this text, the application possibilities of the developments in Mixed Realities will be explored, to be used as an element within the museographic space that affects the visitor-museum relationship to satisfy the needs -both of knowledge and recreation- that the visitors have and in this way, to improve the experience in visits to this type of cultural centres. The emphasis in this approach points to the way in which it is thinking from the digital to understand the relationship that the design of museum experiences can have with the idea of the museum as an institution and as a communication device that seeks to reach the most diverse public in clear competition with agents of the entertainment sector. It will be analysed what it means to make museums in a digital environment without this implying the implementation of attachments for mere innovation, but the exploration of other strategies in the way of presenting the contents of an exhibition. Some of the strategies used inside and outside the museum space will be exemplified from the use of Mixed Realities and their impact on the visitor's experience to reach different levels of depth of knowledge in an exhibition; the exploration of limits in the creation of atmospheres that allow visitors to feel immersed in a completely different reality from the one they live to better understand the topics addressed in the exhibition; it will be analysed the strategies that can be used to encourage museum audiences to actively participate and extend the experience of the museum beyond its walls, such as the gammification of the museum experience or the portability of the experience, will be explored.

Key words: mixed reality; experience; visitor; museums

1. INTRODUCCIÓN

En este texto se abordan las implicaciones de la utilización de Realidades Mixtas (RM) para mejorar la interacción y atención a nichos de público que demandan cada vez más la incorporación de estas innovaciones como un recurso indispensable en el diseño expositivo de los museos.

A partir de lo que podríamos llamar la revolución cultural del siglo XX que tuvo lugar a finales de la década de los 60 (Jiménez-Blanco 2014), se ha trabajado en acercar a los públicos (especialmente las grandes audiencias) a los museos, buscando volverlos más dinámicos y dejar atrás a los museos templo

(Cameron 1980), por lo que se comenzó a explorar en el uso de nuevas tecnologías bajo la justificación de 'La gente joven solo se siente atraída y únicamente entiende a través de los dispositivos digitales', argumento que parece un movimiento desesperado por atraer a un sector que no ha sido capaz de atender.

Los medios de comunicación inundan nuestra sensación de habitar el mundo. Muchos factores contribuyeron a la creación de las dinámicas y estructuras que hoy damos por sentado en las rutinas cotidianas (Couldry 2012), pero de entre todos los desarrollos tecnológicos, el internet fue un hito dentro de la revolución tecnológica que caracterizó al siglo pasado; su incursión rompió las barreras físicas y nos conectó de manera instantánea con el resto del mundo, nos permitió hacer operaciones financieras apretando un botón incluso antes de comenzar la jornada laboral. El internet cambió la forma en que interactuamos entre nosotros y cómo nos relacionamos con el mundo, aceleró el ritmo de vida debido a la inmediatez que ofreció y amplió el horizonte a un nuevo mundo interconectado, con una infinidad de posibilidades como la velocidad en la transmisión de información con una multitud de usos y propósitos, lo que permite que una gran variedad de productos o procesos puedan ser transmitidos de muy diferentes maneras. (Miguel de Bustos 2006) Los medios digitales comprenden simplemente la última fase de la contribución de los desarrollos tecnológicos al mundo contemporáneo, como lo fueron la máquina de vapor, la imprenta o la invención de la lengua escrita.

2. DIFERENTES NIVELES DE REALIDAD.

Vivimos en una época en la que con un botón se abre un espectro de posibilidades tan amplio como la imaginación lo permita, cualquier duda sobre algún tema de interés puede ser resuelta con tan solo escribirla en un buscador¹, poder moverse entre las calles de una ciudad, disfrutar de una película,

¹ Investigamos las cosas buscando en Google, el principal buscador en internet, al punto de acuñar el neologismo *google it* en su versión en inglés, o "googlear" en su versión en español para referirnos a realizar la acción de buscar cierta información en internet a través de una computadora (fija, portátil o un teléfono móvil).

leer cualquier texto, e incluso interactuar con personas de otras latitudes, etc. Lo anterior es debido al aumento que tanto el flujo de informatización como el desarrollo de dispositivos electrónicos para el almacenamiento y distribución de esa información destinada al consumo de la población en general, por lo que los componentes electrónicos fueron sometidos a un proceso continuo de refinamiento que los hacía más pequeños y adecuados para una amplia gama de nuevas aplicaciones (Athique 2013), sin las cuales, no podríamos tener los insumos necesarios para el desarrollo de ambientes digitales.

Entre los desarrollos que han llamado el interés de museógrafos, desarrolladores y usuarios son las denominadas Realidades Mixtas (RM), entendidas como el espectro de posibilidades de creación de ambientes digitales como espacios de inmersión sensorial y potenciadores del mundo sensible (Milgram et Kishino 1994). Dentro de este espectro, los más populares son la Realidad Virtual (RV) y la Realidad Aumentada (RA). Por RV (también denominada como Entorno Virtual o EV) se entiende a la inmersión completa de un sujeto en un ambiente sintético desarrollado totalmente por una computadora, por lo que el usuario no es capaz de percibir el mundo real (sensible) a su alrededor. A diferencia de los EV, la RA significa tomar información generada de manera digital y sobreponerla sobre el mundo real, modificando el mundo sensible en tiempo real; tanto la RA como la RV pueden utilizar los 5 sentidos para crear el ambiente deseado, pero actualmente es común el desarrollo de ambientes que utilizan como medio el sentido de la vista.

La principal diferencia entre RV y RA es que ésta última forma parte de la primera, su peculiaridad radica en que permite al usuario percibir el "mundo real" y que además potencia lo que generalmente llamamos "la realidad"; permite la interacción con el entorno en tiempo real al percibir cierta información extra que de otra manera sería imposible percibirla. El Dr. Feiner, profesor de Informática en la Universidad de Columbia, considera que no se debe entender como un dispositivo para estimular la vista, ya que la RA no tiene que estar compuesta únicamente por gráficos superpuestos para un entorno,

pues es posible experimentar una RA auditiva, haptica (táctil), olfatoria y gustativa. Cree, además, que es importante dar un paso atrás y ver a la RA en la experiencia multimedia multimodal en lugar de entender que es un gráfico agregado en el mundo real (Kipper et Rampolla 2012).

Después de los desarrollos destinados al cuidado de la salud de las personas, los que están implicados con la educación son los que más inversión reciben, con un gasto total de \$1.6 mil millones de dólares en 2011 tan solo en Estados Unidos. El potencial que tienen los desarrollos para influenciar y potenciar la educación formal y no formal son inmensos, pues pueden ir desde crear simulaciones para permitir a las personas explorar dentro de esa virtualidad, observar y captar signos sensibles de un algo que de otra manera no sería posible o con la implementación de estrategias pedagógicas en ambientes digitales de inmersión total o parcial, por ejemplo, permitir a los usuarios ingresar a las más recientes excavaciones de los túneles en Teotihuacan sin necesidad de comprometer el trabajo realizado por los arqueólogos y ni de exponer a los usuarios a riesgos propios del trabajo arqueológico, e incluso mostrar cómo pudieron verse en su momento de apogeo. De igual manera pueden ser empleadas para la visualización espacial de conceptos tan complejos que hasta hace poco solo podíamos representar en formatos gráficos bidimensionales como en la conceptualización de un nuevo edificio, la enseñanza de la anatomía o prácticas que no signifiquen más un riesgo para los estudiantes. También, permite visualizar información que de otra manera sería incomprendible o inaccesible, como ver datos útiles o necesarios sobre un objeto o un lugar en específico, o ubicar al usuario ante lugares y hechos históricos.

3. DIFERENTES NIVELES DE REALIDAD EN LOS MUSEOS.

La revolución digital ha provocado el surgimiento de una sociedad que responde a estímulos audiovisuales y con formas de pararse frente al mundo de manera completamente diferentes a como lo fueron hace 50 años, los públicos se han transformado y han forzado a los museos a reinventarse; una de

las estrategias para lograrlo fue la incorporación de herramientas digitales en el discurso museográfico como las estaciones y kioscos dentro de las salas expositivas o el uso de dispositivos móviles y las experiencias fuera del museo.

Las RM en entornos museales, tienen un gran potencial para conservar, difundir, estudiar y exponer el patrimonio material e inmaterial de la humanidad como herramienta al servicio de los museos, prácticamente no existen límites en su aplicación (en teoría), ya que pueden traer a la vida los objetos expuestos y de esta manera crear exposiciones más dinámicas e interesantes para atraer a un público más vasto; sin embargo, en la práctica, su aplicabilidad se enfrenta a cuestiones financieras, de instalación, mantenimiento a corto, mediano y largo plazo, así como a la habilidad de los usuarios para operar las aplicaciones y las complicaciones técnicas que se puedan presentar como incompatibilidad de los dispositivos utilizados, problemas con los sensores que detectan los movimientos de la cabeza, del cuerpo, de los dedos o de los ojos, así como sensores de audio, los giroscopios, e incluso la conexión a internet, etc. (Holloway et Lastra 1993)

Entre los usos que se pueden mencionar sobre la implementación de RM en los espacios expositivos están:

- Generación de una experiencia totalmente inmersiva
- Potenciador del entorno
- La ludificación del espacio museal
- La estimulación sensorial con fines estéticos

La Art Gallery de Ontario desarrolló la experiencia *Small Wonders: The VR Experience*, en el que se puede explorar a profundidad una pieza, explotarla y analizar sus partes por separado, así como obtener una descripción y explicación más detallada de los elementos constitutivos; el Museo de Historia Natural en Londres ha estado trabajando en un proyecto de RV titulados *Hold the World*, el cual es descrito como la primer experiencia de RV que combina la tecnología de los videojuegos con una narrativa de estilo documental. Finalmente, la instalación *Carne y Arena*

en el CCUT, realizada por el cineasta Alejandro G. Iñárritu, busca sumergir al espectador en la experiencia que viven los migrantes mexicanos y centro-americanos en su intento por cruzar la frontera con Estados Unidos, y las visitas 360° de los museos y exposiciones son ejemplos sobre la generación de experiencias totalmente inmersivas.

Entre los potenciadores del entorno, está el desarrollo del Museo de Historia Natural de Berlín que logró animar el esqueleto de un dinosaurio, brindando la posibilidad de que el animal cobre vida y pueda ser visto caminar por la sala y así, el visitante experimente cómo hubiera sido estar frente a este animal cuando estaba vivo; el Pabellón de Alemania en la Exposición Universal de Milán en 2015 mostró las diferentes fuentes de nutrición en cuatro núcleos temáticos (suelo, agua, clima y biodiversidad) hasta la producción y el consumo de alimentos en el mundo urbano, con una variedad de estaciones presentaron cómo Alemania aborda el desafío de la futura alimentación humana. Los visitantes eran invitados a ser agentes activos dentro del espacio expositivo con el "SeedBoard"² que les permitía navegar de forma libre dentro del espacio expositivo y explorar la información adicional que brindaba en el llamado "Campo de Ideas"; la Casa Batlló creó una guía para dispositivos móviles que a partir de la RA, genera una nueva experiencia en la visita a este espacio, se interactúa con todo lo que integra la casa, desde las maquetas, hasta los elementos estéticos y decorativos del lugar, invita a explorar la casa de una manera lúdica y descubrir la inspiración que Gaudí tuvo para concebir los elementos constitutivos y estéticos del lugar, permite además que el visitante conozca los muebles originales y la atmósfera que pudo tener la casa en el pasado; la aplicación para celulares *Ver México* permite realizar un recorrido por tres salas del Museo Nacional de Antropología, y obtener información de 15 piezas emblemáticas del recinto entre las que destacan la Piedra del Sol y la Coatlícué.

Sobre los proyectos de ludificación del espacio museal, el Stedelijk Museum desarrolló *Borrowing*

² Tarjeta con tres sensores que servía como marcador para activar los dispositivos de RA y al mismo tiempo como superficie para las proyecciones de RA.

real art in augmented reality y permitió al público del festival de música *Lowlands* seleccionar y colgar de manera virtual sus piezas favoritas del museo en los distintos rincones de Ámsterdam y de esta manera desbordar al museo no solo de sus cuatro paredes, sino también del mundo perceptible; otro ejemplo es el proyecto *Paint Job* del Rijksmuseum, el cual permite a los usuarios escanear las obras de arte del museo y descubrir nueva información sobre las pinturas, el desarrollo propone cerrar la brecha entre las “obras de arte antiguas” y la sociedad moderna y explorar temas de copyright, collage y creatividad.

En tanto, la *Immersion Room* en el Smithsonian Design Museum es un buen ejemplo de los desarrollos que buscan estimular sensorialmente a los visitantes con fines estéticos, ya que emplea una superficie parecida al Surface de Microsoft³ como interface para que los visitantes utilicen elementos estéticos de las piezas exhibidas para crear atmósferas en un ambiente interactivo, invita a jugar con los diseños y explorar la colección del museo para proyectarlas en las paredes del cuarto, explorar los patrones y colores de las piezas del museo y cambiar instantáneamente el ambiente de la habitación, así como mezclar los distintos elementos para que los visitantes creen sus propios diseños.

El proyecto *Google Arts & Culture* permite entre otras cosas: realizar visitas ampliadas de las exposiciones y lugares emblemáticos de museos y galerías en 70 países, utilizar el *cardboard*⁴ para hacer inmersiones en RV, realizar recorridos virtuales y visitas guiadas, tiene un identificador de arte el cual al apuntar la cámara del dispositivo móvil a una pieza obtiene más información de ésta incluso sin tener conexión a internet inalámbrico y brinda traducción simultánea, entre otras funciones.

Es importante señalar que en la implementación de los desarrollos de RM en los espacios expositivos se deben tomar en cuenta las particularidades de

los desarrollos, las necesidades del museo y las necesidades de conocimiento de los usuarios, en ese sentido, la RA es recomendable emplearla en espacios abiertos o exteriores sin elementos que puedan estar en peligro ni pongan en riesgo la seguridad de los usuarios; y la RV dadas sus características, debe ser utilizada en interiores y espacios controlados⁵ como una sala destinada expreso para ese fin.

Aunque a partir de los casos expuestos pareciera que los museos están tomando un buen camino hacia su reinención al mundo digital, es importante tomar en consideración que la implementación de ciertas tecnologías y dispositivos sobre otros no se puede tomar en función de intereses personales o gustos estéticos; en efecto, se pueden mencionar algunas historias de “éxito” en el que los museos han empleado las RM para presentar sus contenidos de una forma innovadora a los diferentes públicos, sin embargo, a lo largo de las discusiones sobre el uso de nuevas tecnologías para actualizar a los museos, generalmente se habla sobre los medios a emplear y rara vez se abordan los contenidos y la manera en que se cuenta la historia o la función que estos “implantes” tendrán tanto para el discurso expositivo como para los públicos, en ese sentido, es interesante la manera en que el Museo de Historia Natural de Londres planea su experimento con la RV al abordar una nueva manera de narrar y de conectar los temas del museo con sus públicos.

Para el desarrollo e implementación de estas herramientas y dispositivos específicos se requiere algo más que un vaciado de información, no basta trasladar el cedulario o integrar la información que no fue ocupada en la exposición; es necesario hacer un ejercicio reflexivo y de interpretación de la información para hacerla accesible en un nivel inteligible; debe ser capaz de ofrecer al visitante una experiencia

³ Surface era un dispositivo del tamaño de una mesa de café que en la superficie tenía integrada que combinada con la realidad aumentada, respondía al tacto y a objetos que fueran colocados sobre éste.

⁴ Cardboard es un desarrollo de Google para brindar una experiencia inmersiva de una manera simple y accesible, pues permite que cualquier persona pueda construir su visor de Realidad Virtual

⁵ Hablamos de un ambiente controlado en la Realidad Virtual debido a que durante el diseño de la experiencia, se pueden controlar las variables que interactuarán con los usuarios, en cambio, en los desarrollos de Realidad Aumentada, estas variables pueden cambiar de tantas maneras posibles que pueden alterar la experiencia deseada.

significativa⁶, debe estimularlo, provocarlo⁷, retarla y darle una sensación de satisfacción y de compleitud⁸ en términos cognitivos y afectivos al terminar de usar el dispositivo.

Al ejercicio de interpretación que se hace referencia no solo implica desarrollar mensajes claros y cortos, sino que deben ser relevantes para las personas y deben ser capaces de ser traducibles a un lenguaje que esté cercano al horizonte de conocimiento del destinatario final⁹, pues debe tener unos objetivos claros y deben responder a las preguntas ¿Qué queremos que la gente haga con esa información? ¿Queremos ampliar el nivel de conocimiento sobre un tema, generar un estímulo que provoque algún tipo de emoción o queremos que tras la información se llame a la acción y se cambien hábitos? ¿Cómo le será útil esta información a los públicos? No solo es ofrecer datos y desarrollar temas en un esquema cerrado para la exposición, sino es sistematizar la información, discernir y jerarquizar entre los contenidos que van a muro, de

⁶ Como menciona Manuel Gándara en su artículo *La narrativa y la divulgación significativa del patrimonio en sitios arqueológicos y museos*, una experiencia se caracteriza por ser interna, resultado de la participación física, emocional, intelectual e incluso espiritual en relación con algo y ese algo puede ser potenciado al hacerlo que girar en torno a un tema, por tal motivo, resulta posible diseñar experiencias dentro del espacio expositivo, pero para lograrlo, es necesario fijar objetivos y seleccionar los contenidos a transmitir, identificando la importancia que hace de este tema importante para los públicos, por lo que es importante identificar por qué habría de importarle a la gente ese tema en específico y organizar el contenido para narrar una historia que tenga sentido en la personas y tenga una conexión con su vida.

⁷ Como menciona Wagensberg, los museos deben ser capaces de generar más preguntas en el visitante que aquellas con las que entró (Montellano 2011), pues un buen museo debe ser capaz de atraer, entretenere e incentivar la curiosidad del visitante al mismo tiempo que aprende algo útil para su vida.

⁸ ¿Por qué los videojuegos son tan atractivos en la población menor a los 30 años? Es una pregunta un poco difícil de responder, pero algunas de las razones son la capacidad que actualmente tienen de generar vínculos sociales con otros jugadores, se recomienda a los jugadores a través de un sistema de niveles, por lo que los jugadores ganan algo conforme avanzan dentro de la historia; los videojuegos son un medio para liberar energía, se liberan expansiones del videojuego que amplían la experiencia de juego, crean atmósferas que permiten a los jugadores estar inmerso en una completa realidad virtual dentro del juego sin necesidad de utilizar lentes especiales.

⁹ Se pueden usar figuras retóricas para explicar de una mejor manera un tema, ejemplo de ello fue la campaña *Whopper Neutrality* que utilizó la empresa de hamburguesas Burger King para explicar el cambio en la legislación de Estados Unidos que eliminaba la neutralidad de los proveedores de servicios de internet y cómo ésta afectaba en la vida de las personas.

aquellos complementarios que van a cédulas de mano, fichas técnicas y apoyos museográficos¹⁰, este trabajo también contempla filtrar la información, la conceptualización y el desarrollo de las estrategias digitales que se van a emplear.

Lo anterior implica que las RM pueden ser empleadas para brindarle a los públicos una experiencia significativa, prolongando y enriqueciendo su visita, para lo cual es importante definir y desarrollar un lenguaje propio para este tipo de plataformas, se debe fijar el *target* al que va dirigido, esto definirá las necesidades tanto de información como técnicas en su desarrollo, por ejemplo, el lenguaje a utilizar, el tipo de experiencia que se desea obtener, la salida gráfica y los dispositivos a emplear. Si se busca desarrollar una experiencia inmersiva, existen dos opciones: que la experiencia pueda ser vivida desde el hogar, o bien, será necesario acondicionar al museo para recibirla; en cambio, si se busca potenciar el entorno de los visitantes, es necesario tomar en cuenta que el dispositivo utilizado es un potencial distractor del usuario sobre su entorno y esto podría poner en riesgo tanto al usuario como a las piezas, de igual manera, estos desarrollos permiten desbordar la experiencia del museo más allá de sus cuatro paredes, pues la información se presenta a manera de metadatos en tiempo real para generar una experiencia distinta en la visita. La ludificación y la estimulación sensorial pueden ser consideradas como una estrategia para reforzar el objetivo principal: que los públicos se lleven algo de su visita y ese algo además de conocimiento nuevo, útil y significativo, pueda ser un cambio de actitud en la manera en que se enfrenta al mundo o desarrollar una conciencia activa sobre su entorno.

El desarrollo de estas plataformas también permite a los usuarios apropiarse de los objetos del museo de una manera no antes vista, hasta cierto

¹⁰ Se entiende por apoyo museográfico a todo recurso pedagógico que complementa la información presente en las cédulas introductoria y temáticas, así como fichas técnicas. Su objetivo es que, a través de otros medios y otros recursos, el mensaje que se desea transmitir sea más claro para los visitantes, en ese sentido, entre las estrategias más utilizadas se encuentran audios, proyecciones, infografías, kioskos y estaciones táctiles, recursos mecánicos, ejercicios lúdico-pedagógicos, entre otros.

punto, podría decirse que democratiza el acceso a la cultura, pues los usuarios no solo observan, se les brinda la posibilidad de manipular los objetos, de hacerlos suyos y de habitarlos, de meterse en la piel de lo presentado y vivirlo¹¹; lamentablemente la gran barrera a la que se enfrentan todos los desarrollos de RM, es la brecha digital que aún permea en el mundo, pues mientras no exista una cobertura universal para el acceso a internet, ni la seguridad financiera y social para su operación, su uso continuará destinado a un nicho reducido de usuarios.

4. CONCLUSIONES

Las RM son unas herramientas diseñadas para potenciar la percepción del usuario sobre el ambiente que les rodea, deben ser capaces de proveer de la información necesaria para que las personas puedan tomar una decisión y entender mejor su entorno. Hay que tomar en cuenta que las plataformas pueden ser desde una computadora personal con cámara web, kioscos y estaciones digitales, hasta teléfonos inteligentes y tabletas, lentes de RA y todo tipo de dispositivos que estimulen cualquiera de los cinco sentidos del usuario.

La implementación de los desarrollos de RM en los espacios expositivos no es sencilla, entre otras cuestiones debido a los problemas de carácter financiero, técnico, de uso y de contenido. Hacer accesible

los discursos a los públicos en todos los ámbitos del museo requiere múltiples esfuerzos y no es únicamente el trabajo del curador, ni del departamento de servicios educativos, así mismo, el desarrollo de RM debe responder a necesidades específicas de la tecnología a emplear, así como a las necesidades propias del museo; se deben definir los objetivos en la implementación de un tipo de tecnología sobre otra y debe responder a estas preguntas básicas: ¿Qué quiero y a quién se lo quiero decir? ¿Por qué quiero decir esto y no aquello? ¿Qué relevancia o utilidad tiene que el interlocutor sepa esto? ¿De qué manera se lo voy a decir? ¿Por qué elijo una salida sobre otra? Solo así se podrá escoger la mejor propuesta posible.

Es importante considerar las características técnicas que tienen las distintas RM, pues nos obliga a preguntar de qué manera cambiarán la forma de hacer museos, ya que ahora no es necesario que todo suceda dentro del espacio expositivo, establece nuevas formas de interacción públicos-museo y demanda una planeación más real, pues los museos pueden tener la intención de hacer el salto tecnológico, pero lamentablemente no siempre tienen la capacidad de implementación como los grandes museos. Nos encontramos en un momento de transición y es difícil predecir el rumbo que tomarán las cosas; se reconoce la importancia del uso de las RM como un recurso museográfico y aunque su uso no se ha consolidado como se esperaría, es nuestro deber continuar reflexionando sobre este tipo de propuestas al trabajar en los museos.

¹¹ Por ejemplo, el furor que tuvo con los "milenials" la aplicación Pokémon Go permitió por primera vez a sus jugadores sentirse parte del juego, al convertirlos en un "verdadero" entrenador Pokémon, algo que no se había logrado hasta ese momento con los videojuegos, al recorrer las calles y encontrar singulares criaturas interactuando en el mundo sensible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Athique, A. (2013). *Digital Media and Society: An Introduction*. Cambridge, UK. Polity Press.
- Barfield, W. (2016). *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*. Estados Unidos: CRC Press.
- Couldry, N. (2012). *Media, Society, World. Social Theory and Digital Media Practice*. Cambridge, UK. Polity Press.
- Deleuze et Guattari. (1991). *Percepto, afecto y concepto*. En ¿Qué es la filosofía? (164 - 201). París: Minuit.
- Gándara Vázquez, M. (2013). *La narrativa y la divulgación significativa del patrimonio en sitios arqueológicos y museos*. En Gaceta de Museos, Núm 54: Museografía. (17-23). Ciudad de México, INAH.
- Hall, Tony, et al. The visitor as virtual archaeologist: explorations in mixed reality technology to enhance educational and social interaction in the museum. En Proceedings of the 2001 Conference on Virtual Reality, Archeology, and Cultural Heritage. 2001. pp. 91-96. <https://doi.org/10.1145/584993.585008>
- Holloway et Lastra. (1993). *Virtual environments: A survey of the Technology*. University of North Carolina.
- Jiménez-Blanco, María Dolores. (2014). *Una historia del Museo en Nueve Conceptos*. Madrid: Ediciones Cátedra.
- Kipper et Rampolla. (2012). *Augmented Reality, an Emerging Technologies guide to AR*. Elsevier.
- Mellado, Ana. (2014). *Así afecta Candy Crush a nuestro cerebro*. ABC, 1.
- Miguel de Bustos, Juan C. (2006). *Las tecnologías de la información y de la comunicación (TICs)*. En Comunicación sostenible y desarrollo humano en la sociedad de la información. Consideraciones y propuestas. Agencia Española de Cooperación Internacional Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación. (61- 69)
- Miguel de Bustos, Juan C. (2006) *Estrategias de comunicación para el desarrollo*. En Comunicación sostenible y desarrollo humano en la sociedad de la información. Consideraciones y propuestas. Agencia Española de Cooperación Internacional Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación. (179-200)
- Milgram et Kishino. (1994). *A taxonomy of Mixed Reality Visual Display*. IEICE Transactions of Information Systems, Vol. E77-D, No. 12 December 1994.
- Montellano Arteaga, Marcela. (2011). *Museología total: un punto de vista del Museo de Ciencias CosmoCaixa de la obra social La Caixa, Barcelona, España*. En Aportaciones a la museología mexicana. Rico, L (coordinadora). México, Universidad Nacional Autónoma de México. (181-191)
- Vackimes, S. (2005). *El Museo Contemporáneo: ¿simetría de sustancia y accidente?* En Revista M Museos de México y del Mundo. CONACULTA, México, Vol. 1, Núm. 3, Otoño 2005. (16-22)

El impacto de la usabilidad de las tecnologías digitales en la divulgación del patrimonio cultural

Manuel Gándara Vázquez

POSGRADO EN MUSEOLOGÍA

ESCUELA NACIONAL DE CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN Y MUSEOGRAFÍA, MÉXICO.

Resumen: Se argumenta que buena parte de las aplicaciones digitales para la divulgación del patrimonio cultural adolecen de problemas tanto de estrategia de comunicación como de “usabilidad”, una propiedad deseable en cualquier tecnología. Se define la usabilidad y sus componentes y se le ubica en el contexto del diseño de interfaz, del diseño de interacción y del diseño de la experiencia de uso. Se discuten los lineamientos teóricos y convenciones que rigen el diseño de interfaz, así como algunas de las maneras de evaluar la usabilidad. Finalmente, se hacen algunas recomendaciones para mejorar la usabilidad de las aplicaciones destinadas a la divulgación del patrimonio cultural.

Palabras clave: divulgación del patrimonio cultural; usabilidad; interactividad; diseño de interfaz; desarrollo de software; apps digitales

Abstract: It is argued that many digital “apps” devoted to presenting cultural heritage to wide audiences show deficiencies in both their communication strategy and in “usability”, a desirable property of any technology. Usability is defined and its components explored; its relation to interface, interaction and user experience design is examined. The theoretical guidelines and conventions that orient interface design are discussed, as well as some of the ways usability is evaluated. Finally, some recommendations are made for improving the usability of apps destined to the interpretation of cultural heritage.

Keywords: cultural heritage presentation and interpretation; usability; interactivity; interface design; software development; digital apps

INTRODUCCIÓN

Sin duda, las tecnologías digitales constituyen una revolución cuyos efectos aún no terminamos de ver. En el campo de la divulgación del patrimonio cultural, hicieron una aparición tímida a inicios de la década de 1990 con los quioscos multimedia¹, despertando tanto admiración como críticas en el mundo de los museos, para luego ganar visibilidad y preminencia gracias al uso generalizado de Internet; finalmente cambiaron totalmente el panorama con la adopción masiva de los teléfonos “inteligentes”. Hoy día existen muchos productores (llamados “desarrolladores” en el argot del campo) de programas de aplicaciones (*apps*, por su abreviatura en inglés) enfocados en el patrimonio cultural, a tal punto que es difícil hacer un listado de los museos mexicanos que los ofrecen, porque su uso se ha vuelto común.

¹ Se llamaban así porque recordaban a los quioscos europeos en donde se venden publicaciones periódicas; eran muebles de tamaño considerable, que en su interior escondían una computadora a la que se conectaba un monitor sensible al tacto. Eran caros, creaban problemas de circulación y de mantenimiento, pero permitieron al museo mostrar materiales de apoyo en diferentes medios (audio, música, fotos de alta resolución e incluso videos) y, sobre todo, permitieron proponer actividades interactivas: juegos de diferentes tipos, encuestas, cuestionarios, así como la manipulación de modelos virtuales de objetos y edificios. En los museos de arqueología y arte, fue prácticamente la primera vez que se pudo no sólo contemplar sino interactuar con el patrimonio. Para un resumen de ese momento histórico, ver Gándara (2001, pp. 85-91).

Esta generalización se debe no sólo a la moda o a la novedad, sino que resulta de la gran utilidad de los servicios que ofrecen estas apps y sitios web. Por lo mismo, celebramos su éxito, pero en este trabajo nos interesa llamar la atención sobre tres problemas que su empleo está acarreando:

1. Que muchos no son buenos como recursos de divulgación
2. Que no toman en cuenta cómo se insertan en la experiencia de visita
3. Que tienen una usabilidad deficiente.

Los dos primeros problemas serán descritos de manera resumida, esperando poder tratarlos con detalle en otros trabajos, mientras que el tercero, el de la usabilidad, será nuestro centro de atención en este capítulo.

Así, este artículo se organiza en cuatro secciones: la primera hace un rápido recuento histórico de algunos de los hitos del uso de estas tecnologías en relación al patrimonio cultural, sin entrar en grandes detalles o ejemplos concretos. Mi intención es sólo destacar su carácter dinámico y dialéctico y apuntar cómo su rápida transformación trae al sector lo mismo soluciones que problemas. En la segunda sección, describo rápidamente el problema de la baja calidad de muchas apps como recursos de divulgación. En la tercera sección, enuncio el problema de los efectos de las aplicaciones sobre la experiencia de visita. Finalmente, en la cuarta sección, la central de este trabajo, analizo el problema de la usabilidad, para concluir con algunas reflexiones.

UNA HISTORIA COMPLEJA

Al incrementarse el poder de cómputo de los teléfonos inteligentes y combinarse con la posibilidad de conexión a Internet, no debe sorprendernos que muy pronto hicieran su aparición programas (*apps*) sobre temáticas de patrimonio cultural. Uno de sus primeros usos fue el de ser una alternativa a las audioguías tradicionales de cinta análoga y a las primeras audioguías digitales. Estas últimas originalmente requerían dispositivos especializados; luego se emplearon asistentes personales digitales

(*PDA's* por sus siglas en inglés), que permitían ofrecer, además del audio, imágenes fijas y en movimiento. Para mediados de la década de 2000, museos y galerías como la Tate Modern, en Londres, habían logrado las primeras guías multimedia capaces de mostrar no sólo información de apoyo y contexto, que ampliaba la que se presentaba en los cedulares e impresos, sino ofrecer actividades interactivas educativas de alta calidad (Tallon, 2008). Estas primeras guías multimedia también podían rastrear el trayecto y actividades de los visitantes al estar conectadas a una red local, la cual detectaba la posición del usuario, así como los elementos que había consultado.

Es decir, las tecnologías digitales no sólo servirían a los y las visitantes, sino ahora también a los museos *para estudiar a sus visitantes*. La galería Tate Modern invitaba al público a compartir la información de su visita y, a cambio, les enviaba por correo electrónico el trayecto de la visita e incluso imágenes de aquellas obras ante las que se habían detenido más. Es decir, la tecnología digital se convertía en una herramienta para lo que se conoce como “estudios de visitantes”.

Otros usos no les gustaron tanto a los museos: gracias a los reproductores digitales de música y, en particular, al *iPod* de Apple Computer, se hicieron los llamados *podcasts*: programas de formato similar al radiofónico, con narración, música y efectos sonoros, cuyo contenido ofrecía interpretaciones alternativas a las presentadas por el propio museo. Al ser normalmente gratuitos², estos podcasts competían contra las audioguías digitales que museos como el de Arte Moderno de Nueva York rentaban a precios no precisamente accesibles. Eran una voz alternativa a la información oficial del museo, cosa que no fue muy bien recibida.

A la furia por instalar quioscos multimedia por doquier, pronto vino una reacción: era evidente que la idea de tener tecnología de punta era una pretensión peligrosa. La tecnología digital se transforma a tal velocidad que lo que era novedoso un año es obsoleto en dos más. Mantener actualizados los equipos es imposible. El problema es que si los visi-

² Por ejemplo, los del colegio MaryMount de Nueva York: <https://commons.marymount.edu/storiesofmarymount/>

tantes tienen tecnologías más poderosas en casa que las que ofrece el museo –lo cual hoy día es relativamente fácil gracias a las tabletas y los celulares inteligentes- el museo se ve obsoleto y pierde interés para los y las visitantes más jóvenes³.

Así, tal como comentara Paco Macón (especialista en medios digitales del Museo Metropolitano de Nueva York hasta hace poco), este museo, uno de los mejor financiados del mundo, decidió recientemente reducir su inversión en equipamiento. Los dispositivos digitales se utilizan cuando realmente son indispensables y no necesariamente son de última generación. Hoy día, la institución depende de los dispositivos de los propios visitantes, o que éstos rentan a terceros (Paco Macón, comunicación personal, noviembre de 2016, CDMX).

En nuestra propia investigación sobre públicos en sitios arqueológicos del patrimonio mundial –resumida en un artículo de próxima aparición (Gándara y Pérez, s. f.)- preguntamos a los visitantes entrevistados si estarían dispuestos a usar sus propios celulares como guías digitales. En la zona arqueológica de Uxmal, estaban sorprendidos de la disponibilidad de señal de Internet en prácticamente toda el área, lo que en principio permitiría que accedieran a información de apoyo para su visita. No obstante, señalaron dos problemas: uno, no les gustaría gastar su cuota de transmisión de datos bajando la información –problema que se resuelve con la posibilidad de que se descarguen sin costo en una red local inalámbrica a la entrada al sitio. El segundo es más complicado: aún si la descarga fuera gratuita, la idea de utilizar su batería para oír las explicaciones en vez de tener una reserva para el trayecto de regreso a Mérida o Campeche, no les gustaba. “Hay que atravesar la selva”, decían, “así que preferiríamos no quedarnos sin batería”. La solución sería el proporcionar dispositivos en el sitio, o al menos rentar baterías externas a bajo costo, para que no consuman la suya.

En suma, pasamos rápidamente de dispositivos voluminosos, pesados, fijos y desconectados unos de otros, proporcionados por los museos, a dispositivos ligeros, móviles, conectados casi permanentemente, propiedad de los mismos visitantes. Con la progresiva reducción de los costos de los celulares inteligentes, es previsible que esta tendencia continúe, y con ella la proliferación de *apps* para estos dispositivos móviles, desarrolladas ya no sólo por los museos o sitios arqueológicos, sino por emprendedores privados, tanto nacionales como extranjeros. Eso impacta la posibilidad de que la información disponible en los museos ya no sea controlada por las instituciones mismas (lo que en sí mismo puede ser bueno o malo). Por tanto, como espero haber ilustrado, las aplicaciones han generado no sólo soluciones, sino también problemas.

LOS MEDIOS DIGITALES NO OBVIAN LA NECESIDAD DE ADOPTAR ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN ADECUADAS

Paso al primero de los problemas mencionados al inicio: el que muchas *apps* son malas como recursos de divulgación. El problema tiene dos fuentes: por un lado, los contenidos que proporcionamos los especialistas: en muchas ocasiones la información generada por los arqueólogos simplemente se transcribe en la app. En esos casos, lo que tenemos es un acto de difusión, no de divulgación.

Como apunté en un artículo reciente (Gándara, 2015), la diferencia es que en la difusión estamos comunicando a un público de especialistas (o de personas entusiastas dispuestas a hacer un esfuerzo mayor); por ello no nos preocupa el uso de un lenguaje con tecnicismos que asume que los receptores tienen los antecedentes y el contexto como para entender lo que se les dice. En cambio, la divulgación está destinada al gran público y no puede darse ese lujo. Pero no sólo eso, los públicos van a sitios y museos con la intención de entretenerte y de paso aprender algo; si lo que les decimos es incomprendible e irrelevante, perderemos rápidamente su atención. Al simplemente transcribir el discurso de los arqueólogos, las probabilidades son altas de que esa comunicación será deficiente, poco

³ Es clásica la anécdota de niñas y niños que, ante una pantalla sensible que no es capaz de detectar gestos de avance, retroceso, ampliación o reducción del contenido –como lo hacen en una *Tablet* o celular, simplemente se molestan considerando que “está descompuesto” y se van.

emocionante y relevante y, en consecuencia, ineficaz como recurso de divulgación.

La segunda fuente de problemas tiene que ver con que no todos los valores del patrimonio son autoevidentes o perceptibles a simple vista por parte del gran público. Estos valores, agrupados por comodidad en las dimensiones estética, histórica, simbólica, científica y económica, no son igualmente "visibles". El valor estético es quizá el que menos esfuerzo requiera, sobre todo si lo que se observa es compatible con los valores estéticos de nuestra tradición occidental. El valor histórico se apreciará en función de los antecedentes y del contexto con el que cuenten los receptores. Algo similar puede decirse de los valores simbólicos, por ejemplo, identitarios, religiosos o políticos, los cuales serán incluso casi inaccesibles para personas con tradiciones culturales diferentes.

Pero es la dimensión científica -el valor como evidencia, el valor en el que el patrimonio cultural nos recuerda nuestra Humanidad común- la más difícil de percibir para una persona no entrenada al respecto. Y aquí da igual si lo que estoy viendo es el objeto o edificio real o un modelo digital. En ocasiones, a los desarrolladores les cuesta trabajo comprender esta idea. Por tanto, si el público no entiende el edificio que tiene enfrente, da igual que además lo vea como un modelo 3D en mi teléfono. Salvo por aquellos modelos que intentan ser reconstrucciones hipotéticas (que ayudan al público a entender mejor las ruinas), el simple hecho de presentar un modelo no resuelve el problema de la opacidad de estas varias dimensiones de valor.

La divulgación significativa es una estrategia derivada de la llamada "interpretación temática patrimonial" cuyo objetivo es precisamente hacer visibles esas otras dimensiones (Gándara 2018). Esta corriente logra el objetivo traduciendo el lenguaje técnico del especialista, proporcionando los antecedentes y el contexto para generar relevancia y de ahí la comprensión y empatía con el patrimonio (Ham, 1992, 2013; Knudson, Cable y Beck, 1995; Beck y Cable, 2010).

Quizá, algunas aplicaciones logran impactar sensorialmente al público y otras sin duda lo tocarán

emocionalmente –sobre todo por su escala o cuando su contenido iconográfico sea más o menos decodificable. Pero de ahí a que el público logre entender su relevancia por mera inspección visual, hay un gran trecho. Y sucede exactamente lo mismo si el objeto es real o virtual. Por lo tanto, llenar una aplicación simplemente con modelos digitales de objetos y edificios es algo muy loable y noble, pero no necesariamente resuelve el problema de la comprensión. Divulgar no sólo requiere de nuevas tecnologías, sino de estrategias adecuadas de comunicación. Y en ese aspecto muchas aplicaciones se quedan cortas.

EL PROBLEMA DE LA USABILIDAD (Y CÓMO EVITARLO)

Paso ahora a abordar el tema principal de este capítulo. "Usabilidad" es un neologismo introducido aparentemente en la década de 1980, por investigadores que en aquella época estudiaban "factores humanos" o "ergonomía informática", pero que se generalizó y afinó en la década de 1990. Vino a sustituir la idea de tecnología amigable (*user-friendly technology*) que resultaba difícil de definir; y al aún más opaco concepto de "tecnología intuitiva" (que debiera llamarse tecnología "intuible"). Apple tuvo mucho que ver con su generalización, dado que fue precisamente la introducción de la computadora Macintosh en 1984 lo que atrajo la atención del público por su facilidad de uso.

La definición clásica de usabilidad la acuñó Jakob Nielsen (1993, pp. 25, Fig. 1), uno de los expertos más importantes en este campo, quien señala que, aunque está relacionada a la *utilidad* de la tecnología, en realidad hace referencia a cinco cualidades que toda tecnología debería de tener, mismas que son las que en conjunto la hacen "usable" y transcribimos a continuación:

Facilidad de aprendizaje [*learnability*]: el sistema deberá ser fácil de aprender de forma tal que el usuario pueda empezar a realizar su trabajo rápidamente con el sistema.

Eficiencia: el sistema deberá ser eficiente en su uso, de tal manera que una vez que el usuario lo ha aprendido, permita un alto nivel de productividad.

Memorabilidad [memorability]: el sistema deberá ser fácil de recordar, de manera que el usuario ocasional pueda regresar al sistema después de un período de tiempo de no haberlo usado, sin tener que volver a aprender todo otra vez.

Errores: El sistema deberá tener una tasa baja de errores derivados de deficiencias del diseño, de manera tal que los usuarios cometan pocos errores durante su uso; y si lo hacen, puedan recuperarse fácilmente de ellos. Aún más, no deberán suceder errores catastróficos. **Satisfacción:** El sistema deberá ser de uso placentero, de forma tal que los usuarios están subjetivamente satisfechos cuando lo usan; les gusta el sistema. (Nielsen 1993:26).

Nielsen argumentaba desde entonces que, a diferencia de la idea de "amigabilidad" que no tenía una definición que la hiciera fácilmente observable o measurable, estas cinco propiedades sí lo son. Algunas, como la facilidad de aprendizaje o la memorabilidad, se miden por observación directa de los usuarios. Otras, como la satisfacción subjetiva, se obtienen mediante entrevistas que registran las opiniones de los usuarios sobre sus experiencias. Lo mismo ocurre con la eficiencia, que también puede observarse a partir del propio uso.

La Organización Internacional de Estándares (ISO) propuso su propia definición de usabilidad:

...el grado al que un sistema, producto o servicio puede ser usado por usuarios especificados para lograr metas especificadas con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto especificado de uso. Nota 1: los 'especificados' usuarios, metas y contextos de uso se refieren a la particular combinación de usuarios, metas y contextos para los que la usabilidad está siendo considerada. Nota 2: la palabra "usabilidad" también se utiliza como calificador para referirse al conocimiento de diseño, competencias, actividades y atributos de diseño, las cuales contribuyen a la usabilidad, como cuando se refieren a la experiencia en usabilidad, al profesional en usabilidad, la ingeniería en usabilidad, los métodos de usabilidad, la evaluación de la usabilidad o la heurística de usabilidad. [Fuente: ISO 9241-210:2010, 2.13. modificado –se añadieron las notas 1 y 2, Traducción del autor]⁴.

⁴ La versión actual es 11:2018 (en inglés): <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241-11:ed-2:v1:en>, consultado el 20 de diciembre de 2018

Una paráfrasis de ISO de esta definición la resume en cinco propiedades, algunas de las cuales coinciden con Nielsen: **facilidad de aprendizaje:** qué tan fácilmente puede un usuario aprender a navegar la interfaz; **comprendibilidad:** qué tan fácil puede entender lo que ve; **operabilidad:** cuánto control tiene dentro de la interfaz; **atractivo:** qué tan agradable es a la vista es la interfaz; y, por último, **adherencia a estándares:** qué tanto respeta estándares internacionalmente reconocidos –en donde, por supuesto, ISO se está refiriendo a su propio ISO 4291. Adherirse al estándar implica pagar una fuerte suma, dado que su documento normativo no es de acceso abierto.

Una última definición, contenida en uno de los libros de texto universitarios más populares al respecto, es la que ofrecen Dix et al. (2003) quienes distinguen sólo tres propiedades: (a) **facilidad para el aprendizaje:** qué tan fácil es aprender a navegar la interfaz; (b) **flexibilidad:** cuántas maneras se proporcionan para que un usuario interactúe con el sistema; y (c) **robustez:** qué tan bien están asistidos los usuarios cuando enfrentan errores (más detalles en UXBooth, 2018).

Algunos expertos cuestionan que se eliminen dos de las propiedades que propone Nielsen –y que ya había señalado antes que él Ben Shneiderman, uno de los fundadores del campo (1998). Y que, a cambio, se introduzca la propiedad de la **flexibilidad:** el tener múltiples opciones para hacer lo mismo, lo que suele confundir sobre todo a un usuario novato. No obstante, otros especialistas, como Cooper (1995), sostiene que los usuarios novatos rápidamente dejan de ser novatos, por lo que proporcionarles atajos mediante combinaciones de teclas es darles más usabilidad –es decir, estaría a favor de interfaces flexibles.

La usabilidad es una propiedad deseable en cualquier tecnología. Donald Norman, uno de los padres de la psicología cognitiva y experto en el tema, piensa que es una propiedad por la que hay que pelear para que se respete, porque no se trata de que los humanos nos adaptemos a tecnologías mal diseñadas, sino que la tecnología debe adaptarse a nuestra necesidades y capacidades (Norman, 2014). El problema es que para muchos ingenieros y, en general, tecnólogos que tradicionalmente diseñaban

las tecnologías, los sistemas son inherentemente claros –quizá porque ellos los diseñaron y los entienden a perfección, pero para un usuario no especializado las cosas son muy diferentes (Norman, 1999, 2013). Cualquiera que se haya quedado un largo rato tratando de definir si la conexión a Internet “se cayó”, o si la página web que queremos abrir “se bloqueó”, o si es el propio hardware el que tiene problemas, reconocerá la frustración que produce una tecnología poco usable. Y lo mismo se puede decir cuando, por problemas de diseño, cometemos errores graves que pudieron haberse evitado.

Uno de mis favoritos, al que he llamado el “síndrome de la invitación y el manazo”, ocurre con frecuencia en páginas web con formularios: el usuario llena los campos y ve, en la parte final, un botón para enviarlos. Lo activa y de inmediato aparece una ventana de diálogo que indica “Error: Usted debe llenar *todos* los campos.” Al cerrar dicha ventana, aparece el formulario vacío, porque el sistema “refrescó” la página, de forma tal que perdemos los datos que ya habíamos escrito. Este es un error de diseño doble. Primero, la página no debería desplegar el botón de “enviar” hasta detectar que todos los campos han sido debidamente llenados (es la “invitación” que, al ser aceptada ingenuamente por el usuario, resulta en un castigo o “manazo”, pues el sistema borra los datos que *sí* estaban correctos. Segundo, el sistema podría fácilmente decir qué campos son los que están mal llenados o incompletos, lo que promovería que se llenen correctamente la primera vez. En situaciones como esa, el responsable de la falla no es el usuario, sino el diseñador del sistema, quien muestra poco interés en la usabilidad. Los peores ejemplos son los sistemas bancarios, en donde un error de ese tipo se puede traducir en pérdidas económicamente costosas.

Hay otro grupo de especialistas quienes, a partir de una noble intención, también generan problemas; me refiero a los diseñadores gráficos. Cuando se generalizó la llamada interfaz gráfica y las pantallas dejaron de ser solamente un texto blanco (o amarillo) sobre un fondo negro (o verde) y fue posible incorporar elementos gráficos, algunos diseñadores determinaron que diseñar dichas pantallas era un

asunto *artístico*. Así, no es raro ver pantallas prácticamente ilegibles porque detrás del texto hay una textura gráfica interesantísima desde el punto visual, pero que olvida que el propósito del texto en una pantalla es poder ser leído, no el destacar las habilidades artísticas del diseñador gráfico. El problema es uno de interacción, no de talento artístico.

La interacción⁵ puede definirse como “la acción recíproca entre dos agentes” (Gándara, en prensa). En el caso de la interacción digital, a la que yo prefiero llamar “interactividad”, uno de esos agentes está representado en la interfaz –es decir, en el conjunto de dispositivos y representaciones que permiten usar la funcionalidad de un sistema.

En sentido estricto, la interfaz se construye con los llamados *widgets* o “trebejos” que constituyen los elementos de este lenguaje: los botones, los menús, las ventanas, las ligas, las cajas para introducir texto, etc. Los dispositivos en sí serían los mecanismos de entrada y salida del sistema; en un iPhone, los de entrada son la pantalla sensible al tacto y el giroscopio que registra el movimiento del dispositivo, así como los botones central y laterales, el micrófono y la entrada del conector *Lightning*. Las salidas serían la propia pantalla sensible al tacto (que ahora presenta el contenido y los resultados de la acción), la vibración, la bocina interna y la salida de audio. En una computadora tradicional, cuya pantalla no es sensible al tacto y, por lo mismo, es sólo un dispositivo de salida, los principales dispositivos de entrada incluirían al teclado y al ratón o, en su caso, la palanca de control (*joystick*), además de los conectores y el micrófono interno.

Crawford, uno de los principales teóricos de la interactividad, la define como: “... un proceso cíclico en el que dos actores de manera alternada escuchan, piensan y hablan (...). Estoy usando aquí los términos actor, escuchar, pensar y hablar metafóricamente, aunque los términos son literales en la forma más comúnmente experimentada de la interactividad, es decir la conversación” (Crawford, 2003:5).

⁵ Interacción: “Acción que se ejerce recíprocamente entre dos o más objetos, agentes, fuerzas, funciones, etc.” (<http://buscon.rae.es/drae/> [consultado marzo 15, 2012]).

Aunque Crawford usa los términos “oye, procesa, habla” metafóricamente, en un iPhone estos operan en sentido *casi* literal. Siri, el agente de inteligencia artificial del sistema operativo iOS “oye” por el micrófono del teléfono, un algoritmo procesa lo que se dijo y selecciona qué contestar vía voz artificial a través de la bocina interna. También es por eso correcto decir que la interfaz de dispositivos de este tipo ya no es solamente gráfica, como la que introdujo Macintosh de Apple en 1984 –y antes de ella, en su fallida Lisa, inspirada en un diseño previo, original de Xerox- es auténticamente *multimodal* o mixta.

El diseño de interactividad determina, entonces, el diseño de la interfaz (sea gráfica o, como en el iPhone, mixta). Y éste, a su vez, determina la usabilidad. Por lo mismo, quien diseña una interfaz no solamente está representando gráficamente la funcionalidad de un sistema; está plasmando el diseño de interactividad, que va más allá del diseño gráfico y eso tiene un efecto directo sobre la usabilidad. Dado que hasta hace poco tiempo no se entrenaba a los diseñadores gráficos en diseño de interactividad, algunos cometían muchos errores involuntarios en este campo y defendían sus creaciones con un orgullo falsamente herido. Afortunadamente, esta situación se ha ido corrigiendo, y ahora entendemos todos que se trata de un trabajo interdisciplinario en el que varios especialistas, entre ellos el diseñador de interactividad⁶, deben participar.

Cuando doy conferencias sobre esta temática, trato de clarificar este punto con un ejemplo de interacción con uno de los primeros cajeros automáticos que hubo en México, hace ya más de 20 años y que realza que el problema central no es ni uno de tecnología ni de diseño gráfico, sino de diseño de la interacción –es decir, de la manera en que está previsto que el usuario interactúe con la tecnología.

Cuando yo insertaba mi tarjeta, aparecía un letrero “Bienvenido a Ban... ¿Quiere Ud. usar el cajero?”. Yo pensé para mí: “No, nada más vine a ver

si está funcionando” -¡Claro que quiero usar el cajero! Oprímí un botón lateral para continuar. Me pidió mi número secreto. Lo puse. Desplegó un menú: “Seleccione la operación deseada”. Yo seleccioné “retirar efectivo”. Salió un signo de alerta y un nuevo letrero “Le recordamos que Ban.... ya no cobra comisión por retirar con su tarjeta de débito. ¿Desea continuar?” ¿Para qué me preguntan eso? Suponen que voy a contestar “¡No, yo demando que me cobren comisión!” ¡Claro que quiero continuar, a eso vine, a retirar dinero y si ahora no me cobran comisión, pues qué mejor! Seleccioné “Continuar”. Me presentó una lista de cantidades a retirar. Ninguna coincidía con la que quiero. Selecciono: “Otra cantidad” y escribo “1,250”: “Bong” contesta el cajero, con un aterrador sonido grave: “Error: debe ser en múltiples de 100 pesos”. ¿Por qué me deja escribir entonces 1,250? (¡Como verán, invitación y manazo!). Corrijo: “1,200”: “Bong” “Error. Por el momento no contamos con efectivo. ¿Quiere continuar?” ¡Continuar haciendo qué, si vine a retirar efectivo y no se puede...!

Como se verá, en ningún momento mencioné el diseño gráfico, que es totalmente irrelevante al problema. El problema es uno de diseño de interacción. Tampoco es un problema de tecnología, dado que el cajero tiene un sensor que le permite determinar que no tiene efectivo (de otra manera no me contestaría lo que me contestó). El problema tiene que ver con la secuencia de la interacción y la manera en que el sistema reacciona. Un sistema bien diseñado, al detectar que se ha quedado sin efectivo, pondría en la pantalla principal un letrero en movimiento: “Lo sentimos, por el momento no contamos con efectivo”. Eso evitaría que los usuarios perdieran tiempo insertando su tarjeta, poniendo su clave, etc., dado que su meta era precisamente retirar efectivo. Lo que falla aquí es, entonces, el diseño de interacción, no el diseño gráfico.

De hecho, la disciplina conocida como Diseño de interacción humano-computadora (en inglés *Computer-Human Interaction Design*, cuyo centro era el diseño de interfaces gráficas, evolucionó durante el final del siglo XX hacia el Diseño de inte-

⁶ En ocasiones uso indistintamente “interactividad” e “interacción”. En sentido estricto, deberíamos usar “interactividad” para describir la que se da entre un usuario y la tecnología; pero este uso no se ha generalizado, por lo que se sigue empleando, por ejemplo, el concepto de “diseño de interacción”, para referirse al “diseño de interactividad”.

racción (*IxD*)⁷ y luego hacia algo mucho más amplio, que hoy se conoce como Diseño de la experiencia de uso (*User Experience Design, UXD*, o simplemente *UX*)⁸ para dar cuenta que un usuario no interactúa solamente con el sistema, sino con lo que se llama “el producto total”, que incluye el empaque, la documentación, los accesorios y, en general, cualquier elemento que puede afectar esa experiencia de interacción. En algunas ocasiones, uno de estos elementos es ni más ni menos que el contexto; es muy difícil interactuar con un teléfono inteligente en medio de un sitio arqueológico mexicano a medio día, en plena luz del sol, lo que resulta en una experiencia de uso frustrante o de uso nulo, como cuando un usuario prefiere no emplear la app para conservar su batería.

Recapitulando, la usabilidad la determina el diseño de interfaz que depende del diseño de interacción y éste, a su vez, depende del diseño integral de la experiencia de uso, la cual incluye elementos como el empaque, la documentación y el contexto de uso promedio.

Si queremos mejorar la usabilidad de las *apps* para divulgar el patrimonio cultural, debemos empezar por cambiar la lógica y la metodología con las que las diseñamos. Una excelente opción es el “diseño orientado a metas”, enfoque propuesto por Alan Cooper, el desarrollador del conocido lenguaje Visual Basic: (Cooper y Cronin, 2007). Cooper muestra cómo, al confundir la codificación con el desarrollo de software, los ingenieros normalmente se concentran en las tareas que un sistema tendrá que facilitar, pero olvidan que estas tareas tienen sentido en el contexto de las metas del usuario. Para ello, propone una serie de etapas de las que mencionaré solamente una, la del modelaje. Antes de escribir una sola línea de código, es necesario hacer un modelo del usuario al que estará destinado el sistema. Además, debe especificarse el contexto y secuencia de uso del mismo. Eso se logra mediante la creación de *personajes* (en el sentido latino de personajes), es decir,

⁷ <http://ixda.org/ixda-global/about-history/>, consultado en diciembre de 2018.

⁸ <https://www.uxbooth.com/articles/complete-beginners-guide-to-interaction-design/>, en diciembre de 2018.

definimos un usuario típico (el personaje), al que le damos nombre y otras características realistas y lo ubicamos en lo que se llama “escenario contextual”: un escenario típico de uso, concebido como “un día en la vida” de este personaje, el cual busca satisfacer sus metas. Este tipo de análisis, combinado con el de “artefactos” (un modelo para definir qué otros periféricos, insumos o requerimientos tecnológicos se necesita satisfacer para un uso exitoso y en qué contextos deben aplicarse), permiten prever el fracaso de una *app* ante la brillantez del sol en el sitio arqueológico en el que se utilizará. No podemos hacer justicia en un texto tan breve como éste a la metodología de Cooper, cuyo libro *About Face 3.0* (Cooper y Cronin, 2007.), definitivamente recomiendo como punto de partida para un desarrollo realmente centrado en los usuarios y que tiene a la usabilidad como su parámetro principal.⁹

CÓMO SE EVALÚA LA USABILIDAD

El diseño de interfaz ha sido estudiado desde diferentes perspectivas teóricas entre las que se cuentan la ciencia cognitiva, la teoría de la comunicación, la teoría Gestalt e incluso la teoría de la actividad de Vigotski (1982), retomada por autores como Nardi (1996)¹⁰. A partir de ellas se han derivado importantes principios y lineamientos de diseño. La evaluación consiste entonces en determinar hasta dónde esos principios y lineamientos han sido respetados en el desarrollo de la tecnología.

Un ejemplo de principio, derivado en este caso de la ciencia cognitiva, es el siguiente: “la consistencia favorece la predictibilidad y la creación de un adecuado modelo mental de la aplicación por parte del usuario”. La consistencia se logra, por ejemplo, manteniendo estable la apariencia de elementos

⁹ Curiosamente, mucho del enfoque de Cooper está en deuda con la etnografía, lo cual demuestra que ¡la antropología sí sirve! Por su parte, Holtzblatt y Beyer (2017) proponen el “diseño contextual” basado en observaciones directas de los usuarios en contextos “naturales” de uso, más que en situaciones experimentales como las que referiré más adelante.

¹⁰ En Gándara (2001) se puede consultar una lista de las teorías que incidían en el diseño para ese momento y que, en general, siguen siendo las más importantes. En el capítulo 5, se incluye una de nuestra propia autoría, la de la interfaz como lenguaje de la interacción . Véase también (Carroll, 2003).

que permiten manipular la interfaz. De ahí surge un lineamiento: "a objetos iguales, apariencia y funcionalidad iguales". Entonces, si un área resaltada, delimitada con un borde y con una apariencia de tridimensionalidad (mediante una leve sombra) representa un botón en una parte de la interfaz, esa apariencia (y funcionalidad) debe mantenerse en otras partes de la interfaz.

Esta es precisamente una de las razones por las que la llamada "interfaz plana"¹¹ u "oculta" resulta tan frustrante; en ese tipo de interfaz, los botones permanecen ocultos y sólo se revelan cuando pasamos el cursor sobre el área de la pantalla ocupada por dichos elementos. Al no haber otra indicación visible, el usuario ya no sabe cuándo debe hacer clic sobre una imagen y cuando no, por lo cual se ve forzado a desplazar el puntero por toda la pantalla para descubrir las áreas sensibles¹². Por desgracia, Apple Computer, una de las empresas que dedican mayores esfuerzos a mejorar la usabilidad, se ha vuelto la más activa en popularizar la interfaz plana, en la que ya no es factible determinar a primera vista dónde existe un botón; a veces, un letrero funciona como botón, pero a veces no; en ocasiones una foto contiene un vínculo para navegar a otra parte del sitio, pero a veces no. Esta inestabilidad genera confusión y frustración y destruye la predictibilidad de la interfaz. Aunque quizás mantener al usuario tenso y en la orilla de su asiento pueda tener sentido en un videojuego de combate, en donde la libre exploración y el descubrimiento son inherentes, esto resulta totalmente inadecuado en aplicaciones de otro tipo.

Entonces, también el mercado, a través de la oferta, afecta lo que se considera normal y autoevidente. Es decir, se generan convenciones que ya no necesariamente derivan de una teoría, sino de la intención de tener un diferenciador de productos en el mercado. Y ahí, el ser diferentes e impredecibles es precisamente el objetivo.

Así, en la actualidad dos fuerzas determinan el diseño de la tecnología: por un lado, la teorización de varias disciplinas (principios y lineamientos); y, por otro, las convenciones que el mercado dicta. Además, ha surgido de la combinación de ambas una tercera opción, la del diseño apoyado en patrones, que busca introducir un mínimo de predictibilidad en las interfaces. El mejor ejemplo son los programas de correos que, independientemente del fabricante, reconocen normalmente un patrón de diseño ampliamente aceptado: la pantalla se divide en dos paneles o ventanas; la de la izquierda tiene buzones o carpetas en las que se agrupan los correos; la de la derecha la lista de mensajes de esa carpeta. Un clic sobre el mensaje despliega su contenido, como sucede en Gmail.

Así, la usabilidad dependerá, por un lado, del grado al que la interfaz se ciña a los principios y lineamientos teóricos, y por otro, al grado en que se apegue a las convenciones impuestas por el mercado. Estos son los dos criterios que guían la evaluación. Los estándares de la industria se plasman en documentos cuya lectura es indispensable, los llamados "lineamientos de diseño de interfaz" que especifican la apariencia y tamaño de los elementos gráficos, así como conductas de los widgets interactivos. Un buen ejemplo es, paradójicamente, el de la propia Apple Computer que desde hace más de 20 años los publica (Apple Computer, 1992), asegurándose de que las aplicaciones que correrán en alguna de sus plataformas (MacOS, iOS y WatchOS) se ajusten a las convenciones ahí establecidas¹³.

Ya en términos prácticos, se puede dividir la evaluación de la usabilidad en tres grandes tipos: (a) la de observación de usuarios en condiciones experimentales controladas; (b) la de observación de usuarios en contextos "naturales" (oficinas, escuelas, etc.); y (c) la evaluación experta –en donde una persona que domina los lineamientos y convenciones coteja que una aplicación los cumpla satisfactoriamente (Snyder, 2011).

¹¹ <https://uxdesign.cc/the-worlds-gone-flat-evolutions-in-interface-design-cb7ddd295f54>, consultado en diciembre de 2018.

¹² <https://www.nngroup.com/articles/flat-design/>, consultado en diciembre de 2018.

¹³ <https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/> [Consultado en diciembre de 2018]. Hay también manuales de terceros que facilitan la aplicación de los lineamientos para el diseño de aplicaciones móviles, véase por ejemplo Banga (2011).

Cada uno de estos grandes tipos tiene muchas variantes. Por ejemplo, para la evaluación experimental, la más sofisticada requiere una instalación especial con una "cámara de Gessell"-un vidrio que en uno de sus lados es un espejo, pero del otro es translúcido, desde la cual los observadores registran desde los comentarios del usuario; y en ocasiones rastreador óptico que registra la posición de su retina; al tiempo que un software especializado graba cada movimiento del ratón o uso del teclado y genera un video que graba lo que ocurre en la pantalla. Un facilitador acompaña al usuario, con la consigna de no ayudarle, pero que puede obtener información adicional sobre las dificultades que éste experimente. Al usuario se le asigna una tarea y la evaluación consistirá en determinar el grado al que pudo cumplir la tarea en un tiempo razonable, sin errores ni angustia. Estos estudios son los más caros y generalmente lo usan sólo las grandes empresas cuando hay dudas sobre cuál de dos opciones de interfaz es la mejor¹⁴.

La evaluación mediante pruebas de usuarios no experimentales también tiene un rango amplio, desde las pruebas que se hacen con prototipos en papel (Snyder, 2011), hasta las que se hacen mediante simuladores o versiones funcionales del software. Una de las primeras variantes la propuso Bruce "Tog" Tognazzini (1992), mediante pruebas de bajo costo con usuarios ("user testing on the cheap"), las cuales son el extremo opuesto al de laboratorios especializados que acabamos de comentar, en los que los usuarios son estadísticamente representativos de sus respectivas poblaciones. Tognazzini mostró que aún una prueba de bajo costo, aunque no sea estadísticamente representativa, que sólo requiere un prototipo y un par de observadores (uno que facilita y otro que registra –que incluso pueden combinarse en una sola persona, en situaciones precarias), es mucho mejor que no tener evidencia directa del uso con usuarios reales. Esto permite dirimir las intermi-

¹⁴ En México, uno de los primeros laboratorios de este tipo lo fundó la UNAM, gracias a las gestiones del Dr. Fernando Gamboa, del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología: <http://www.icat.unam.mx/secciones/depar/sub4/seint/semb/FGR.html> [Consultado en diciembre de 2018].

nables discusiones en el equipo de diseño sobre qué opción es más clara o de más fácil uso: es preferible observar a un usuario real en un contexto lo más realista posible y llegar a conclusiones.

El tercer grupo de técnicas requiere de expertos que dominen tanto la teoría como las convenciones de diseño. El tipo más popular es el que introdujo Jacob Nielsen y que se conoce como "Las 10 heurísticas de Nielsen" (Nielsen 1994)¹⁵. Estas heurísticas son situaciones deseables, cuya presencia o ausencia se anota en un protocolo de observación. En cierto sentido, ese análisis es heredero de las primeras pruebas de usabilidad, realizadas en la década de 1980, que son más bien pruebas de satisfacción del uso, como la prueba "SUS", popularizada por John Brooke¹⁶ y que se sigue aplicando como una primera aproximación. El enfoque de Nielsen está basado en una escala Likert con dos extremos simétricos y permite una valoración rápida de la usabilidad. No es de tipo diagnóstico, pues no dice a qué se deben las calificaciones altas o bajas en los 10 reactivos que conforman la prueba; simplemente les asigna un valor numérico. Aún así, las Heurísticas de Nielsen¹⁷ ofrecen pistas más claras sobre los errores a corregir¹⁸.

Nosotros hemos desarrollado otra forma de evaluación experta, a la que llamamos "caminata cognitiva inversa", porque sigue la ruta opuesta a la de una prueba con usuarios llamada "caminata cognitiva". En ella (la caminata cognitiva), se le da una instrucción a la usuaria y se le pide que vaya comentando cómo es que piensa cumplir dicha instrucción operando la interfaz. El observador anota los puntos en los que tiene dificultad o en los que se equivoca más fácilmente; además, trata de entender si la usuaria desarrolla un modelo mental

¹⁵ <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/> [Consultado en diciembre de 2018].

¹⁶ <https://www.usability.gov/how-to-and-tools/methods/system-usability-scale.html>, consultado en diciembre de 2018.

¹⁷ <http://www.nngroup.com/articles/summary-of-usability-inspection-methods/>, consultado el 20 de Diciembre de 2018.

¹⁸ Nosotros desarrollamos un "protocolo rápido de usabilidad", también heurístico, de sitios web, con intención de apoyar los cursos de cómputo educativo que impartimos durante muchos años en el Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (ILCE). Dicho protocolo está disponible en Research Gate https://www.researchgate.net/profile/Manuel_Gandara2/publications [Consultado en Diciembre de 2018].

equivocado de la operación del sistema. En nuestra propia técnica (caminata inversa), más que asignar una tarea a un usuario, es el propio experto el que analiza todas las acciones posibles en la interfaz a partir de un número finito, razonable, de combinaciones, para detectar errores de diseño o instrumentación que provoquen problemas potenciales o errores por parte del usuario (Gándara, s.f.). Los errores se ponderan en una escala derivada de Nielsen, de 1 a 4, en donde 4 es un error severo, que debe de corregirse de inmediato y 1 es un error casi cosmético, que puede corregirse más tarde.

Algunos de esos errores son el equivalente a los errores de “ortografía” de un lenguaje natural: la interfaz, como cualquier lenguaje, tiene no solamente léxico, sintaxis y semántica, sino también pragmática (lo que coloquialmente conocemos como prosodia y ortografía); es decir, las reglas de buen uso de la lengua. Una “regla de ortografía” en interfaz que se había cumplido respetuosamente hasta que el desarrollo para Web acercó la computadora a usuarios y desarrolladores poco sofisticados, es la que establece que, en una operación de selección entre opciones mutuamente excluyentes, la grafía correcta es un “botón de radio”. Cuando más de una opción puede seleccionarse (es decir, no son mutuamente excluyentes), la grafía correcta es la de “caja de selección múltiple”. Hoy día es común ver botones de radio en selecciones no excluyentes, lo que constituye un error grave de “ortografía de interfaz”, un problema nivel 4 -que sería el equivalente a un texto en un lenguaje natural en el que se ha cometido un error ortográfico. Afortunadamente, hoy día existen herramientas que orientan al desarrollador, ofreciéndole los *widgets* correctos de acuerdo al contexto¹⁹. Pero aun así se cometen errores. Y claro, el que paga la cuenta es el usuario final.

ALGUNAS REFLEXIONES FINALES SOBRE CÓMO PODEMOS MEJORAR LA USABILIDAD

Si he tenido éxito, a estas alturas los y las lectoras

están al menos considerando viable el argumento de que la usabilidad es importante. Si nuestra intención es acercar a la ciudadanía al patrimonio y nuestra herramienta será una *app* para algún dispositivo móvil, por ejemplo, entonces más vale que le evitemos a las usuarias la “doble tarea” a la que se refería Shneiderman (1998): la tarea de interés es aprender sobre el patrimonio para disfrutarlo más, no la de tener que aprender primero una interfaz poco clara

En consecuencia, quizás podemos listar algunas sugerencias para mejorar la usabilidad. Éstas, junto con la idea de que divulgar no solamente es un asunto de tecnología, sino también de estrategia de comunicación (los valores patrimoniales no son autoevidentes), pueden ayudarnos a cumplir mejor nuestros objetivos. En términos de usabilidad, lo que recomendaría es:

1. Profundizar en el conocimiento del diseño de experiencias de uso, diseño de interacción y diseño de interfaz. Además de los clásicos, como el del propio Shneiderman (1998) hoy día existe una buena gama de literatura con diferentes niveles de complejidad técnica. Un libro eficaz (y muy divertido) que permite lograr una comprensión rápida de algunos de los problemas centrales es el de Krug (2015), el cual se encuentra traducido al español. Un tratamiento más académico, inserto en una discusión de las nuevas tecnologías en el contexto de los museos y sitios patrimoniales (Gándara 2001), introduce muchos de las teorías y conceptos relevantes, así como un resumen de lineamientos derivados de estas teorías. Hoy hay una pléthora de recursos en Internet, muchos de ellos gratuitos, de los que los sitios citados aquí son buenos ejemplos²⁰.
2. Consultar y adherirse a los lineamientos de interfaz de la plataforma para la cual planean desarrollar la aplicación. En términos de dispositivos móviles, las opciones principales parecerían ser dos: (a) las variantes de Apple ya

¹⁹ En este sitio se reseñan cinco herramientas gratuitas de este tipo: <https://uxplanet.org/5-free-quick-wireframe-tools-for-ui-ux-designers-in-2017-189e6a594fd> [Consultado en diciembre de 2018].

²⁰ Un sitio sorprendentemente bueno es el oficial del Gobierno de Estados Unidos sobre cuestiones de usabilidad: <https://www.usability.gov> [Consultado en diciembre de 2018].

- mencionadas (ver, por ejemplo, Banga 2011) y (b) las diferentes versiones de Android. Con el anuncio de que Microsoft ya no dará soporte a su propio sistema operativo para teléfonos, la tercera opción que dicha compañía ofrece seguramente desaparecerá eventualmente del mercado²¹.
3. Familiarizarse con el diseño orientado a metas de Alan Cooper (1995), ya mencionado, así como ojear las propuestas de diseño contextual de Holtzblatt y su equipo (Holtzblatt y Beyer 2017); aprender un poco sobre otras metodologías de ingeniería de software, para ver que desarrollar no es algo que se hace simplemente con intuición y buenas intenciones.
 4. Consultar regularmente revistas especializadas como *Interactions*²², en donde el diseño de interacción se presenta en un contexto mucho más amplio, tanto tecnológico como social, y se discuten los últimos avances en el campo.
 5. Ésta es quizá la recomendación más importante: Recordar que *todos somos usuarios*. Y que, así como en el mundo de la museología los enfoques centrados en los públicos han permitido mejorar considerablemente nuestro trabajo, centrarnos en los usuarios mejorará nuestras *apps*. En el software destinado para facilitar el disfrute y la comprensión del patrimonio estos dos personajes se combinan: *nuestros usuarios son nuestros públicos*, los receptores de nuestros esfuerzos de divulgación. Sin ellos, dichos esfuerzos pierden sentido. Si los mantenemos siempre presentes, podremos servirles mejor.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a CONACYT su apoyo, tanto a través del SNI como para la Red Temática CONACYT-INAH “Tecnologías digitales para la difusión del patrimonio”, así como al INAH su patrocinio para el Proyecto “Nuevas estrategias y nuevas tecnologías para la divulgación del patrimonio arqueológico”. También al Dr. Diego Jiménez, por su invitación a colaborar con este libro y su paciencia y pericia como editor.

²¹ <https://www.theverge.com/2017/10/9/16446280/microsoft-finally-admits-windows-phone-is-dead>, consultado en diciembre de 2018.

²² <http://interactions.acm.org/>, consultado en diciembre de 2018.

REFERENCIAS

- Apple Computer, I. 1992. *Macintosh human interface guidelines*. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co.
- Banga, C. 2011. *iPhone user interface cookbook: a concise dissection of Apple's iOS user interface design principles*. Birmingham: Packt Pub.
- Beck, L., y Cable, T. 2010. *Interpretive perspectives: A collection of essays on interpreting nature and culture*. Fort Collins, CO: National Association for Interpretation.
- Carroll, J. M. 2003. *HCI models, theories, and frameworks toward a multidisciplinary science*. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann.
- Cooper, A. 1995. *About face: the essentials of user interface design*. Foster City, CA: IDG Books Worldwide.
- Cooper, A., y Cronin, D. 2007. *About face 3: the essentials of interaction design*. Indianapolis, IN: Wiley Pub.
- Crawford, Ch. (2003). *The Art of Interactive Design: A euphonious and illuminating guide to building successful software*. San Francisco: No Starch Press.
- Dix, A., Finlay, J. E., Abowd, G. D., y Beale, R. (2003). *Human-Computer Interaction (3 edition)*. New York: Pearson.
- Gándara, M. (en prensa). ¿Existe realmente una museografía interactiva? En L. F. F. Rico Mansard (Ed.), *Memorias del Seminario de Investigación en Museos*, vol. 3 Ciudad de México: UNAM.
- Gándara, M. 2001. *Aspectos sociales de la interfaz con el usuario. Una aplicación en museos*. Tesis de Doctorado, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México.
- Gándara, M. 2015. Difundir o divulgar: he ahí el dilema. En D. Jiménez-Badillo y M. Gándara Vázquez (Eds.), *El patrimonio y las tecnologías digitales. Experiencias recientes desde México*, pp. 56-69. Ciudad de México: INAH.
- Gándara, M. 2018. La divulgación significativa como estrategia de comunicación educativa. *ETD - Educação Temática Digital*, v.20 n.3 p. 662-679
- Gándara, M. (s. f.). Hacia una tecnología educativa usable: La labor pionera del ILCE, en Gándara (Ed.). *En el principio: el inicio de los multimedios en educación* (p. S/p). Cuernavaca: UNIJOVA.
- Gándara, M., y Pérez, L. (s. f.). Metodología para el diagnóstico de la comunicación en sitios arqueológicos y museos: un enfoque integral. *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología*, en prensa.
- Ham, S. H. 1992. *Environmental interpretation: a practical guide for people with big ideas and small budgets*. Golden, CO.: North American Press.
- Ham, S. H. (2013). *Interpretation: making a difference on purpose*. Golden, CO.: Fullcrum.
- Holtzblatt, K., y Beyer, H. 2017. *Contextual Design: design for life*. Amsterdam: Morgan Kaufmann.
- Knudson, D. M., Cable, T. T., y Beck, L. (1995). *Interpretation of cultural and natural resources*. State College: Venture.
- Krug, S. 2015. *No me hagas pensar, actualización: una aproximación a la usabilidad en la Web y los móviles*. Madrid: Anaya Multimedia.
- Nardi, Bonnie 1996. "Activity theory basics". En Nardi, Bonnie, ed., 1996. *Activity Theory and Human-Computer Interaction*. Cambridge: MIT Press:1-6.
- Nielsen, J. 1993. *Usability engineering*. Boston: Academic Press.
- Nielsen, J. 1994. "10 Usability Heuristics for User Interface Design". Publicado en <https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>. Consultado en Diciembre de 2018
- Norman, D. A. 1999. *The invisible computer: why good products can fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Norman, D. A. 2013. *The design of everyday things*. New York: Basic Books.
- Norman, D. A. 2014. *Things that make us smart: defending human attributes in the age of the machine*. Redding: Allyson-Wesley.
- Shneiderman, B. 1998. *Designing the user interface: strategies for effective human-computer-interaction*. Reading, Mass: Addison Wesley Longman.
- Snyder, C. 2011. *Paper prototyping: the fast and easy way to design and refine user interfaces*. Amsterdam: Morgan Kaufmann.
- UXBooth. 2018. Complete beginner's guide to UX Research. Disponible en <https://www.uxbooth.com/articles/complete-beginners-guide-to-design-research/> [Consultado en diciembre de 2018].
- Tallon, L. 2008. Introduction: Mobil, digital, and personal. En L. Tallon y K. Walker (Eds.), *Digital technologies and the museum experience: Handheld guides and other media*, pp. xiii-xxv. Lanham: AltaMira Press.
- Tognazzini, B. 1992. *Tog on interface*. Reading, Mass.: Addison-Wesley.
- Vigostky, Liev (2005). *Pensamiento y lenguaje*. Barcelona: Paidós.

La aplicación de medios interactivos para el fortalecimiento de un santuario de origen precolonial en la Mixteca Alta de Oaxaca, México

Liana Ivette Jiménez Osorio, Emmanuel Posselt Santoyo

UNIVERSIDAD DE LEIDEN, PAÍSES BAJOS

Eruvid Cortés Camacho

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA, OAXACA, MÉXICO

Resumen: En este artículo se presenta un estudio interdisciplinario que combina las ciencias Antropológicas con las ciencias del diseño con el objetivo de fortalecer el acercamiento a un paisaje sagrado de Nuu Savi (i.e. el Pueblo Mixteco) a través de la implementación de medios interactivos. El caso de estudio incluye 1) la recreación¹ virtual de un santuario de origen precolonial en el Cerro de Pedimento, ubicado en la Mixteca Alta de Oaxaca y 2) la propuesta de una interfaz gráfica para acceder a dicha recreación. Para la primera se resume la metodología de desarrollo aplicada, enfatizando nuestra intención de proyectar la esencia sagrada del lugar, tal como se vive en la actualidad. Con respecto a la creación de la interfaz, se señalan las cuestiones sociales y metodológicas que se tomaron en cuenta para implementarla, resaltando el rol del usuario. Ambos aspectos incorporan los resultados de una investigación de carácter antropológico y arqueológico. Finalmente, con este estudio queremos mostrar que desde la academia se pueden generar propuestas creativas encaminadas al fortalecimiento de la cultura para poblaciones poco atendidas, como los Pueblos Indígenas.

Palabras clave: mixteca alta; herencia viva; recreación virtual; medios interactivos

Abstract: In this article we present an interdisciplinary study that combines anthropological and design sciences with the goal of strengthening a sacred landscape from Nuu Savi (Mixtec people) through the implementation of interactive media. The case study that is developed includes 1) the virtual recreation and 2) the proposal of a graphic interface of a sanctuary of precolonial origin on the hill named “Cerro de Pedimento”, which is located in the Highland Mixtec of Oaxaca. For the first one, it is mentioned, in a summarized way, the methodology used to create it, being a relevant point to project the sacred essence of the place today. For the second one, the social and methodological issues that were taken into account for its creation are highlighted, in which the role of the user is emphasized. In both works the results of an anthropological and archaeological research are incorporated. Finally, with this study we want to show that from the academy it is possible to generate creative proposals aimed at strengthening culture for marginalized populations, such as Indigenous Peoples.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo es resultado del interés de los autores por la arqueología, los medios interactivos aplicados a sitios arqueológicos y, más importante aún, por la herencia viva de las comunidades mixtecas, de las cuales nos consideramos parte, luego de haber trabajado y aprendido de ellas durante varios años.

El proyecto se nutre de un diálogo interdisciplinario entre profesionistas en arqueología, antropología, ingeniería en diseño y diseño industrial y tiene como objetivo principal el fortale-

¹ Retomando *Los Principios de Sevilla, Principios Internacionales de la Arqueología Virtual* la recreación virtual es el intento de recuperación visual, a partir de un modelo virtual, del pasado en un monumento determinado de un sitio arqueológico, incluyendo cultura material (patrimonio mueble e inmueble), entorno, paisaje, usos, y en general significación cultural (Forum Internacional de Arqueología Virtual, 2012).

cimiento de los paisajes sagrados e históricos de Pueblos Indígenas² y poblaciones vulnerables a través de la implementación de medios interactivos³. Como parte del proyecto, proponemos y aplicamos una metodología incluyente, en donde las diferentes voces, valores y significados de los paisajes son incorporados a la creación de trabajos digitales para su divulgación y difusión⁴.

El caso de estudio consiste en la recreación y recorrido virtuales⁵ del santuario del Cerro de Pedimento, ubicado en la Mixteca Alta de Oaxaca, el cual forma parte de las comunidades de Santa Catalina Yoso Notu y de San Miguel el Grande, así como una propuesta de interfaz gráfica para acceder a la reconstrucción virtual (Figura 1).

² Aquí utilizamos el término Pueblos Indígenas de acuerdo a la *Declaración sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas* (Organización de las Naciones Unidas, 2007), la cual se refiere a la condición de desigualdad, opresión, rezago y discriminación experimentada por muchas comunidades como resultado del proceso de colonización.

³ Además del trabajo descrito en este artículo se han realizado: (a) un documental titulado *Hacia una práctica multivocal en arqueología* (Jiménez, Quiroz y Posselt, 2018) y (b) la reconstrucción virtual e impresión 3D del sitio arqueológico de *Yuku Chaya* (Jiménez, 2018), ambos derivados de estudios en la Mixteca Alta.

⁴ Empleamos el término “divulgación” para referirnos a la disseminación de conocimiento al gran público, el cual tiene como fin último la conservación del patrimonio, mientras que con “difusión” nos referimos al conocimiento dirigido al medio académico. Para una discusión más detallada de dicha distinción, véase Gándara (2016).

⁵ Término que retomamos de los *Principios de Sevilla* (Forum Internacional de Arqueología Virtual, 2012).

La región de la Mixteca contiene algunos centros urbanos y comunidades pequeñas en donde se habla el mixteco o *saha savi* (i.e. lengua de la lluvia) y/o el español. Sus habitantes se autodenominan mixtecos o miembros del *Ñuu Savi*, el Pueblo de la Lluvia. La mayoría de estas comunidades son de escasos recursos y carecen de los servicios básicos que debería proporcionar el Estado. En relación a nuestro quehacer, podemos agregar que no hay apoyo para documentar, fomentar y dar a conocer de manera creativa la herencia viva de estas comunidades.

Por ejemplo, en el caso que nos ocupa hay un desconocimiento, por parte de los pobladores y peregrinos, sobre la importancia, conformación y apariencia de este santuario en el pasado, lo cual genera un desapego a la historia precolonial. Por otro lado, las nuevas tecnologías no se ponen al alcance de este tipo de comunidades.

Para ayudar a resolver esa situación, el objetivo del presente artículo es demostrar que desde la academia pueden generarse propuestas creativas para transmitir conocimientos y fomentar mayor interés en la herencia viva, sobre todo en aquellos lugares adonde estas alternativas no llegan fácilmente. Por otro lado, consideramos que los trabajos de este tipo no deben de enfocarse necesariamente a un sitio arqueológico abierto al público o a zonas monumen-

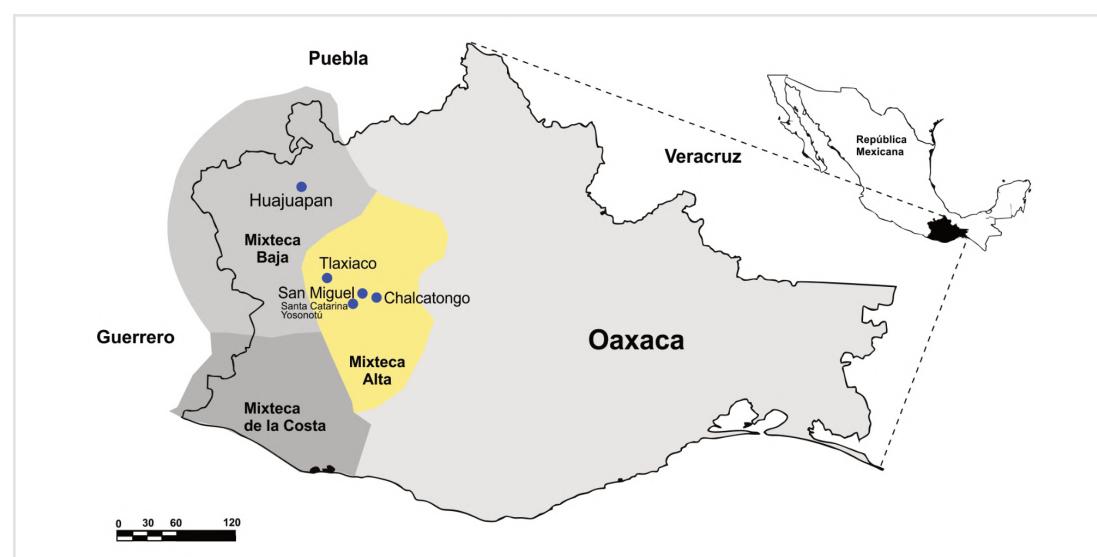


Figura 1. Región de la Mixteca, con la ubicación de las poblaciones mencionadas en el texto.

tales; ni debemos permitir que las condiciones sociales de las comunidades indígenas se conviertan en una limitante para aplicar las nuevas tecnologías.

Al respecto, pensamos que la Arqueología tiene muchos horizontes por revelar en el ámbito de las Tecnologías Digitales, como bien lo plantea y visualiza la RedTDPC (Jiménez-Badillo, 2016). Asimismo, en correspondencia con los objetivos que dicha red persigue, consideramos que nuestro trabajo constituye una iniciativa valiosa para la democratización y socialización del conocimiento.

Así, en la primera parte de este escrito mostraremos los resultados de las investigaciones recientes de carácter antropológico y arqueológico sobre el santuario del Cerro de Pedimento y área circundante. Posteriormente, hablaremos sobre los elementos que decidimos tomar en cuenta para lograr una reconstrucción virtual exitosa. Finalmente, señalamos los factores sociales y metodológicos que debieron tomarse en cuenta para crear una interfaz gráfica acorde al contexto cultural –pasado y presente- del santuario para lograr una experiencia del usuario realmente significativa.

2. EL CERRO DE PEDIMENTO: HERENCIA VIVA DE LA MIXTECA ALTA

Como mencionamos antes, la información que presentamos se desprende de una investigación que engloba trabajos antropológicos y arqueológicos. El estudio antropológico consistió en el seguimiento de las narrativas históricas y sagradas, así como de los rituales que se ligan con lugares y/o seres de origen precolonial. Ejemplo de estas narrativas es la fundación de la comunidad actual de San Miguel el Grande (Jiménez y Posselt, 2015) así como los nacimientos del Señor de la Columna (una imagen religiosa) en la comunidad de Yoso Notu (Jiménez y Posselt, 2018). En cuanto a los rituales, nos hemos enfocado en el de Petición de Lluvia⁶ (Jiménez y Posselt, 2016a) y en el de Pedimento.

El estudio arqueológico tuvo como objetivo delimitar y conocer la conformación de un *yuvui tayu* (reinado) de la Mixteca llamado Ñuu Ndaya (El

⁶ Los rituales de petición de lluvia se realizan comúnmente en cuevas, principalmente entre abril y junio, y son para pedir por una buena temporada de lluvias y por una cosecha abundante.

Pueblo de los Ancestros) o Chalcatongo.⁷ La importancia de dicho reinado es evidente por las menciones registradas en varios códices mixtecos. Para lograr la delimitación se realizó un recorrido de superficie en el área de San Miguel-Yoso Notu. Gracias a este esfuerzo, pudieron identificarse 73 sitios arqueológicos de diferentes temporalidades, desde el Preclásico Medio (700-400 a.C.) hasta el Posclásico (900-1521 d.C.) (Jiménez y Posselt 2016b). Cabe señalar que nuestro interés se centró en este último periodo. Como parte de este estudio se identificaron los elementos arquitectónicos así como la temporalidad del Cerro de Pedimento, santuario de origen precolonial que tratamos en este trabajo.

Así, conjuntando ambos estudios (el antropológico y el arqueológico), buscamos entender este sitio arqueológico no sólo a partir de sus elementos materiales sino integrando también las experiencias y conocimientos de los habitantes contemporáneos. El contexto histórico cultural de esta región fue idóneo para la realización de este proyecto desde la perspectiva de la multivocalidad, término propuesto en arqueología por Atalay (2018). Por el tema que aquí tratamos, a continuación hablaremos del Ritual de Pedimento y del sitio precolonial en el cerro del mismo nombre.

2.1. Ritual de Pedimento

En la Mixteca y en los Valles Centrales de Oaxaca existen varios santuarios de origen precolonial en donde se celebra el Ritual de Pedimento todos los viernes que comprenden el periodo de la Cuaresma. Cabe señalar que a cada lugar le corresponde un viernes. En el caso del Cerro de Pedimento la festividad es el Segundo Viernes y se conmemora al Señor de la Columna. Este santuario es de importancia regional, ya que lo visitan peregrinos procedentes en su mayoría de Pueblos Indígenas de los estados de Oaxaca, Puebla y Guerrero.

⁷ El recorrido de superficie fue financiado por el Proyecto "Time in Intercultural Context" dirigido por el Prof. Maarten E.R.G.N. Jansen, bajo el Séptimo Programa Marco de la Unión Europea (FP7/2007-2013) de subvención no. 295434 y por Leiden University Funds (LUF) bajo la subvención de Vivank.

Una característica de este ritual es que incluye la visita a varios sitios sagrados de la comunidad en donde se celebra, los cuales conforman una ruta de peregrinación. En *Yoso Notu* son cinco los lugares que se visitan el día de la celebración: la iglesia ubicada en el centro de la población, el paraje denominado Las Tres Cruces, el lugar nombrado *Yuu Yuchi* (Piedra Filosa que Corta), una capilla y el Cerro de Pedimento. Es necesario mencionar que estos lugares tienen evidencia precolonial y en cada uno se realiza un ritual específico que refuerza el pedimento general. Aquí únicamente nos referiremos al santuario en el Cerro de Pedimento.

2.2. El Cerro de Pedimento

Este cerro sagrado es de forma cónica, alcanza 2600 msnm y en su cima -así como en algunas laderas- tiene evidencia arqueológica. El ritual que ahí se realiza es precisamente la "construcción de pedimentos". Un pedimento es básicamente la materialización de los anhelos o aflicciones de los peregrinos, y generalmente se representan con pequeñas casas. En general, se trata de peticiones de vida, ya que se pide por salud, por el bienestar de familiares migrantes, por un buen temporal y cosecha, por cosas materiales, como un carro o una casa, y también se pide encontrar pareja o tener un bebé. Para su construcción se utilizan piedras, ramas, hojas, flores, piñas de pinos, así como objetos miniatura de plástico. El lugar más importante para la cele-

bración del ritual de pedimentos está indicado con una cruz de concreto, ubicada en el montículo que conforma el sitio arqueológico. Ahí se hacen las ofrendas y curaciones tradicionales antes de construir los pedimentos que se distribuyen por todo el sitio (Figura 2 y Figura 3).

Además de este ritual, el 3 de mayo, como parte de la celebración de la Santa Cruz, se realiza el Ritual de Petición de Lluvia en el Cerro de Pedimento. En esta ocasión se pide por un buen temporal y se bendicen las cruces de las agencias municipales, así como las que se destinan para otros santuarios naturales, denominados *Vehe Savi* (i.e. Casas del dios Lluvia). Este ritual, a diferencia de los pedimentos, congrega únicamente a la población de la comunidad de Santa Catarina *Yoso Notu*; esto debido a que es bastante difundido y relevante para todas las comunidades de la Mixteca Alta y cada una tiene su propia celebración.

2.3. Profundidad histórica del santuario

En el cerro sagrado de Pedimento se encuentra un asentamiento precolonial, el conjunto arquitectónico principal se ubica en la cima y está orientado hacia el sur. Éste se compone de una plaza con un altar al centro, en su lado sur hay una plataforma alargada que interpretamos como un portal, similar a los reportados para el sitio arqueológico de Monte Negro en la Mixteca Alta y para el sitio de Atzompa en Valles Centrales (Acosta y Romero, 1992; Geurds



Figura 2. El Cerro de Pedimento durante la celebración del Segundo Viernes



Figura 3. Celebración del Ritual de Pedimento en el montículo de origen precolonial, en cuyo centro puede distinguirse la cruz.

y Jansen, 2008; Kisjes, 2001; Robles, 2014). En el lado norte de la plaza está una estructura alargada que corre de norte a sur, la cual comprende al montículo principal. En la cima de este montículo se identificaron los cimientos de un antiguo templo o *vehe ñuhu* (i.e. casa de dios) (Figura 4).

El acceso a este templo fue por una escalinata que se encuentra al centro del montículo en su cara norte. Cabe señalar que éste es el mismo acceso que se utiliza hoy en día para llegar a la Cruz antes mencionada. Este lugar es significativo porque su carácter sagrado ha continuado y, en cierta forma, hace visible la sinergia que ocurrió durante la colonización entre la religión mesoamericana y el cristianismo.

Con base en el recorrido de superficie que realizamos en el área y el análisis cerámico, sabemos que este sitio fue ocupado de manera continua, desde el Preclásico Terminal (400 a.C.-300 d.C.) hasta el Posclásico (900-1521 d.C.), y podríamos decir que hasta la actualidad. Asimismo, con base en un análisis comparativo con sitios vecinos (considerando su lugar de emplazamiento, monumentalidad, arreglo arquitectónico y visibilidad) concluimos que este asentamiento en el Cerro de Pedimento fue también un santuario en tiempos precoloniales.

3. RECREACIÓN VIRTUAL DEL SANTUARIO EN EL CERRO DE PEDIMENTO

La relación de las tecnologías digitales con la Arqueología ha pasado por diferentes etapas a lo largo de la Historia. Ahora nos encontramos en la era de la digitalización, la cual ha impulsado la generación de modelos tridimensionales de sitios arqueológicos en dos formas, una que reconstruye sólo lo que es visible actualmente y otra que se atreve a reconstruir elementos no visibles o que han desaparecido por el paso del tiempo, creando imágenes realistas (Eite-Ijorg, 2004). En la región de la Mixteca se tienen pocos ejemplos de reconstrucciones digitales de sitios (Hermann, 2015; Jiménez, 2018; Martínez, 2018; Spores, 2014), lo que nos habla del naciente interés en estas temáticas.

En el caso de estudio, dada la importancia histórica y contemporánea del santuario, se hizo evidente la relevancia y necesidad de comunicar los valores



Figura 4. Croquis del asentamiento precolonial en el Cerro de Pedimento

históricos a los usuarios directos y hacedores de este legado cultural, es decir, a los habitantes de las comunidades en donde el santuario se ubica y a los peregrinos de poblaciones distantes.

Al vivir en una sociedad en donde la información nos desborda cada día más, es necesario conocer a fondo al usuario, saber qué quiere exactamente, qué necesita y en qué contexto utilizará el producto para garantizar que funcionará (Pratt y Nunes 2013). Al respecto, el tener definido a quién se quiere comunicar los resultados de la investigación, justifica y guía el trabajo de la recreación virtual.

Los entornos tridimensionales y el diseño interactivo en general permiten al usuario adentrarse en mundos pasados, presentes y futuros; caminar en el interior de edificios que ya no existen, conocer, volver a vivir o adelantar vivencias. Además, ayudan a la conservación del pasado, a compartir y comentar contenido, así como a involucrarse e interactuar con él (Salmond y Ambrose 2014).

Cada enfoque o ejemplo requiere diferentes niveles de complejidad en la simulación, pero con el avance de la tecnología, tanto en lo referente a software como a hardware, es posible combinar

técnicas desarrolladas para diferentes propósitos y aplicarlas en las construcciones de ambientes arqueológicos, históricos o culturales. Asimismo, independientemente de las tecnologías que se empleen, se trata de encontrar un equilibrio entre lo representado, el contenido y la realidad, procurando sobre todo que esta mediación sea clara para los usuarios.

En este sentido, para el trabajo de recreación se tomaron en cuenta los lineamientos de la *Carta de Londres* (London Charter, 2009), principalmente el tercero, referente a las fuentes de investigación, el cual hace referencia a toda la información utilizada y que ha influido en la creación de resultados, las que fueron analizadas y evaluadas para obtener el resultado final; así como el lineamiento cuarto sobre documentación, en este punto señala que se debe recabar y proporcionar información para que los métodos y resultados de la visualización computarizada puedan ser entendidos.

También se consideraron los principios de Sevilla (Forum Internacional de Arqueología Virtual, 2012), especialmente: 1) interdisciplinariedad, con esto se busca que el trabajo en su totalidad sea evaluado por especialistas de diferentes campos de estudio (arqueólogos, diseñadores e ingenieros), es un requerimiento básico. 2) Finalidad, señala que se debe tener en claro cuál es la finalidad última, el objetivo que se quiere alcanzar, que pueden ser investigación, conservación y/o difusión. 3) Complementariedad, en este caso se refiere a que el modelo en 3D nunca podrá sustituir al real, asimismo, se propone que sea un apoyo para otros aspectos, como la restauración. 4) Autenticidad, algo común de esta práctica es el reconstruir o recrear edificios, objetos y entornos del pasado, por lo que es fundamental saber qué está reconstruido y qué no; se deben hacer interpretaciones alternativas siempre y cuando presenten validez científica. Y 5) rigurosidad histórica, se refiere a que se debe tener una base sólida en la investigación y documentación histórica y arqueológica. Estos puntos han sido detallados previamente para el caso de estudio (Jiménez et al., 2017).

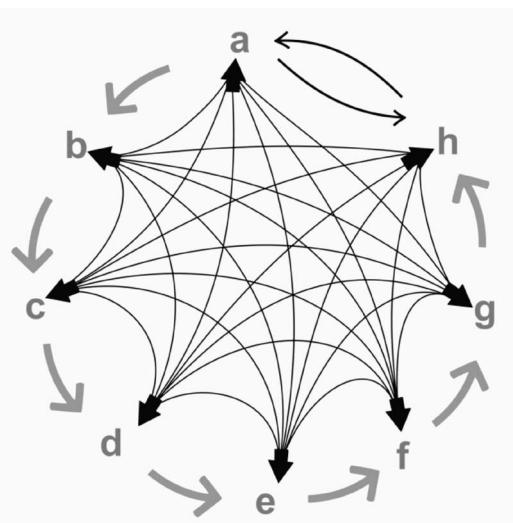


Figura 5. Pasos que integran la metodología para la recreación virtual

De tal forma, el proceso de recreación virtual⁸, que también incluyó un recorrido virtual personalizado, consistió en los siguientes pasos: a) Reconocimiento previo del sitio arqueológico, b) Realización del croquis del sitio en campo, c) Dibujo en CAD en 2D, d) Consulta de otras fuentes para la incorporación de elementos no visibles o faltantes en el sitio: códices, publicaciones sobre excavaciones y sitios arqueológicos restaurados, e) Modelado en 3D de los edificios en CAD, f) Modelado en 3D del terreno, g) Ambientación en 3D Max y Unity y h) Integración en Unity para generar un recorrido virtual personalizado. Estos pasos, aunque se presentan de manera secuencial, se ejecutan de manera interrelacional y flexible (Figura 5). Este proceso así como los elementos (decorativos y arquitectónicos) que se tomaron de base para la recreación se detallan en una publicación previa (Jiménez et al., 2017).

Uno de los objetivos que se planteó para la recreación virtual de este sitio fue generar una imagen en la que se vieran reflejados el valor sagrado que se le confiere actualmente y las experiencias profundas que se generan durante el ritual, esto además de mostrar una propuesta sobre su apariencia y conformación en el pasado precolonial.

⁸ El modelo de recreación virtual se hizo en colaboración de quienes escriben con el pasante de Ingeniería en Diseño Roberto Carlos Reyes Espinoza.



Figura 6. Paisaje del asentamiento precolonial

Estas cualidades y elementos arquitectónicos se expresaron en el modelo integrando diferentes elementos del paisaje, por un lado, el cielo, el sol y la propagación de sus rayos, la lluvia, el viento y la vegetación (Figura 6), por el otro, elementos decorativos considerados sagrados, las ofrendas y la representación de *Savi* (dios Lluvia) (Figura 7 y Figura 8). Asimismo, atendiendo a la movilidad, se optó por un recorrido virtual personalizado para generar la sensación de estar en el lugar, aspecto que se reforzó indicando senderos en el modelo, esto a diferencia de lo que genera un recorrido que visualiza el sitio desde arriba.

Una propuesta, innovadora sobre la importancia de la percepción sensorial en relación a la experiencia que se tiene de los espacios, es la que plantea Lucas (2008) para el diseño de espacios urbanos. Este autor menciona que el enriquecimiento de un entorno urbano sugerido que atienda el rango completo de experiencia sensorial hace los espacios más legibles, más informativos y más completos. Al respecto, Reyes (2018) menciona la relevancia de la experiencia vivencial por parte del investigador como un punto fundamental de la metodología para la realización se reconstrucciones virtuales. En este sentido, para el proyecto que realizamos, desde un inicio el equipo programó visitas al sitio en el Cerro de Pedimento para conocerlo en términos históricos (a través de la evidencia arqueológica) y también en términos religiosos (para ello fue fundamental asistir a los

rituales que se llevan a cabo en este santuario y conocer los espacios más significativos).

En el ejemplo que tratamos, al considerar las cualidades de la percepción sensorial que se experimentan en el santuario contemporáneo, se busca generar en el usuario una empatía e identificación con lo representado y, de esta forma, con el valor histórico del sitio, con el pasado precolonial. Esta empatía se logra cuando el modelo engloba valores que son reconocibles por los usuarios (como vegetación, condiciones ambientales, prácticas religiosas, etc.) y también cuando lo no conocido (construcciones precoloniales en su apogeo, representación de antiguas divinidades, etc.) se muestra en el modelo como un todo. El interés en ellos surge cuando la reconstrucción en 3D, que es un tanto desconocida, resulta familiar a partir de elementos reconocidos.

Aunado a esto, Warwick (2017) menciona que los modelos virtuales nunca remplazarán la realidad, en este sentido nosotros pensamos esta recreación virtual y recorrido virtual como complementarios a la realidad, en donde la visita del sitio motivará la visualización del modelo y viceversa, generando con ello una complementariedad.

4. DISEÑO DE INTERFAZ

Una vez que se tiene la información generada de la investigación antropológica y arqueológica, así como la recreación virtual y recorrido virtual del santuario de origen precolonial, el siguiente paso es ponerlo



Figura 7. Detalle de la ofrenda sobre el altar al centro de la plaza, al fondo el montículo principal



Figura 8. Vista desde el templo principal hacia el portal, por donde accedían los peregrinos a la plaza central

al alcance de los usuarios. El medio que elegimos fue una interfaz y el procedimiento para su diseño se describe a continuación.

El diseño de Interfaz Gráfica de Usuario (GUI por sus siglas en inglés) o Interfaz de Usuario (UI) es el diseño de un sistema (menús, navegación, mecanismos de control) que comunica al usuario con la aplicación o software (Salmond y Ambrose 2014), es decir, el entorno visual en que se desarrolla la interacción entre la persona y el dispositivo.

El modelo de interfaz utilizado es el denominado Objeto-Acción u Objeto-Action-Interface (OAI, por sus siglas en inglés), que está basado en la repre-

sentación visual de objetos y acciones de la tarea del usuario. Para ello se requiere buscar analogías con el mundo real del usuario respecto a la acción para apelar a su intuición. En este caso, utilizamos imágenes tomadas de los códices mixtecos para indicar los botones de opciones, los cuales hacen referencia a los aspectos que se quieren dar a conocer sobre el Cerro de Pedimento. Los códices precoloniales son poco conocidos en la región pero hay imágenes que son ampliamente identificadas, como el Señor 8 Venado, un basamento, un cerro, etc. Por ejemplo, para indicar los rituales utilizamos una imagen en donde se está realizando un ritual; para

indicar las narrativas orales se puso la imagen de un personaje con la voluta del habla y para indicar una peregrinación se usó la imagen de dos personajes cargando los bultos sagrados que van caminando a un santuario. Así, las imágenes en sí mismas son indicativas, además, se complementan con un texto que las describe brevemente (Figura 9). Cabe señalar que en el caso del recorrido virtual personalizado se trata de una acción colaborativa que requiere mucha más acción por parte del usuario que sólo presionar un botón para obtener respuesta.

Cabe señalar que en el caso del recorrido virtual personalizado se trata de una acción colaborativa que requiere mucha más acción por parte del usuario que sólo presionar un botón para obtener respuesta.

4.1. Metodología

Para el desarrollo se utilizó la metodología de Diseño Centrado en el Usuario (DCU) que consta de 4 pasos principales, con la interacción necesaria, los cuales son descritos a continuación.

Contexto de uso.

Primero se define al usuario para tomar en cuenta sus características específicas. Desde un inicio, el proyecto surge por la necesidad de comunicar los resultados de la investigación a los pobladores de *Yoso Notu* y San Miguel así como a los peregrinos que asisten cada año, y con ello fortalecer los lazos

con esta herencia viva que ha pervivido por más de 2000 años.

Los usuarios a quienes nos dirigimos cuentan con escasa o nula habilidad técnica y no están familiarizados con la tecnología de la interfaz, ya que se mueven en un ambiente de poco contacto con la tecnología interactiva. Asimismo, las personas que visitan el santuario, en su mayoría, hablan una lengua indígena, principalmente el mixteco. Para ser más específicos, se definieron usuarios tipo, es decir, personajes ficticios que sirven para saber cómo utilizarán el diseño propuesto. Cabe señalar que la Interfaz se tiene pensada para un quiosco móvil.

Por su parte, el contexto físico es un lugar con escasos medios de comunicación (en sentido amplio), con temperaturas frías, energía eléctrica variable, ambiente bullicioso y muchas personas en movimiento. Asimismo, el tiempo destinado a cada usuario es limitado para dar oportunidad a más personas de acceder a la plataforma.

Especificación de requerimientos.

La información obtenida en el paso 1 de la metodología permite especificar los requisitos del sistema. En este caso los usuarios requieren una interfaz sencilla, atractiva e intuitiva, con ayudas visuales, preferentemente con traducciones al mixteco. Se ofrecerán contenidos que complementen y refuerzen la experiencia del recorrido virtual, organizados en



Figura 9. Propuesta de Interfaz para el santuario de origen precolonial en el Cerro de Pedimento

seis apartados. Se ejecutará en una computadora táctil de 24 pulgadas y "todo en uno", (es una computadora que está integrada completamente, es decir, en el monitor se encuentra incorporado el procesador, disco duro y toda la placa base, por lo que solo se tiene un elemento) que permitirá el procesamiento de los datos.

Soluciones de diseño.

Para trabajar las soluciones de diseño se siguen los ocho pasos descritos por Schneiderman (citado en Salmond y Ambrose 2014): 1) ser coherente, 2) permitir el uso de accesos directos a usuarios frecuentes, 3) diseñar la forma de retroalimentación de la información, 4) diseñar una navegación o un dialogo con un final, 5) permitir el manejo simple de los errores, 6) diseñar una opción para deshacer opciones, 7) pensar en la individualidad y 8) reducir las sobrecargas.

Asimismo, tomando en consideración los requisitos de diseño, se desarrollaron soluciones acordes a las necesidades del usuario, considerando elementos como: contenido, color, gráficos, orden de los elementos o composición, facilidad de navegación y los ya mencionados en apartados anteriores (Figura 9). Durante las diferentes visitas al Santuario del Cerro de Pedimento se observaron algunos de estos elementos, los cuales se retomaron del paisaje de la región y de las preferencias de los habitantes y peregrinos. Por ejemplo, los colores se retomaron de los gustos expresados en la ropa típica y en los edificios principales. Los más representativos fueron los colores intensos, como el rosa, verde, rojo, azul y amarillo. Para el color dominante en la interfaz se hicieron propuestas retomando estos colores y se sometió a votación con los habitantes de tres municipios, Santa Catarina Yoso Notu, San Miguel el Grande y Chalcatongo. Ellos escogieron el azul y, al mismo tiempo, nosotros integraron los demás colores de una manera discreta. Asimismo, se incluyó la vista panorámica que se tiene desde la cima del santuario, la cual se colocó en la parte superior, además, alrededor de la imagen del modelo en 3D se colocaron nubes características de estos lugares montañosos.

Evaluación.

Para elegir la solución que se presenta en este escrito, se hizo un análisis heurístico (o experto) para evaluar o valorar la usabilidad de la interfaz siguiendo los 10 parámetros heurísticos de Nielsen (2000).

Visibilidad del estado del sistema: cuando se pida la ejecución de una acción y tarde más de dos segundos en ejecutarse, aparecerá la leyenda "procesando espere un momento", junto con la animación del ícono correspondiente parpadeando, es decir, cambiando de color.

1. Comunicación entre el sistema y el usuario: el sistema tiene texto e imágenes y después de las pruebas con usuarios reales, cabe la posibilidad de agregar audio para la retroalimentación. Todos los íconos hacen referencia al tema a tratar. Por ejemplo, el ojo con la reconstrucción 3D en su interior, es una analogía de "mirar cómo fue". Los elementos de códices, aunque no son conocidos por todos, cumplen con un doble propósito, presentar información de manera gráfica y despertar el interés por su conocimiento.
2. Control y libertad del usuario: en cada "ventana" tiene la opción de "regresar", para volver al inicio y comenzar de nuevo.
3. Estándares y coherencia: en este caso el usuario no maneja estándares previos, pero se consideraron los ya establecidos como flecha a la izquierda para regresar y a la derecha para avanzar.
4. Prevenir los mensajes de error: de acuerdo al usuario el error más común visto es intentar acceder al recorrido personalizado o "solo" donde el grado de complejidad es mayor, por lo que se pedirá una confirmación con sugerencia de usar el recorrido "con ayuda".
5. Reconocer es mejor que memorizar: la interfaz tiene máximo 3 niveles o capas de navegación, las principales solo uno, por ejemplo, el recorrido "con ayuda" es solo un paso para acceder y otro para volver.
6. Flexibilidad y eficiencia de uso: el sistema es de 3 niveles, no permite mucha flexibilidad pero si es eficiente.

7. Diseño agradable y minimalista: se resaltó el objetivo principal poniéndolo al centro y de mayor tamaño, los 6 accesos adicionales se manejaron en la parte baja para restarles peso visual y se integraron con la barra de color inferior para que funcionen como un solo elemento visual. El sistema cuenta con 5 elementos en total considerando agrupar por zonas.
8. Ayuda para reconocer, diagnosticar y resolver errores: en caso de algún error aparecerá un mensaje conciso de "regresar".
9. Ayuda e instrucciones de uso: aunque se busca que el sistema funcione por intuición y con eficiencia, cuenta con un botón de ayuda e instrucciones de uso en la parte inferior izquierda.

Podemos afirmar que el sistema cumple con los requisitos de usabilidad en un 95%. Cabe señalar que ya se realizó una primera fase de pruebas de usabilidad con los usuarios reales, es decir, con habitantes de *Yoso Notu* y San Miguel así como estudiantes de la Universidad de Chalcatongo, todas comunidades vecinas (Figura 10). En estas pruebas obtuvimos información variada sobre las necesidades de los usuarios, las cuales se integraron al modelo final de la interfaz interactiva.

En este caso se desarrolló un sistema específico con el objetivo de poner al alcance de los pobladores de las comunidades mencionadas y de los peregrinos del Cerro de Pedimento, sin embargo, por las características del resultado, el sistema tiene altas posibilidades de funcionar para otros usuarios con mayor experiencia en el manejo de la tecnología e incluso adaptarse para otro tipo de dispositivos y usuarios. Con este proyecto que fue pensado para un público en particular es claro que no se puede diseñar para todo el mundo, ¡y no es buena idea intentarlo! (Pratt y Nunes, 2013).

La fase de diseño y construcción del quiosco interactivo es un trabajo que está pendiente, aún se requieren recursos para detallarlos y terminarlos. Este es el último paso para culminar el proceso de creación, asimismo, los contenidos complementarios que incluirá la interfaz están por finalizarse.



Figura 10. Pruebas de usabilidad en la comunidad de Santa Catarina Yoso Notu (2018)

5. REFLEXIONES FINALES

El trabajo colaborativo e interdisciplinario que se logró en este estudio enriqueció por igual a las ciencias involucradas y, principalmente, beneficiará al usuario para quien fue pensado. Si bien la Arqueología se focaliza en el estudio de las sociedades en el pasado, al entrar en relación con las ciencias del diseño, las cuales buscan la innovación, se genera una alternativa viable y productiva para aproximarse a ese pasado de manera dinámica y creativa.

Asimismo, el enfoque multivocal que se ha aplicado a la herencia viva de Ñuu Savi (El Pueblo de la Lluvia) en este estudio, ha permitido la recreación virtual del santuario en el Cerro de Pedimento para la época precolonial, en correspondencia a sus valores contemporáneos.

Este tipo de lugares de larga duración, en el que se han entrelazado varias líneas de vida como la de quienes construyeron el santuario en tiempos precoloniales, la de los sacerdotes y la de los peregrinos, entre otras, nos demandan una postura integral y relacional en donde lo intangible es tan importante como lo tangible.

En un ámbito más general planteamos que a partir de un conocimiento y respeto de los lugares y las expresiones culturales que en ellos se realizan, incluyendo las religiosas, y con la implementación de las Tecnologías Digitales, lograremos impulsar un turismo educado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, J. R. y Romero, J. (1992). *Exploraciones en Monte Negro, Oaxaca. 1937-38, 1938-39 y 1939-40*. Antologías, Serie Arqueológica. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Atalay, S. (2018) Multivocality and Indigenous Archaeologies. En J. Habu, C. Fawcett, y J. M. Matsunaga (Eds.), *Evaluating multiple narratives: beyond nationalist, colonialist, imperialist archaeologies*. Pp. 29-44. New York: Springer.
- Eiteljorg, H. II (2004) Computing for archaeologist. En S. Schreibman, R. Siemens y J. Unsworth (Eds.), *A companion to digital humanities*. Wiley-Blackwell.
- Forum Internacional de Arqueología Virtual (2012). *Los principios de Sevilla. Principios Internacionales de la Arqueología Virtual*. Disponible en: <http://smartheritage.com/wp-content/uploads/2016/06/PRINCIPIOS-DE-SEVILLA.pdf> [Descargado el 30 de julio de 2019].
- Gándara, V. M. (2016). ¿Difundir o divulgar? He ahí el dilema. En D. Jiménez-Badillo y M. Gándara V. (Eds.), *El patrimonio cultural y las tecnologías digitales: experiencias recientes desde México* (pp. 60-73). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Geurds, A. y Jansen, M. (2008). El centro ceremonial de Monte Negro. Un acercamiento cognitivo sobre la urbanización entre los Ñuu Dzauí. En A. G. Mastache, R. H. Cobean, A. García-Cook y K. G. Hirth (Eds.), *El urbanismo en Mesoamerica*, pp. 377-421. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia y The Pennsylvania State University.
- Hermann, L. M. A. (2015). El territorio de Tilantongo en el siglo XVI. Algunas consideraciones sobre su geografía histórica. En M. A. Hermann L. (Ed.), *Configuraciones territoriales en la Mixteca*, pp. 37-91. México: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social y Casa Chata México.
- Jiménez, O. L. B. (2018) La materialización de las ideas sobre el sitio precolonial de Yuku Chayo en Chalcatongo, Mixteca Alta de Oaxaca (reconstrucción virtual tridimensional, representación fotorrealista e impresión 3D). Trabajo presentado en la Digital Humanities Conference 2018, Ciudad de México, México. Resumen disponible en <https://dh2018.adho.org/en/programa-de-la-conferencia/> [Consultado el 30 de julio de 2019].
- Jiménez, O. L. I., Cortés, C. E., Reyes, E. R. C. y Posselt S. E. (2017). El Cerro de Pedimento en Santa Catarina Yoso Notu, la reconstrucción en 3D de un santuario de origen precolonial. En M. C. R. Escamilla-Ortíz (Ed.), *Tierras y Dioses en la Mixteca*, vol. 16, pp. 285-326. Oaxaca: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- Jiménez, O. L. I., Quiroz, R. L. M. y Posselt, S. E. (Productores y Directores). (2017). Documental: *Hacia una práctica multivocal en arqueología*, México.
- Jiménez, O. L. I. y Posselt, S. E. (2015). Integrating Oral Traditions and Archaeological Practice: The Case of San Miguel el Grande. En D. Zborover y Kroefges, P. (Eds.), *Bridging the Gaps. Integrating Archaeology and History in Oaxaca, Mexico; A Volume in Memory of Bruce E. Byland*, pp. 263-278. Colorado: University Press of Colorado.
- Jiménez, O. L. I. y Posselt, S. E. (2016a) The sanctuaries of the Rain God in the Mixtec Highlands, Mexico: a review from the present to the precolonial past. *Water History*, 8(4), 449-468.
- Jiménez, O. L. I. y Posselt, S. E. (2016b). *Recorrido de superficie en el área de San Miguel el Grande-Santa Catarina Yosonotu, Oaxaca: La cabecera y el centro ceremonial de Ñuu Ndaya (El lugar de la Muerte)*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Jiménez, O. L. I. y Posselt, S. E. (2018). Paisaje, Tiempo y Líneas de Vida en la arqueología de Ñuu Savi (la Mixteca Alta, México). Tesis de doctorado en Estudios Arqueológicos. Leiden University.
- Jiménez-Badillo, D. (2016). La RedTDPy la difusión del patrimonio cultural en el siglo XXI. En D. Jiménez-Badillo y M. Gándara V. (Eds.), *El patrimonio cultural y las tecnologías digitales: experiencias recientes desde México*, pp. 42-59. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Kisjes, I. (2001) Monte Negro in numbers. An architectural site survey in the Mixteca Alta, Oaxaca. Tesis de Maestría, Facultad de arqueología de la Universidad de Leiden. Países Bajos.
- Londoncharter (2009). *London charter for the computer-based visualisation of cultural heritage*. Disponible en <http://www.londoncharter.org/preamble.html> [Consultada el 30 de julio de 2019].
- Lucas, R. (2008). Designing a notation for the senses. En R. Lucas (Ed.), *Proceedings of the Sensory Urbanism Conference*, pp. 137-148. Flâneur Press.
- Martínez, G. J. A. (2018). Recorridos virtuales interactivos en tiempo real: una alternativa de presentación de información del sitio arqueológico Cerro de las Minas, Mixteca Baja, Oaxaca. Ponencia presentada en la Digital Humanities Conference 2018, Ciudad

- de México. Resumen disponible en: <https://dh2018.adho.org/en/programa-de-la-conferencia/> [Consultado el 30 de julio de 2019].
- Nielsen, J. (2000). *Usabilidad, diseño de sitios web*. Madrid: Prentice Hall.
- Organización de las Naciones Unidas (2007). *Declaración de las Naciones Unidas sobre los derechos de los Pueblos Indígenas*.
- Pratt, A. y Nunes, J. (2013). *Diseño Interactivo*. España: Editorial Océano.
- Reyes, E. R. C. (2018). Reflexiones y experiencias sobre la recreación de paisaje de sitios arqueológicos: Santuario de Pedimento de Santa Catarina Yoso Notu, Mixteca Alta de Oaxaca. Ponencia presentada en la Digital Humanities Conference 2018, Ciudad de México. Resumen disponible en: <https://dh2018.adho.org/en/programa-de-la-conferencia/> [Consultado el 30 de julio de 2019].
- Robles, G. N. M. (2014). Atzompa y la expansión urbana de Monte Albán. *Arqueología Mexicana*, 126, 46-51. Disponible en: <https://arqueologiamexicana.mx/mexico-antiguo/atzompa-y-la-expansion-urbana-de-monte-alban> [Consultado el 30 de julio de 2019].
- Salmond, M. y G. Ambrose (2014). *Los Fundamentos del Diseño Interactivo*. Barcelona: Blume.
- Spores, R. (2014). La conquista española y sus consecuencias. La traza urbana europea y el propuesto viejo cabildo indígena de Yucundaa-Teposcolula. En R. Spores y N. M. Robles G. (Eds.), *Yucundaa. La ciudad mixteca y su transformación prehispánica-colonial I*, pp 315-327. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia y Fundación Alfredo Harp Helú Oaxaca, A.C.
- Warwick, C. (2017). Beauty is truth: Multy-sensory input and the challenge of designing aesthetically pleasing digital resources. *Digital Scholarship in the Humanities*, 32(2), 135-150.

Aplicación de la realidad aumentada para el modelado reconstructivo de una zona arqueológica

Erick Huitrón-Ramírez

UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA EN INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS AVANZADAS,
INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, MÉXICO

Resumen: Ante la dificultad para reconstruir físicamente los vestigios de un yacimiento arqueológico, este artículo propone mejorar la apreciación de los visitantes mediante el desarrollo de una aplicación de realidad aumentada para teléfonos inteligentes, la cual podrá ser usada en el interior y alrededores de una zona arqueológica. Esta app combinará visualizaciones de las estructuras en su estado actual con la reconstrucción hipotética de las mismas, reaccionando a los cambios de ubicación y orientación del usuario dentro de la zona arqueológica. Mediante la lectura de los sensores incorporados al teléfono inteligente y las interacciones en la pantalla, el sistema podrá obtener las variables que describen la actividad del usuario al manipular el dispositivo y con ello ofrecer las perspectivas de un entorno virtual. La aplicación podrá actualizarse rápidamente cuando las investigaciones arqueológicas generen nuevos resultados.

Palabras clave: reconstrucción hipotética; modelado 3d; ubicación; orientación; aplicación; teléfono inteligente; realidad aumentada

Abstract: Given the impossibility and non-feasibility of reconstructing the vestiges of an archaeological site, an alternative to appreciate this site is here proposed. Our proposal, based on virtual reality using a smartphone app, allows to virtually explore the archaeological precinct and surroundings areas. The software tool combines visualizations of the current-state structures and their hypothetical reconstruction suggested according to the location and orientation of the user.

The incorporated sensors and the interactions on screen are used by the system, in order to obtain the variables that describe the position and user's movements when the device is manipulated and thereby, offer the perspectives of a virtual environment.

The smartphone app can be quickly updated following the new findings of archeological research.

Keywords: hypothetical reconstruction; 3d modeling; location; orientation; smartphone application; augmented reality

1. INTRODUCCIÓN

La reconstrucción hipotética de monumentos arqueológicos ofrece considerables aportaciones a la investigación científica y a la experiencia del patrimonio cultural por parte de los visitantes. Para los investigadores, constituye un medio con el cual pueden recrear el aspecto visual de los elementos arquitectónicos de un sitio, probando las hipótesis formuladas durante la excavación o durante los procesos de conservación y estabilización de sus hallazgos. Por otra parte, los visitantes de un monumento histórico o arqueológico pueden hacerse una idea del entorno cultural para mejorar su comprensión general del patrimonio cultural, obteniendo una experiencia más significativa que el simple recorrido por un sitio arqueológico.

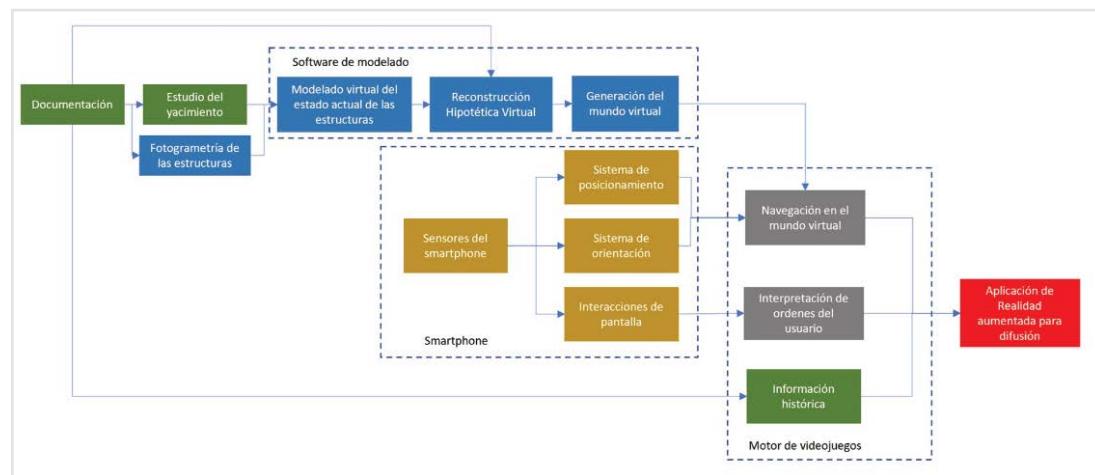


Figura 1. Áreas funcionales y secuencia de desarrollo prevista para el diseño de la aplicación de Realidad Aumentada

Los medios reconstructivos como maquetas y litografías encontradas en los museos y zonas arqueológicas han demostrado su utilidad como puente de comunicación entre arqueólogos, restauradores, museógrafos e historiadores y los visitantes, que a su vez absorben esa conceptualización patrimonial y la comparten con otros.

Al identificar las ventajas de la representación visual ofrecida por la reconstrucción hipotética, se consideró que esta puede ser proporcionada a los visitantes para ser consultada en cualquier punto de la zona arqueológica de forma inmediata, valiéndose de una variante de la Realidad Mixta que permite la convivencia de elementos reales y virtuales en una interfaz y a través de descripciones de variables físicas, esto es la Realidad Aumentada.

Kipper y Rampolla (2013) consideran que la realidad aumentada debe tomar información generada por computadora para sobreponerla en un ambiente real; con tal fundamento, en este artículo se propone la construcción de una aplicación para teléfono inteligente, que contenga un mundo virtual con el modelo reconstructivo de una zona arqueológica donde además se contemple la restitución volumétrica y de apariencia, así como la policromía del conjunto de edificaciones contenidas en el yacimiento. La innovación en el medio de consulta refiere a que el dispositivo móvil puede evaluar la ubicación del usuario y la orientación de su vista en cualquier momento, con el propósito de calcular la correspon-

dencia real y virtual, y ofrecer una representación en la pantalla de la apariencia pretérita de las edificaciones. La combinación de visualizaciones de estructuras reales y las extrapolaciones sugeridas por las reconstrucciones hipotéticas, tiene el propósito de mantener el disfrute de la zona arqueológica en su estado actual, pero ampliando la interpretación con la representación de una apariencia que ya no puede percibirse. Así, la pantalla fungirá como una ventana para apreciar un mundo virtual desde la realidad. Finalmente, y con la intención de mantener la característica de accesibilidad, las perspectivas del modelo virtual deben actualizarse cuando el usuario se desplaza o cambia la orientación del dispositivo móvil.

Es evidente que el objetivo formulado rebasa las fronteras tradicionales de las disciplinas involucradas para requerir la interacción en los aspectos arqueológicos, computacionales, históricos y de ingeniería con la intención de ofrecer al público una herramienta de fácil empleo, eficaz en el proceso de generación de conocimiento y veraz en términos históricos. Con esta necesidad multidisciplinaria, el método de desarrollo (mostrado en la figura 1) remplaza el formato secuencial por un esquema concurrente que verifique esporádicamente los alcances de las otras ramas y se retroalimente en función de los resultados parciales, a la vez que repite tales intervenciones hasta alcanzar el objeto específico de cada línea y aproximándose a la integración final.



Figura 2. Aproximación de caras, vértices y aristas a las vistas laterales de un monumento

En las siguientes secciones se realizarán las descripciones de las áreas funcionales que conforman la estructura principal del proyecto, desarrollado a su vez en dos líneas de acción. La primera tiene como principal objetivo la reconstrucción hipotética del yacimiento, y la segunda comprende la evaluación de los recursos ofrecidos por el dispositivo móvil, de los cuales se obtendrá la información con la que el usuario realizará las interacciones con el mundo virtual que fue generado en la primera línea.

2. MODELADO DE ESTRUCTURAS.

El punto de inicio del procedimiento debe ser la adquisición de documentación sobre el contexto histórico y arqueológico de las estructuras arquitectónicas que se desea reconstruir. Esto permite delimitar los alcances de la aplicación y brinda justificaciones de índole cultural, temporal y geográficas para extrapolar la información existente hacia la reconstrucción virtual. En este marco, es fundamental contar con fotografías y planos de levantamiento para empezar el modelado de la estructura de tal manera que pueda disminuirse la cantidad de interacciones con el monumento para dimensionarlo. Si se cuenta con tales elementos, puede iniciarse un procedimiento de evaluación dimensional mediante el reconocimiento de características clásicas en la arquitectura prehispánica, un ejemplo de la aproximación de tales elementos puede observarse en la figura 2.

En el caso que estos planos no existan o se dificulte la selección de características adecuadas en la imagen, puede optarse por el apoyo de un software de fotogrametría. Este método tiene la ventaja de escalar todas las dimensiones del modelo ante una sola magnitud conocida. En la figura 3, se presenta el resultado de la aplicación de fotogrametría a una estructura.

Sin embargo, debe recordarse que la fotogrametría y el escaneo láser se caracterizan por la búsqueda de la precisión en la generación del modelo representativo del estado actual del elemento arqueológico, lo que normalmente deriva en la construcción de un archivo tridimensional conformado por una densa nube de puntos, que representa un esquema poco viable de implementar en una aplicación planeada para un dispositivo móvil. En una aplicación móvil, los elementos de interés consisten únicamente en la ubicación de los vértices que delimitan el volumen de la estructura, para ello se sugiere modificar la nube de puntos obtenida con fotogrametría o escáner láser con el fin de mantener solo el conjunto mínimo de puntos que determinan la morfología de la estructura en la etapa constructiva que se desea representar. Posteriormente, como lo sugiere Villar (2017) se realiza la selección de una primitiva geométrica para iniciar una secuencia de modelado basada en la colocación de caras, aristas y vértices en las secciones del modelo fotogramétrico donde predomine una tendencia en la distribución



Figura 3. Vista en perspectiva del modelo tridimensional resultante de la aplicación de fotogrametría a una estructura del yacimiento

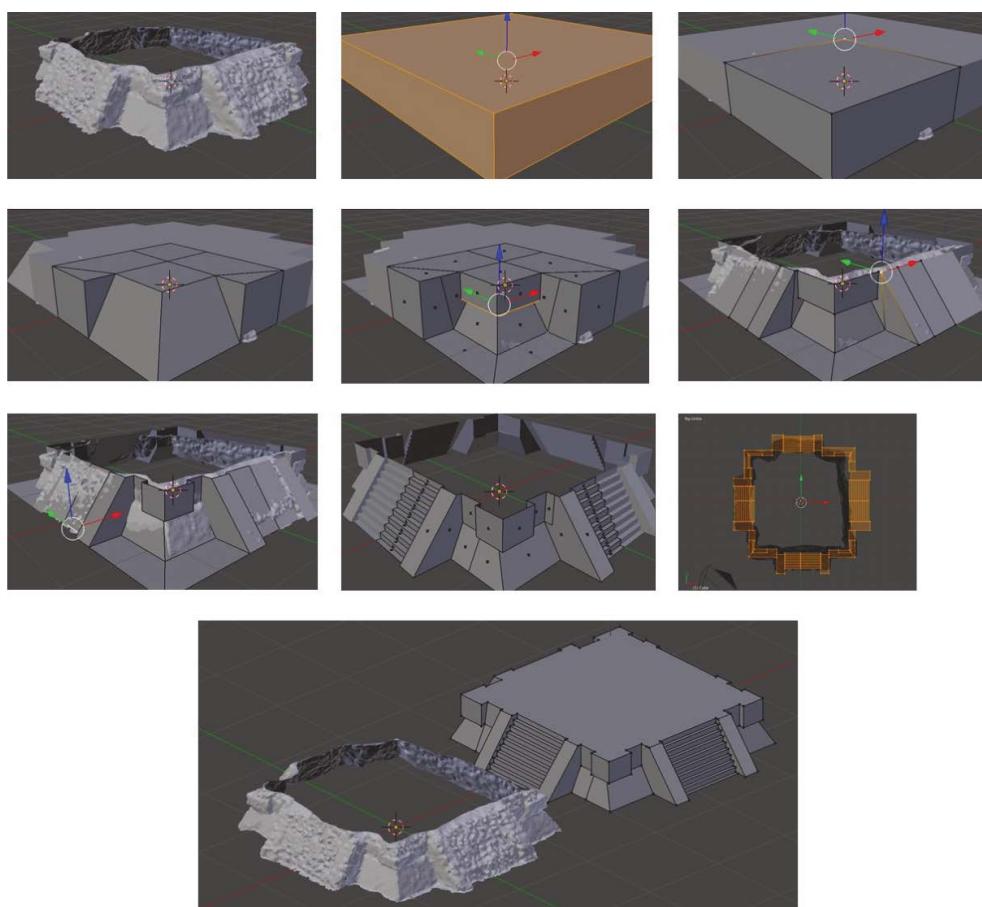


Figura 4. Aproximación del modelo envolvente idealizado.

de puntos. Aunque no existe un único método para el desarrollo del modelo, puede fijarse como objetivo el empleo de la menor cantidad de vértices y conexiones posibles, mitigando también la cantidad de pasos para llegar al modelo final. Un ejemplo de este procedimiento se presenta en la figura 4. Como puede observarse, el modelo resultante es una envolvente mínima que conserva las propiedades morfológicas de la estructura. Este modelo con 267 vértices contrasta con los 35270 del modelo fotogramétrico. En almacenamiento, se tiene una competencia de 531KB contra 7.99MB lo cual además representa facilidades de visualización cuando el mundo virtual se encuentre integrado.

El último paso del modelado contempla el texturizado de la estructura, cuyas apariencias pueden ser seleccionadas de las propias imágenes que constituyeron la fotogrametría. El modelo final de esta estructura con su respectiva aplicación de textura se presenta en la figura 5. Aunque el modelo no fue realizado con la precisión de rugosidad distribuida, la aplicación de textura permite realizar una asociación visual e inmediata de la estructura que se está representando. El modelo finalmente se escala uniformemente en las tres dimensiones hasta alcanzar una volumetría correcta para ser presentada en el motor de videojuegos con las reconstrucciones virtuales del resto de las edificaciones.

3. MODELADO DE ESCULTURAS.

Las piezas arqueológicas al ser retiradas del lugar de hallazgo para su resguardo y conservación pierden el contexto de ubicación y muy difícilmente el visitante puede interpretar la procedencia del elemento dentro del yacimiento. Debido a esto, se dirigió una vertiente de estudio de esta aplicación para efectuar

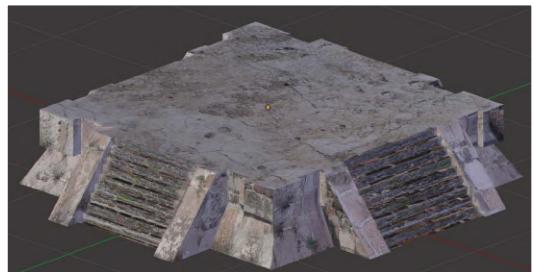


Figura 5. Modelo reconstructivo con texturizado basado en fotografías de secciones que conservan su apariencia

la reubicación representativa de esculturas o instrumentos dentro del mundo virtual. Esto requiere el modelado de las piezas arqueológicas extraídas del hallazgo para ser colocadas en los espacios señalados por las cédulas de registro.

Recorriendo nuevamente al modelado propuesto por Villar se obtienen fotografías y dimensiones fundamentales de la escultura que será proyectada, y son colocadas como base para el modelo en las vistas frontal, lateral y superior para iniciar la deformación de la primitiva que presente mayor aproximación al volumen que la circunscribe. Tras esta operación se generan vértices sobre los contornos de la escultura que pueden identificarse, y se aproximan los que pudieran estar ausentes por el deterioro. Posteriormente, con las herramientas de manipulación de vértices (principalmente de extrusión) se generan caras en diferentes niveles de elevación para imitar la configuración morfológica de la escultura.

Un ejemplo de la aproximación de forma desde una primitiva se presenta en la Figura 6. En este ejemplo, la imagen que se seleccionó para texturizar la escultura fue el basalto, dado que es el tipo de piedra con que se esculpieron el modelo original y debido a que fue un material de uso frecuente en el arte

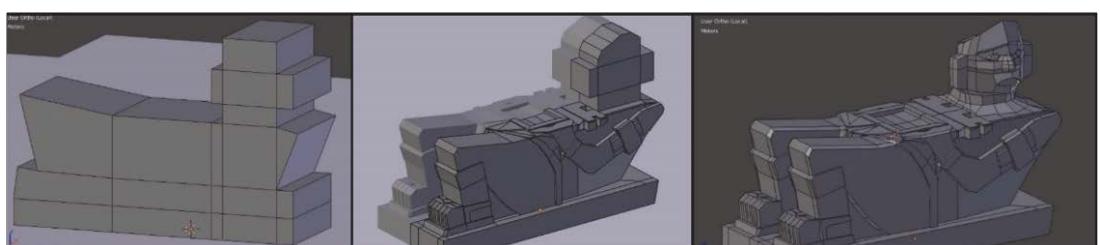


Figura 6. Modelado virtual de una escultura, basado en la modificación de primitivas geométricas.



Figura 7. Una perspectiva del mundo virtual construido en el motor de videojuegos

mesoamericano. Una vista del modelo texturizado de la escultura incorporado a la reconstrucción hipotética de una estructura, se presentan en la figura 6.

4. CONSTITUCIÓN DEL MUNDO VIRTUAL.

Cuando se han reunido los modelos virtuales de las estructuras, se inicia un proyecto de trabajo en el motor de videojuegos al que se incorporan los archivos 3D y las imágenes de texturas en un formato compatible. El motor de videojuegos prepara un espacio vacío para conformar el escenario o mundo virtual descrito por los ejes cartesianos X, Y y Z, donde el modelo se asienta sobre el plano conformado por X y Z, y proyecta las alturas o profundidades de los elementos en la dirección de Y.

En el yacimiento arqueológico se elige un punto reconocible localizado en el suelo y próximo al centroide de la zona para establecer un marco de referencia absoluto. Este punto, como intersección de un meridiano y paralelo terrestres, representará la equivalencia del origen cartesiano en el mundo virtual y será el medio para referenciar todos los desplazamientos que el usuario realice dentro del espacio arqueológico. A razón de esta selección se realiza la distribución de los modelos virtuales de las estructuras en el motor de videojuegos cuidando de establecer ubicaciones y proporciones correctas, y manteniendo la orientación del modelo general sobre el marco geográfico y no sobre la propia orientación del yacimiento. Una perspectiva de la conformación del mundo virtual con los modelos de las estructuras se presenta en la figura 7.

A los modelos virtuales se les agrega textura y se incorporan elementos generales como el piso del yacimiento y una posible apariencia de cielo. No obstante, se recomienda prescindir de elementos detallados como árboles, pasto y formaciones montañosas con la finalidad de reducir el coste computacional del dispositivo móvil durante el proceso de renderizado. En el último caso se anexa un observador virtual (cámara) que calcule la apariencia en perspectiva del mundo virtual de acuerdo con su ubicación y orientación dentro del entorno y con ello presentar la secuencia de imágenes resultantes en la pantalla del dispositivo. La representación en realidad aumentada del espacio quedará definida por los desplazamientos espaciales y angulares asignados externamente al observador virtual.

5. SENsoRES DEL TELÉFONO INTELIGENTE.

Los dispositivos móviles incorporan múltiples elementos sensoriales que captan la actividad del usuario y la manifiestan en variables discretas que son procesadas por software para generar un resultado útil, de esta forma se busca imitar la presencia de un usuario dentro del mundo virtual, y se observa que esta circunstancia puede ser descrita matemáticamente por los factores de ubicación, orientación e interacción.

Para ello, la segunda línea de acción bosqueja los recursos presentes en los dispositivos móviles para proponer medios de obtención de datos que permitan manipular en seis grados de libertad al observador virtual. Esto es, desplazamiento en el

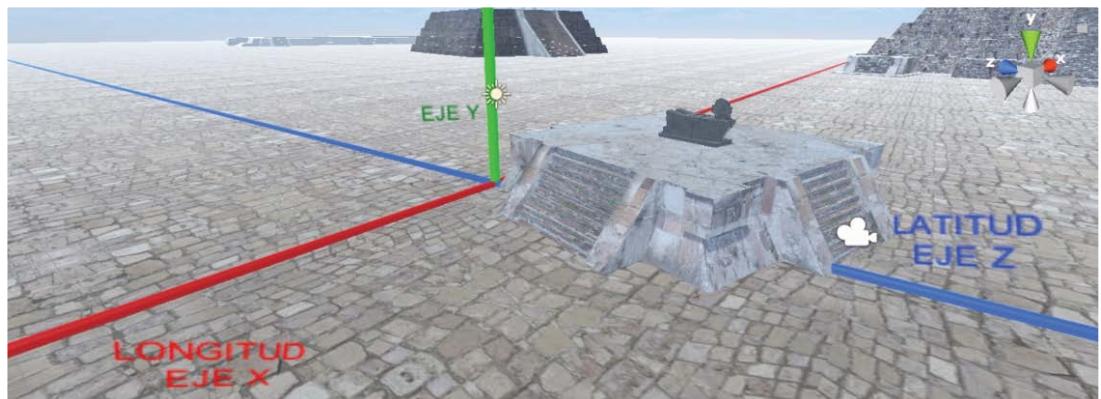


Figura 8. Distribución y correspondencia de los ejes cartesianos con las coordenadas de ubicación

plano, elevación sobre el plano y rotación en los tres ejes cartesianos. Los recursos disponibles para este fin son el sistema GPS, giroscopio y acelerómetro.

Esto es

$$Z = R\Delta\varphi$$

6. UBICACIÓN GLOBAL DEL USUARIO.

Cuando, a través del receptor GPS, el dispositivo móvil obtiene la ubicación del usuario, descrita por los valores de longitud (φ) y latitud (λ) se obtienen los dos primeros grados de libertad para el observador virtual, que se asocian con los desplazamientos respectivos en los ejes X y Z del mundo virtual. Esta correspondencia entre formas de ubicación terrestre y virtual se exemplifican en la figura 8.

El problema consiste en convertir la magnitud, dirección y sentido de los desplazamientos angulares realizados al caminar sobre la tierra, en desplazamientos lineales idealizados como movimiento sobre un plano. Esto inicia con la obtención de las variaciones angulares de latitud ($\Delta\varphi$) y longitud ($\Delta\lambda$).

$$\Delta\varphi = \varphi_f - \varphi_i \quad y \quad \Delta\lambda = \lambda_f - \lambda_i$$

Donde φ_f y λ_f representan la ubicación variable de longitud y latitud del usuario sujetando el dispositivo móvil, y φ_i y λ_i expresan como constante, la longitud y latitud del punto seleccionado como origen. En el caso del movimiento sobre un meridiano, el desplazamiento longitudinal puede obtenerse fácilmente al multiplicar la variación angular en radianes por el radio promedio de la tierra (6,371,000 metros).

Donde Z representa en el mundo virtual, el desplazamiento en metros sobre el eje Norte-Sur desde el origen. Debe recordarse que los meridianos y paralelos no tienen la misma distribución al ajustarse al globo terrestre, por lo que una misma variación de longitud ($\Delta\lambda$), puede representar distintas magnitudes de desplazamientos lineales de acuerdo con la latitud en donde se efectúe la lectura. Buscando una relación que sea máxima en el ecuador, mínima en los polos y que varíe en función de un contorno circular se llega a

$$X = R\Delta\lambda\cos(\varphi_f)$$

Que define a X como el desplazamiento en metros del observador virtual sobre el eje Este-Oeste respecto al origen. Las variables obtenidas X y Z pueden ser procesadas por el motor de videojuegos para generar un desplazamiento resultante que manipule la ubicación del elemento observador del ambiente virtual. Las pruebas realizadas en las proximidades del yacimiento han señalado coherencia de visualización respecto a la proximidad o separación del punto de referencia, no obstante, es notoria la escasa rapidez con que se modifican las imágenes ofrecidas en pantalla, y esto es debido a que el sistema GPS no actualiza los valores de φ_f y λ_f cuando no se ha efectuado un desplazamiento resultante

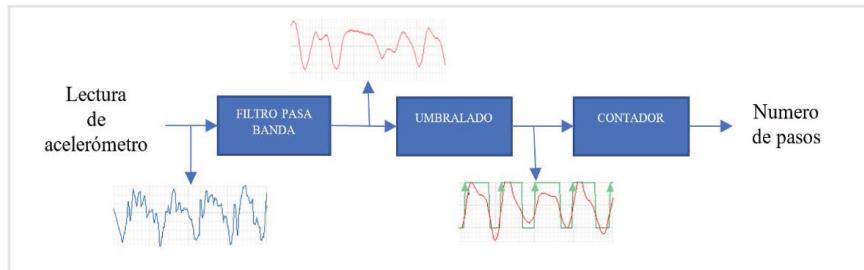


Figura 9. Secuencia de procesamiento de la señal del acelerómetro para realizar el conteo de pasos

superior a los diez metros. Como el usuario espera cambios consecutivos de imagen al caminar, se propuso que las actualizaciones de ubicación del observador virtual ocurran por la combinación de datos obtenidos por el acelerómetro y por el sistema GPS, como se explica en el siguiente apartado.

7. UBICACIÓN RELATIVA DEL USUARIO.

La disparidad entre la acción de marcha del usuario y los resultados gráficos ofrecidos por la aplicación, condujeron a incorporar un esquema de detección de desplazamientos menores del usuario mediante el conteo de sus pasos. Con ello es posible estimar un desplazamiento en su dirección de avance, para actualizar gradualmente la ubicación del observador hasta recibir una nueva actualización del sistema GPS.

La determinación de la cantidad de pasos desde la última actualización del sistema GPS puede realizarse con el uso del acelerómetro del dispositivo móvil bajo un procedimiento de análisis de señales como el que se presenta en la figura 9. Este sensor reporta valores de aceleración en los tres ejes del espacio tridimensional como un valor gravitacional. Y de estos, es la señal asociada al eje vertical, la que mejor describe la acción de agitación experimentada por el dispositivo en una caminata común. Cuando se mantiene el dispositivo en un estado estático el sensor reporta el valor de -1G que corresponde a -9.81 m/s^2 que está asociado a la acción gravitacional permanente. Por otro lado, en los ascensos y descensos de movimiento, la lectura de este eje manifiesta oscilaciones periódicas en torno al valor de -1G. Sin considerar los valores desiguales de amplitud, es posible determinar la cantidad de pasos dados por el usuario después de aplicar un filtro pasa bajas a la señal generada, y contando las

ocasiones en que la señal resultante cruza la media de -1G. Cuando la exploración continua del programa define que el usuario ha dado un paso, se realiza un incremento resultante de la longitud de un paso promedio sobre la proyección del vector normal opuesto a la pantalla del dispositivo móvil. Bajo estas condiciones, la ubicación general del observador dentro del mundo virtual cuando el usuario se desplaza en el yacimiento estará expresada por

$$X = R\Delta\lambda \cos \varphi_f + \sum_{i=0}^N L \sin \theta_i$$

y

$$Z = R\Delta\varphi + \sum_{i=0}^N L \cos \theta_i$$

Donde L representa la longitud de un paso promedio, N es la cantidad de pasos detectada por el sistema y θ_i es el ángulo de desviación de la pantalla respecto al polo norte geográfico en el momento en que se detectó un paso. Como puede esperarse, la determinación indirecta del movimiento puede generar una acumulación de error en el posicionamiento, sin embargo, este se elimina ante el reinicio de los conteos al recibir una actualización de los valores de latitud y longitud.

Debe observarse que el procesamiento de los valores de posicionamiento global y conteo de pasos determinan solo dos de los grados de libertad que debe tener el observador virtual en el entorno, y que definen su movimiento en el plano base del mundo virtual. En los siguientes apartados se describirá la obtención de los otros tres movimientos destinados a imitar la orientación del usuario.

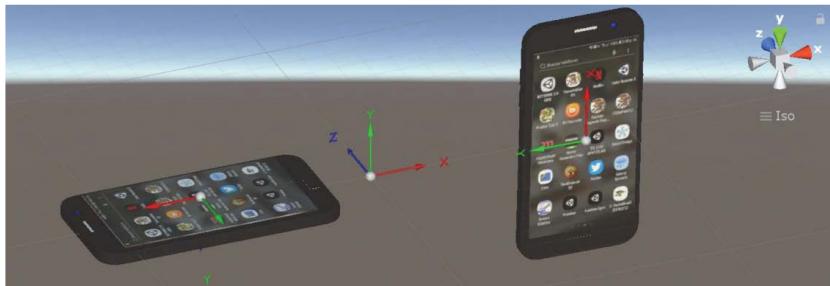


Figura 10. Orientación deseada (derecha) y la obtenida con la lectura directa del giroscopio (izquierda), para su representación ambas fueron aplicadas en el modelo tridimensional de un dispositivo móvil

8. DETERMINACIÓN DE LA ORIENTACIÓN DEL USUARIO

Cuando el usuario mantiene su posición en el interior de la zona arqueológica, podría contemplar el cielo, el suelo y los monumentos virtuales adyacentes realizando movimientos naturales de la cabeza y sujetando el dispositivo móvil para que la pantalla se encuentre frente a sus ojos.

Con la incorporación del giroscopio, es posible monitorear el conjunto de movimientos angulares dados al dispositivo móvil cuando es manipulado por el usuario. Esta información normalmente se almacena en una 4-tupla que describe un ángulo de giro y los tres ejes en torno a los cuales se desarrolla el movimiento angular. La mejor descripción del movimiento se desarrolla bajo el concepto del cuaternión. Un cuaternión (Q) es un número hiper-complejo compuesto por una parte real (w) y tres partes imaginarias (xi, yj, zk)

$$Q = w + xi + yj + zk$$

Si este número tiene magnitud unitaria, puede representar a la rotación de un objeto dentro de un entorno computacional (Guha, 2015). El cuaternión que establece una rotación debe representarse con la forma

$$Q = \cos \frac{\theta}{2} + \mathbf{u} \sin \frac{\theta}{2}$$

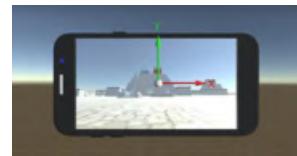
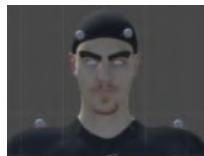
Donde θ representa el ángulo de rotación expresado en radianes en torno al vector \mathbf{u} . Si un objeto en el entorno computacional no tiene la orientación correcta, su cuaternión de orientación inicial Q_0

puede multiplicarse por una secuencia de cuaterniones constantes Q_n hasta que la lectura se ajuste a la orientación deseada. En el caso de requerirse una inversión de dirección de giro, es posible descomponer el cuaternión Q_n e invertir el signo de la componente deseada del vector \mathbf{u} . Para poder identificar la correspondencia entre la lectura inicial del giroscopio, la orientación real del dispositivo móvil y la orientación esperada del observador virtual es necesario verificar las acciones que normalmente realiza un usuario cuando emplea la aplicación de realidad aumentada y el resultado visual esperado tras desarrollar la acción.

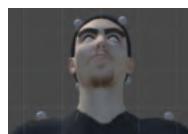
En la Tabla 1 se resume el conjunto de movimientos básicos del cuello humano y los movimientos rotatorios requeridos en el dispositivo móvil con la descripción de las percepciones visuales. Al tener tales referencias se determina que el dispositivo móvil debe ser manipulado en sujeción vertical con la pantalla dirigida hacia los ojos del usuario. Bajo esa configuración, todos los movimientos angulares realizados en los tres ejes deben ser imitados por el observador virtual. El motor de videojuegos realiza la lectura del giroscopio y devuelve el resultado en 4-tupla que describe el cuaternión base Q_0 , la comparativa de la lectura obtenida con respecto a la orientación esperada del dispositivo se presenta en la Figura 10.

Puede observarse que, en la intención de alinear los ejes cartesianos es necesario realizar dos transformaciones: una rotación Q_1 en torno al eje Z absoluto y seguida de otra Q_2 en torno al eje X absoluto. Ambas de 90° .

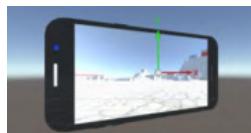
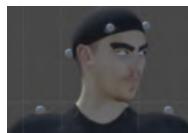
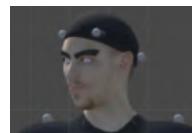
Tabla 1. Correspondencias esperadas entre el movimiento del cuello y los desplazamientos angulares del dispositivo móvil

Posición recta

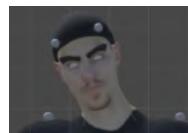
Permite la visualización del entorno frontal al espectador, desde los elementos inmediatos cuyas alturas son comparables a la altura del propio usuario, hasta los volúmenes de magnitud considerable ubicados en la lejanía.

Extensión*Flexión*

El acto de extensión del cuello motiva la visualización de elementos ubicados a mayor altura. Con ello es posible contemplar el cielo, astros y estructuras piramidales próximas y con proporciones superiores a la altura del espectador. La flexión permite observar el suelo junto a elementos de menor tamaño dispuestos sobre él, así como basamentos menores y desplantes de escalinatas.

Rotación izquierda*Rotación derecha*

Permiten la visualización del espacio ubicado a los costados del entorno frontal. De esta forma es posible contemplar basamentos u estructuras cuyas proporciones se extiendan hacia las laterales del espacio inmediato al usuario.

Flexión derecha*Flexión izquierda*

Aunque se presenta con una menor frecuencia, puede ocurrir como movimiento involuntario cuando los detalles de visualización no son inmediatos, o al imitar el espacio de visualización de otro espectador. Esta variante exige que la representación del plano base siempre sea paralela al suelo real sin importar la inclinación.

Siguiendo la configuración de la rotación como cuaternión, se desarrollan las constantes

$$Q_1 = \cos \frac{\pi}{4} + \sin \frac{\pi}{4} k$$

y

$$Q_2 = \cos \frac{\pi}{4} + \sin \frac{\pi}{4} i$$

Finalmente, la alineación del observador virtual será obtenida tras multiplicar el cuaternión inicial Q_0 por las trasformaciones descritas, obteniendo el cuaternión resultante Q_R .

$$Q_R = Q_2 Q_1 Q_0$$

Este resultado puede ser asignado al observador virtual, cumpliendo la anexión de otros tres grados de libertad de movimiento, respondiendo a las solicitudes de desplazamiento básico y orientación.

9. INTERACCIONES CON LA PANTALLA

DEL DISPOSITIVO

Finalmente, se incorporó la detección de instrucciones en la aplicación por la interacción del usuario con la pantalla del dispositivo móvil. De esta forma es posible extender los alcances de la representación tridimensional a espacios complementarios o a perspectivas que no son alcanzables por la aplicación debido a los recorridos definidos para el público o dificultades para alcanzar una orientación específica. Consecuentemente se realizó la clasificación de los posibles gestos que el usuario puede manifestar en la pantalla y la visualización que espera de ellos. A continuación, se hace una descripción de la serie de interacciones incorporadas, y posteriormente se ejemplifican tales resultados en la tabla 2.

Rotación a la derecha e izquierda. Se incorporó el reconocimiento de este gesto buscando que el usuario pueda dar continuidad a sus percepciones laterales del entorno sin la necesidad de realizar los desplazamientos angulares a su derecha e izquierda de acuerdo con los valores reportados por el giroscopio.

Elevación. La altura adecuada para establecer al observador virtual quedó definida por una constante de 1.7 m debido a la imposibilidad de establecer las distintas elevaciones en el interior del yacimiento, así como las diferentes alturas que pueden tener los visitantes. No obstante, se agregó esta orden para permitir al usuario elevar o descender su punto de visualización y con ello poder contemplar el entorno desde estructuras elevadas. Esta función completa los seis grados de libertad que puede tener el observador para ver y alcanzar cualquier parte del mundo virtual.

Aproximar/alejar. Este gesto es similar a la operación de zoom en múltiples aplicaciones para dispositivo móvil, no obstante, en el contexto tridimensional de este sistema, representaría un desplazamiento dentro del mundo virtual en la dirección de la pantalla. Al igual que en el caso de elevación, este gesto será detectando cuando dos dedos se ubiquen sobre la pantalla realizando deslizamientos en sentidos opuestos.

Selección de estructuras virtuales. Para atender los fines de difusión, la aplicación debe contar con elementos que brinden información complementaria al usuario del espacio y las estructuras que se están representando. En la aplicación, el usuario realiza una interacción sobre el área de la pantalla donde observa un modelo de la

estructura y el sistema reconoce el elemento al que se hace referencia, tras ello se presenta la información con objetos de texto en la interfaz que expliquen los datos comunes de una cedula arqueológica.

10. CONCLUSIONES

Con la incorporación de los algoritmos de detección de ubicación, orientación y órdenes en pantalla, el observador dentro del mundo virtual ejerce una serie de desplazamientos en el espacio que imitará la forma en que el usuario actúa en el interior del yacimiento. Con la intención de reforzar la percepción de realidad aumentada, se puede remplazar el horizonte y cielo virtuales por la secuencia de imágenes captadas por la cámara del dispositivo móvil como se muestra en la figura 11.

Tras comprobar el funcionamiento de la serie de actividades descritas, es posible señalar la correcta operación del sistema propuesto, pues cumple con la conceptualización de Realidad Aumentada al brindar los medios para consultar en el propio sitio, las imágenes de las posibles apariencias de la zona arqueológica. Por ello, se puede señalar que la aplicación de realidad aumentada es un producto adecuado y viable para implementarse en las zonas arqueológicas y ponerse al alcance de todos los usuarios que acuden al sitio. De esta forma es posible realizar una restitución visual que ofrezca la representación de un entorno que no ha sido contemplado desde hace más de mil años. Al verificar que los estudios de ingeniería pueden apoyar a los estudios arqueológicos, o bien la arqueología brindar áreas, oportunidades y retos a la ingeniería, el autor consi-



Figura 11. Prueba de integración en el sitio. Fue posible validar la operación de los sistemas de ubicación, orientación y conteo de pasos.

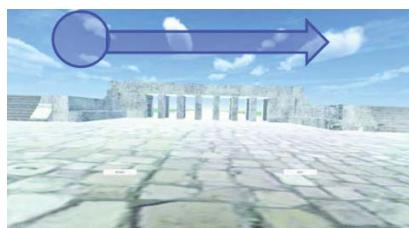
dera que la formación multidisciplinaria en ambas partes es una realidad que debe ser reforzada y apoyada, de tal manera que el recurso humano, al conocer los requerimientos y aportaciones de cada una, pueda impulsar la sinergia concurrente entre ambas disciplinas y llegar a la solución del problema con métodos y herramientas diseñados a la medida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Guha, S. (2014). Computer graphics through OpenGL®, from theory to experiments. USA: CRC Press.
 Kipper, G. & Rampolla, J. (2013). Augmented Reality, An Emerging Technologies Guide to AR. USA: Syngress
 Villar, Oliver. (2017). Learning Blender: a hands-on guide to create 3D animated Characters. USA: Addison Wesley.

Tabla 2. Representación de los gestos del usuario manifestados en la pantalla junto al efecto visual que producen

Rotación a la derecha e izquierda



Elevación



Aproximar/alejar



Selección de estructuras virtuales



Modelado 3D para la reintegración de la linternilla y el cupulín del campanario del Templo de Sanctorum, Ciudad de México

Edmundo Arturo Figueroa Viruega

DGSMPC - SECRETARÍA DE CULTURA / UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Minerva Rodríguez Licea

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Resumen: El abandono y falta de mantenimiento del templo de Sanctorum en la Ciudad de México propiciaron diversas alteraciones y afectaciones al conjunto religioso, destacando entre ellas la pérdida de la linternilla y cupulín del campanario. Sin embargo, optimizando los recursos materiales, humanos y tecnológicos con los que se contaba, fue posible recuperar dichos elementos durante un proceso de restauración, El modelado tridimensional fue una herramienta de gran trascendencia en el proceso porque ayudó a definir formas y proporciones, pero también permitió cuantificar y dimensionar la propuesta, agilizando el proceso, reduciendo errores y permitiendo correcciones de manera virtual sin afectar al recinto, lo que condujo a un proceso de obra más eficiente.

Palabras clave: restauración; modelado 3d; digitalización

Abstract: The abandonment and lack of maintenance in certain historical stages of the Sanctorum temple in Mexico City caused various alterations and affectations to the religious group, emphasizing among them the loss of the lintelilla and cupola of the belfry; however, during a restoration process, these elements were recovered, optimizing the material, human and technological resources that were available. Three-dimensional modeling was a tool of great importance in the process because it helped to define forms and proportions, but also to quantify and measure the proposal, streamlining the process, reducing errors and allowing corrections in a virtual way, without affecting the site, which led to a more efficient work process.

Keywords: restoration; 3d modelling; digitization

1. TEMPLO DE SANCTORUM, CIUDAD DE MÉXICO

1.1. Antecedentes de la fundación

El templo de Sanctorum es una edificación erigida por los frailes franciscanos en el Camino Real que comunicaba el conjunto conventual de San Gabriel Arcángel del antiguo pueblo de Tacuba de la Ciudad de México con el Santuario de Nuestra Señora de los Remedios en Naucalpan en el Estado de México; siendo un punto intermedio en el trayecto. Es probable que al momento de su fundación se tratara de una capilla abierta erigida para evangelizar a los moradores de la región que con el devenir de los años sufrió modificaciones para transformarse en un templo. La fundación data del siglo XVI, “*La fecha más antigua que encontramos en la construcción está grabada en un vano adintelado que da acceso al patio y ostenta el año 1668.*” (Molina P. Ó., 2012), aunque la imagen que presenta en la actualidad aduce a una etapa posterior -dado que el templo tuvo distintas fases constructivas en diferentes momentos históricos- siendo el siglo XVIII cuando se concluyeron los trabajos.

El apogeo y crecimiento del templo corresponde al incremento poblacional ocurrido en esa zona de la ciudad, lo que propició que paulatinamente los distintos pueblos crearan una unidad

urbana cada vez más extensa y compleja, tejiendo nuevas vialidades y conexiones que se unieron a los trazos existentes. "El desarrollo de las poblaciones satélite de Azcapotzalco, Tacuba, Guadalupe y Tacubaya incrementaron el área urbana de la ciudad, al mismo tiempo que absorbe las zonas rurales de antiguas haciendas y ranchos" (Chomel, 1988, pág. 104).

A pesar del crecimiento urbano, en algún momento -entre el siglo XIX y los primeros años del XX- el templo quedó en desuso. El abandono favoreció su deterioro, perdiéndose parte de la magnificencia que ostentó durante el Virreinato. Las afectaciones materiales se fueron acrecentando con el tiempo, tanto que incluso se pensó en demoler totalmente el inmueble. Afortunadamente esa idea no prosperó y en cambio se optó por reconstruirlo, devolviéndole sus funciones eclesiásticas.

Después de una época de esplendor durante el periodo virreinal, en las primeras décadas del siglo XX el templo se encontraba muy deteriorado y en peligro de desaparecer. Hacia 1914 perdió la techumbre y en 1926 se discutía la conveniencia de derribarlo para evitar algún accidente; Jesús Oropeza, secretario de Hacienda en aquel entonces, lo prohibió. Con el fin de asegurar su protección, el 15 de febrero de 1932 la iglesia fue declarada monumento histórico, aunque esto no debió modificar su estado, pues Manuel Toussaint en sus Paseos Coloniales, publicados en 1939, aún se refería a ella como una ruina. En 1947 se entregó el edificio a la junta vecinal para su reconstrucción; una placa de 1948 ubicada en el costado lateral izquierdo habla sobre esta hazaña, dedicada a la virgen de Guadalupe. Actualmente la iglesia está nuevamente abierta al culto (Molina, 2012, pág. 49).

Durante la etapa de abandono, el sitio continúo siendo concurrido por los habitantes de la región, debido a que el atrio del templo era también camposanto. A la postre, las actividades de inhumación afectarían la delimitación espacial del conjunto religioso, provocando la desaparición del atrio para dar paso a la instauración del Panteón Civil Sanctorum.

De acuerdo a Toussaint, este atrio era de pequeñas dimensiones y "más que la morada de la muerte, semejaba el jardín de la melancolía; pero jardín salvaje en

que la exuberancia de su vegetación quisiera ocultar las tumbas infames". La parte baja de la torre se usaba como oficina del camposanto (...) tomando como punto de partida el antiguo atrio del templo novohispano, se construyó el Panteón Civil de Sanctorum. El proyecto de 1931 pretendía aumentar su área hasta 76,321 metros cuadrados. Al fijar los límites del nuevo cementerio y darle un carácter civil, se decidió separarlo de la iglesia con una barda que rodea todo el conjunto (Molina, 2012, pág. 51).

1.2. Descripción del inmueble

El templo está resuelto en una nave rasa, en la que el presbiterio es de menores dimensiones, diferenciándose el espacio mediante un arco de cantera labrada con ornamentaciones alusivas a motivos vegetales; este elemento evidencia la existencia de una probable capilla abierta que existiera en dicho sitio y que se integrara posteriormente en la construcción del templo; a lo largo de la nave, los muros laterales presentan arcadas cegadas que ostentan óculos octagonales con derrames en cada eje marcando un ritmo. La cubierta es una techumbre de viguería de madera asentadas sobre canes de madera.

La fachada del templo presenta una portada en la que destaca el esquema de arco triunfal ricamente ornamentado con motivos vegetales, florales y bolas isabelinas en las jambas, alfiz, extradós y arquitrabe; el acceso al templo es a través de un arco de medio punto del que destaca la clave. El segundo cuerpo de la composición presenta en el centro un nicho con venera contenido por pilastras que sostienen un arquitrabe y sobre éste un frontón triangular roto. En cada costado del nicho se encuentra una ventana octogonal que ilumina el coro, flanqueados por ángeles esculpidos en cantera. El templo remata con un trazo mixtilíneo que en la parte central interrumpe el cornisamento para dar cabida a una cruz asentada sobre una esfera.

En el costado izquierdo del templo se eleva una torre campanario de tres cuerpos, probablemente erigida en la misma etapa que la nave; las jambas del campanario aparecen ornamentada igualmente con motivos vegetales e iconográficos realizados en argamasa; la torre aparece rematada con una cúpula semiesférica con linternilla y cupulín, decorada con

motivos diversos que enfatizan el carácter y estilo de la edificación. Cabe señalar que hasta antes de la intervención del 2009, el inmueble había perdido la linternilla, el cupulín, así como los aplanados de la torre y parte de la ornamentación.

Es importante destacar que en el Diario Oficial de la Federación fechado en 1982, mediante una Declaración de nacionalización de bienes, se hace una descripción somera de las características del inmueble que lo definen como:

El templo es de estilo plateresco, en la fachada se tienen pilas y jambas ornamentadas de ojarasca de piedra, sobre la entrada se, encuentra un nicho vacío que está limitado por columnillas rematadas por un cornisamento y un tímpano truncado y en ambos lados se tienen colocadas ventanas de ojo de buey que iluminan el coro, al centro hay una corona rematando el frontón curvo y una esfera sostenido una cruz, todo tallado en piedra. El presbiterio está dividido por un arco de medio punto al centro. La cimentación y muros son de mampostería de piedra. El techo de la nave es de terrado y enladrillado sobre vigas de concreto recubiertas de madera; pisos de mosaico, los recubrimientos interiores a la cal. (Secretaría de Gobernación, 1982)

1.3. Daños y deterioros

El conjunto religioso ha sufrido diversas modificaciones, afectando al partido arquitectónico; transformaciones principalmente efectuadas durante el siglo XX y en los primeros años del XXI, algunas propiciadas por el hombre, siendo alteraciones o adecuaciones que han modificado la espacialidad y el lenguaje arquitectónico repercutiendo en una clara lectura del recinto; aunado a ello, han existido también afectaciones de origen natural, que se han agravado con la falta de mantenimiento y una conservación adecuada, propiciando el deterioro por diversos agentes patógenos.

Las alteraciones al conjunto han transformado el espacio arquitectónico y por ende la concepción original, añadiéndose espacios y sustrayéndole otros; la más notable transformación al sitio religioso está vinculada con la aparición del panteón Sanctorum que se apoderó del atrio, para posteriormente levantar un muro que delimita el camposanto, pero

que a la vez confinó el templo, impidiendo la lectura espacial. La carente conservación histórica del inmueble propició diversos deterioros, entre los que destacaban la pérdida de la linternilla con vanos ciegos culminada con un cupulín como remate de la torre campanario, además de pérdida de ornamentaciones, juntas y aplanados en el cuerpo de la torre campanario.

2. TRABAJOS DE RESTAURACIÓN.

En el año 2009, la Dirección General de Sitos y Monumentos del Patrimonio Cultural, dependiente del entonces CONACULTA (actualmente Secretaría de Cultura), realizó trabajos de restauración en el recinto eclesiástico como parte del Programa Operativo Anual (POA). El plan incluía la reintegración de los elementos faltantes de la torre campanario. Los trabajos de restauración fueron arduos y complejos debido a que requerían varios procesos entre los cuales destacan la investigación documental, el trabajo en sitio, el desarrollo de la propuesta (que contemplaba la aplicación de herramientas digitales) y finalmente la ejecución de los trabajos.

Para llevar a cabo la intervención al inmueble, se consideró la factibilidad de incorporar herramientas digitales, aprovechando los avances tecnológicos que permiten el desarrollo de herramientas precisas y económicas. Para no llevar a cabo un procedimiento erróneo o irreversible directamente al templo, inicialmente se procedió a la recopilación de información a través de fuentes de información documental en archivos como bibliotecas, fototecas y mapotecas; posteriormente se desarrolló el proyecto, que incluía el levantamiento del estado actual de conservación, identificando los daños y deterioros, así como la propuesta de intervención.

Para dar seguimiento al desarrollo del proyecto, se realizó el levantamiento arquitectónico en tres dimensiones de la sección del campanario a reintegrar en base a las fotografías históricas obtenidas de la Coordinación Nacional de Monumentos Históricos del Instituto Nacional de Antropología e Historia. Se aprovecharon los medios digitales y virtuales por la viabilidad de recreación de un modelo que permitía visualizar, recrear y transformar un espacio, sin que

se atentara de forma directa al patrimonio; debido a que la finalidad es la preservación de los inmuebles que forman parte del legado nacional. Cabe mencionar que el procedimiento se llevó a cabo hace aproximadamente diez años, por lo que no existía el auge de tecnologías digitales que se emplean en la actualidad, debido a que son herramientas que se encuentran en constante actualización. "El ritmo de avances en tecnología digital es muy acelerado lo cual implica actualizaciones constantes con relación al equipo que se utiliza y los programas necesarios para el análisis y procesamiento de datos" (Cajas, 2009, pág. 2).

En el proceso efectuado para la restauración del campanario del templo de Sanctorum se recurrió al empleo y optimización de los recursos digitales con los que se contaba en ese momento; en particular el modelado tridimensional, ocupado para el desarrollo de la propuesta de reintegración de los elementos faltantes, considerando además que es una técnica "útil para investigar superficialmente los bienes culturales, en particular aquellos que se distinguen por su complejidad geométrica, como son esculturas, relieves, retablos, objetos cerámicos, metálicos y líticos (Jáidar, y otros, 2017, pág. 44).

El desarrollo virtual de los elementos permitió recrear ciertas secciones y visualizar algunos detalles que resultaron imperceptibles en las visitas al sitio o durante los levantamientos, tales como las molduras, cornisas, linternilla, cupulín, remates de barro vidriado, piezas de mosaico y talavera, ornamentación con motivos florales en pilastres y enjutas, figuras de arcángeles y la cruz de remate. Siendo, en consecuencia una metodología de gran ayuda que además proporcionó información que enriqueció la documentación, redundando en mayores aportaciones conducentes a una restauración y conservación más adecuada de los bienes histórico culturales.

2.1. Proceso de documentación

El proceso realizado para efectuar los trabajos de restauración y reintegración de la linternilla y del cupulín requirió de una investigación profunda que permitió efectuar los trabajos, siendo trascendental y de gran importancia la documentación, que se llevó

a cabo a través de consultas en bases de datos, archivos fotográficos y bibliográficos que permitieron hallar registros documentales que dieron sustento a la propuesta efectuada en el proyecto de restauración.

El primer acercamiento a la obtención de información histórica fue a través del archivo de la Dirección General de Sitos y Monumentos del Patrimonio Cultural, en el que se encontraba un levantamiento de la planta de conjunto del monumento histórico. Posteriormente se obtuvo información más completa a través de la Fototeca del Instituto Nacional de Antropología e Historia, al obtener una serie de imágenes de principios de siglo XX del templo, en las que aún aparecía la torre campanario completa; sin embargo, los ángulos en la toma de las imágenes y la poca nitidez de algunas, no permitían una lectura e interpretación completa pero aportando datos relevantes como volumetría y formas generales de la ornamentación.

El proceso de registro documental se complementó con la consulta y obtención de material bibliográfico en fuentes como el libro de Rivera Cambas, México pintoresco, artístico y monumental, la Mapoteca Manuel Orozco y Berra, en la que se encontró la delimitación del terreno del templo y cementerio en un mapa datado en 1865¹, además de la Declaratoria de Nacionalización de Bienes del Inmueble del DOF², permitieron la obtención de algunos históricos, arquitectónicos e iconográficos relevantes del recinto eclesiástico.

2.2. Levantamientos

En el tema de los monumentos históricos es de gran interés el levantamiento arquitectónico, por ser un proceso que se lleva a cabo de forma previa a cualquier intervención y es el testimonio legible que puede quedar plasmado en un medio digital o

¹ El mapa es denominado Plano General de los Terrenos de Varias Obras Pías pertenecientes al Gobierno Mexicano, Tacuba, 1865, levantado en 1865.

² El 05 de marzo de 1982, se emitió en el Diario Oficial de la Federación la Declaratoria de nacionalización de bienes del Inmueble que ocupa el Templo Católico Sanctórum y anexos, ubicado en la Delegación Miguel Hidalgo, D. F. con Pedro Ramírez y Vázquez, como Secretario de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, con fundamento en los artículos 24, 25 y 26 de la Ley de Nacionalización de Bienes

impreso, mostrando las características y volumetría de un espacio determinado. (Rodríguez, 2016)

El trabajo de documentación se complementó con acciones en sitio, realizándose el levantamiento arquitectónico de la torre campanario de forma tradicional, a partir del uso de flexómetro y distanciómetro para la elaboración de croquis y bocetos manuales, así como la elaboración de trazos en el sitio, documentando las dimensiones, detalles y elementos que conformaban el elemento, de forma extremadamente minuciosa para recabar toda la información necesaria para la elaboración de un levantamiento preciso.

Para llevar a cabo el proceso completo del levantamiento, fue necesario acceder a cada uno de los niveles de la torre campanario, ingresando al primer cuerpo desde el interior del templo a través del coro, accediendo por la escalinata interior de la torre, posteriormente fue necesario habilitar andamiaje que permitiese acceder a los niveles superiores; durante el proceso se logró registrar los vestigios del arranque del cupulín, lo que dio la primera parte del dimensionamiento (Figura 1).

Cabe mencionar que se realizaron diversos levantamientos, con la finalidad de obtener la información completa y precisa, seccionándose las áreas de la torre campanario y las ornamentaciones existentes. Durante dichos levantamientos se efectuó el registro y medición de los elementos decorativos existentes, así como los daños, deterioros y pérdidas para considerarlos dentro del proceso de intervención como parte de la propuesta integral de restauración y su posterior intervención; también fue de gran relevancia el hallazgo de algunas piezas cerámicas que conformaban la ornamentación de la cúpula y el cupulín y que pudieron reproducirse en formas y tonalidades similares; se encontraron piezas de talavera de 10 x 10 cms. y de 8 x 8 cms, en colores blanco y azul, con siete figuras diferentes; algunas con rasgos femeninos, otras con hombres montados a caballo y otras pieza con formas orgánicas; asimismo, se encontraron unas vasijas cuya dimensión oscilaba entre los 12 cms. de diámetro, en colores blanco, amarillo, naranja y azul, con acabado vidriado que eran parte decorativa del cupulín.



Figura 1. Medición de base existente como parte del levantamiento arquitectónico. Imagen de autor.

El levantamiento arquitectónico se completó con un levantamiento fotográfico digital que permitió registrar cada una de las secciones y detalles, además de proporcionar vistas generales de la torre; cabe hacer mención que las imágenes resultaron de gran trascendencia y utilidad durante el desarrollo de la propuesta de reintegración.

2.3. Digitalización

Tras realizar los levantamientos fotográficos y arquitectónicos de forma tradicional en el sitio, se procedió a digitalizar la información mediante la realización de dibujos en dos dimensiones para la generación de los planos arquitectónicos de la torre campanario del inmueble. Los planos bidimensionales se conformaron de plantas arquitectónicas, cortes, fachadas, cortes por fachada, detalles de la ornamentación con bajorrelieves de argamasa y cantera, además de los correspondientes a daños y deterioros detectados. Para ello se recurrió al manejo del software de diseño asistido por computadora AutoCAD, haciendo uso de diferentes capas (*layers*) para cada uno de los elementos necesarios para la representación gráfica completa del elemento arquitectónico.

Luego de conjuntar la información obtenida en campo y la digitalizada, se procedió a la realización de una propuesta proyecto de intervención (Figura 2) estableciendo las acciones necesarias a trabajar en base a las prioridades de ejecución y el presupuesto, sin sobrepasar el monto asignado. Cabe mencionar que la ejecución del proyecto se consideró

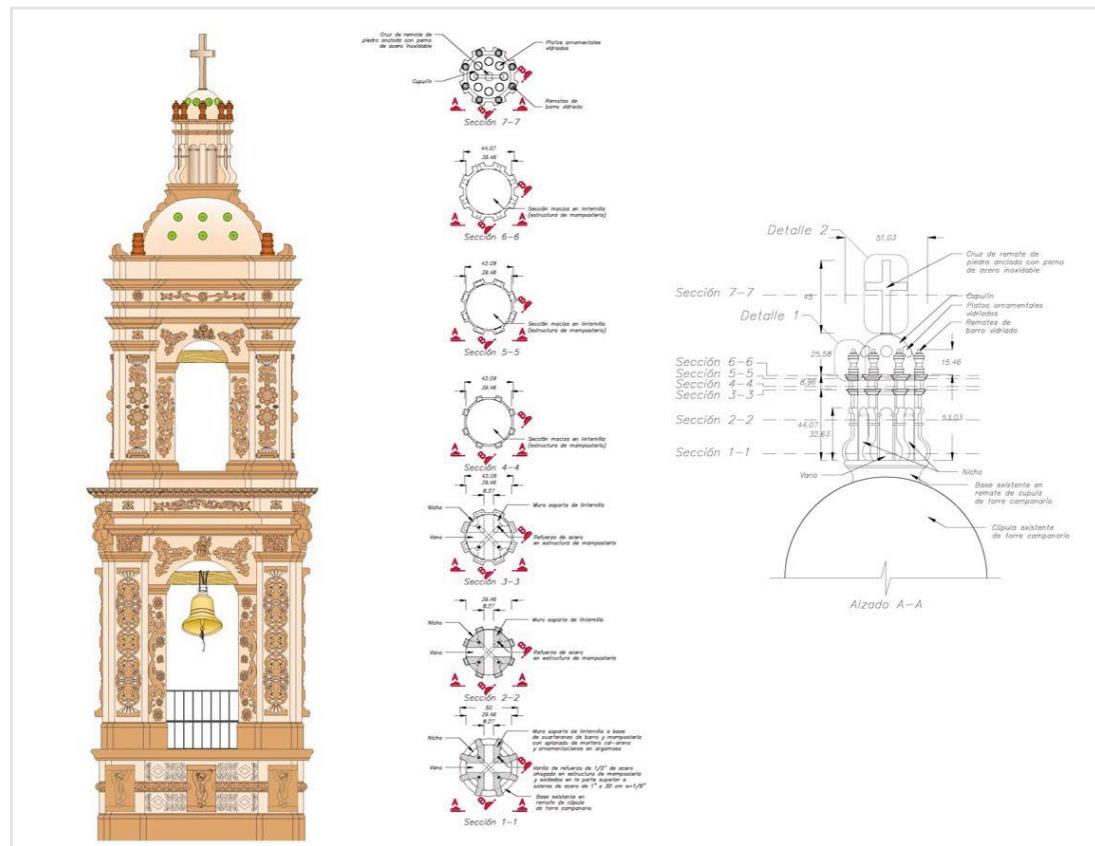


Figura 2. Dibujo elaborado en AutoCAD del campanario en base a los levantamientos arquitectónicos. Imagen de autor.

para los ejercicios 2009 y 2010 del Programa Operativo Anual de la Dirección de Obras de la Dirección General de Sitios y Monumentos del Patrimonio Cultural a través de la Subdirección de Restauración de Bienes Históricos y Culturales a cargo del Arq. Gustavo Flores Reynoso y con el apoyo del Arq. Miguel Ángel Zerecero Chávez, Jefe del Departamento de Normatividad y Asesoría a Comunidades.

La digitalización de la información permitió el registro y cuantificación de las acciones a ejecutar de manera más precisa, permitiendo un proyecto más acorde a la realidad y las necesidades del inmueble, facilitando el dimensionamiento y volúmetrías necesarias para la elaboración de catálogo de obra, especificaciones y presupuesto. En caso de no haberse realizado un estudio y propuesta de tal magnitud, se pudo haber llevado a cabo un procedimiento erróneo e irreversible que afectara la integridad del inmueble, por aplicarse una propuesta analizada de forma superficial.

2.4. Edición de imágenes

La información obtenida con los levantamientos se integró con la documental, conjuntando en ese instante del proceso ambas partes. Lamentablemente se obtuvieron únicamente once fotografías, de las cuales, únicamente en tres de ellas se apreciaba la linternilla con la ornamentación y no se lograban apreciar gran parte de los detalles. Por lo que para clarificar de mejor manera las formas se recurrió al empleo del programa informático Corel Photo Paint para la edición de fotografías y con ello disminuir las deficiencias técnicas y deformaciones de las fotografías, optimizando los recursos digitales existentes para la búsqueda de las formas como parte del proceso de restauración.

Empleando las herramientas de edición de Corel Photo Paint se corrigió la deformación producida por el ángulo visual de la perspectiva, lo que alteraba la dimensión, proporción y forma de la parte superior de la torre. Asimismo se realizaron máscaras para

crear efectos de transparencia, con lo que se permitió destacar algunos objetos en la fotografía. También se hizo una corrección de las tonalidades, a pesar de ser imágenes en blanco y negro se efectuaron ajustes en la curva tonal que colaboraron en destacar elementos puntuales, complementando la edición con ajustes de imagen con el equilibrio de brillo, escala de grises y saturación del objeto

Una vez corregidas, editadas y procesadas las imágenes fueron ingresadas en el dibujo de AutoCAD, para tomarlas como referencia, procediendo a buscar puntos de concordancia en común para escalar el dibujo y la imagen a dimensiones reales, para después sobreponer el dibujo realizado en la fotografía y posteriormente proceder a un cotejo de formas, proporciones y demás información contenida, complementando el dibujo.

2.5. Modelado

Posteriormente, para concretar la propuesta de intervención de la torre campanario reintegrando la linternilla, el cupulín y las ornamentaciones, se procedió a la elaboración de un modelo tridimensional de los elementos del remate de la torre, empleando igualmente AutoCAD, importando los dibujos realizados y la información bidimensional obtenida; con lo que se pudo corroborar la volumetría y las proporciones; además, se logró efectuar la

cuantificación del material requerido para la ejecución de los trabajos

El modelado fue un proceso complejo debido a las formas que presenta la torre; aunado a ello, existió la dificultad de que el proceso de digitalización se basó en una propuesta de reintegración de un elemento que se había perdido y del cual sólo se tenía el vestigio de la sección de arranque, aunado a la escasa documentación gráfica obtenida de los archivos, por lo que el material de apoyo obtenido resultó de gran relevancia, en este caso las fotografías históricas.

Debido a la complejidad de las formas y para optimizar tiempo, se trabajaron por separado los elementos que conforman la linternilla, creándolos de manera casi simultánea, al ser necesario el cotejo de formas y dimensiones, para obtener una total sincronía, dentro de un proceso de simplificación y esquematización; posteriormente, los diversos volúmenes generados se integraron en un solo modelo (Figura 3), con el cual se pudo trabajar para definir la percepción visual y el impacto que tendría la reintegración del elemento sobre el inmueble.

2.6. Renderizado y fotomontaje

El modelo tridimensional trabajado en AutoCAD fue complementado con un modelo renderizado elaborado con el programa Artlantis Studio, (ArchiCAD)



Figura 3. Vistas del modelo tridimensional de la linternilla y cupulín. Imagen de autor.



Figura 4. Fotomontaje de linternilla y cupulín como propuesta de reintegración. Imagen de autor.

debido a que durante el proceso de ejecución del levantamiento y proyecto, era uno de los pocos en el mercado que permitía el balance de los blancos, muy importante por la recargada ornamentación, así como una adecuada oclusión ambiental, permitiendo apreciar las sombras naturales para determinar el grosor de la argamasa para los ornamentos, generándose una óptima profundidad de las piezas.

Se aprovechó la simplicidad de la plataforma y el fácil dominio del programa, dado que el propósito de la representación era obtener una imagen sencilla que destacara las formas enfatizando el juego de luces y sombras de la linternilla, optimizando las formas, texturas e iluminación. La fácil inserción de imágenes y texturizados en el programa permitió que mientras se desarrollaba el modelado, se pudieran determinar los tipos de enlucidos, así como la determinación de cromática y anclajes. (Artlantis Studio, 2005).

La imagen obtenida con el proceso de renderizado sirvió como base para efectuar un fotomontaje sobre una foto del levantamiento que tuviera una vista similar a una de las fotos históricas; para compa-

rarlas entre sí y de ser necesario realizar ajustes; la manipulación de las imágenes se realizó en Corel Draw con el propósito de profundizar en el análisis y estudio para implementar la propuesta de restauración considerando la reintegración de la volumetría y proporciones (Figura 4). Asimismo la imagen sirvió para presentar la propuesta y analizar el impacto que esta tendría.

Cabe destacar que si bien existían en el momento diversos programas de modelado y renderizado para crear imágenes en 3D, el propósito de este trabajo se centró en recuperar los elementos faltantes del inmueble a partir de los testimonios y vestigios existentes; por ello el resultado fue sencillo, tal vez burdo, dado que no se enfatizó la integración de colores y texturas para procesarlas para construir un modelo digital de mejor calidad, puesto que el objetivo primario era crear una modelo que sirviera como herramienta de trabajo que facilitara el proceso para intervenir un inmueble histórico y no la creación de un modelo con fines educativos, culturales o algún otro.

3. PROPUESTA DE RESTAURACIÓN

Teniendo la información digitalizada y modelada se procedió a analizar la propuesta de reintegración, revisando las formas, contrastándola con la información obtenida tanto histórica como en sitio, corroborando el diseño de la propuesta; posteriormente se desarrollaron las especificaciones de obra, así como la cuantificación de material y los trabajos necesarios para la correcta ejecución de la restauración.

3.1. Ejecución de los trabajos

Los trabajos de restauración tuvieron como referencia los dibujos y modelos obtenidos para desarrollar las diversas actividades durante la ejecución, se generaron plantillas escala 1:1 que permitieron hacer una presentación preliminar de la linternilla y cupulín, realizando un modelo esquemático en poliestireno, para presentarlo en el sitio previo a la ejecución de los trabajos definiendo los últimos aspectos del diseño.

La reintegración de la linternilla y el cupulín requirieron de materiales diversos, acordes a la fábrica



Figura 5. Imágenes del proceso de obra. Imagen de autor.

del inmueble, empleando piedra, ladrillo y cal primordialmente (Figura 5), siendo estos los materiales base del proceso de restauración, completando los trabajos con la reintegración de aplanados a base de cal-arena, integración de cromática además de ornamentaciones en los cuerpos de la torre, también se fabricaron ornamentaciones de barro teniendo como referencia las piezas halladas durante el levantamiento, reintegrándolas en el remate de la torre.

La culminación de los trabajos de restauración permitieron que el inmueble recuperara su fisonomía (Figura 6), restableciendo el valor intrínseco de la obra; preponderando la historia y los vestigios arquitectónicos como parte del legado histórico cultural de los pueblos, enfatizando la relevancia y trascendencia de la recuperación, protección, conservación y salvaguarda del patrimonio.

4. COROLARIO

La restauración del templo de Sanctorum en la Ciudad de México permitió que el inmueble recuperara parte de la prestancia con la que fue concebida, materializando las ideas de una propuesta con el apoyo tecnológico, empleando herramientas digitales que facilitaron el desarrollo y ejecución de los trabajos en sitio. El empleo de herramientas digitales permitió un mayor acercamiento al inmueble, analizándolo de forma distante pero a la vez cercana, entendiendo el diseño, sus formas y su comportamiento, obteniendo material trascendental en un proceso cognitivo personal que devengó en una

aportación para la sociedad al regresarles un elemento de la identidad local.

El empleo de las herramientas digitales para la elaboración de un modelado tridimensional dentro de un proceso de restauración permite la realización de pruebas diversas que repercuten en la reducción de tiempos y errores durante la ejecución de los trabajos, agilizando los procesos de diseño dentro de la restauración de monumentos, permitiendo que el patrimonio recupere su dignidad, reincorporando la prestancia de los inmuebles, situación que impacta en el beneficio de las sociedades.

La conservación intenta retardar la acción dañina del tiempo y los efectos del deterioro de los bienes culturales mediante diversas estrategias de intervención, tanto directas como indirectas, mismas que han variado con el transcurso de los años. Una acción fundamental es la documentación, cuyas posibilidades se abren al contar con instrumental y personal especializado en técnicas digitales (Jáidar, y otros, 2017, pág. 44).

Estas tecnologías se han perfeccionado al grado que permiten incluso detectar pequeñas grietas o fisuras de los elementos y así monitorearlas, o planear acciones para su conservación; en fin, los medios digitales son importantes aliados para la preservación de los bienes materiales de la humanidad y por ende, es necesario recurrir a ellos implementando estrategias que conduzcan a la conservación patrimonial.



Figura 6. Comparativa del antes y después de los trabajos de restauración de la torre campanario. Imagen de autor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Artlantis Studio. (2005). *Manual de Usuario*. Obtenido de http://help.artlantis.com/v5/Help/PDF/Manuel_ArtlantisHelp_S_m_en.pdf
- Cajas, A. (2009). Recursos digitales 3D y el registro arqueológico. Asociación FLAAR Mesoamérica.
- Chomel, M. y. (1988). La Ciudad de México y su Valle. En I. / . INAH, *Mapas y planos de México. Siglos XVI al XIX. Catálogo de exposiciones Castillo de Chapultepec*. México: INEGI.
- Jáidar, B. Y., López, A. M., Rodríguez, V. C., Villaseñor, I., Ruigómez, C. A., & Fragoso, C. I. (2017). Digitalización tridimensional para la documentación, análisis y conservación de bienes. *Intervención, Revista Internacional de Conservación, Restauración y Museología*, vol. 8 núm. 16, julio-diciembre INAH, 43-56.
- Molina, P. Ó. (2012). *Breve Historia y Relación del Patrimonio Tangible de la Delegación Miguel Hidalgo*. México : Delegación Miguel Hidalgo, Dirección Ejecutiva de Cultura.
- Molina, P. Ó. (2012). *Breve Historia y Relación del Patrimonio Tangible Delegación Miguel Hidalgo*. México: Delegación Miguel Hidalgo.
- Rodríguez, L. M. (2016). El uso de la metodología apropiada para el levantamiento arquitectónico del patrimonio inmueble, aplicación del levantamiento tradicional en el portal Medellín, Colima. En M. F. Felip, O. J. Gual, & G. M.-G. Cabeza, *Dibujar, construir, soñar. Investigaciones en torno a la expresión gráfica aplicada a la edificación* (págs. 623-638). Tirant Lo Blanch.
- Secretaría de Gobernación. (05 de marzo de 1982). Declaratoria de nacionalización de bienes del Inmueble que ocupa el Templo Católico Sanctórum y anexos, ubicado en la Delegación Miguel Hidalgo, D. F. *Diario Oficial de la Federación*. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.

La realidad aumentada en México. Una revisión de su uso en la divulgación del Patrimonio Cultural

Alma Itzel Méndez Lara
CUAUHTÉMOC, CIUDAD DE MÉXICO

Resumen: Este capítulo aborda la aplicación de la realidad aumentada (RA) en la divulgación del patrimonio cultural en México, un tema poco estudiado hasta ahora. Esta tecnología lleva algunas décadas desarrollándose en diferentes partes del mundo y continúa impulsándose para introducirse en la vida cotidiana. En México, se han llevado a cabo diversos trabajos que utilizan la RA; sin embargo, no se ha hecho una revisión crítica de los mismos. En este texto, inicialmente se revisan los acontecimientos que han precedido al desarrollo de la RA, después se explora cómo la tecnología se ha introducido en la divulgación del patrimonio cultural desde diferentes áreas. Posteriormente, se analiza una serie de aplicaciones de RA desarrolladas en México con el objetivo de mostrar la situación actual de la misma en nuestro país, las posibilidades de su uso, la consideración de aspectos esenciales para mejorar su desempeño, así como para fomentar el acercamiento entre el patrimonio cultural y sus públicos.

Palabras clave: realidad aumentada; patrimonio cultural; tecnología; divulgación

Abstract: This chapter focuses on the application of augmented Reality (AR) for disseminating Mexican cultural heritage. AR technology has been in development for at least three decades and continues to influencing everyday life. Several projects have been carried out in Mexico using AR. However, the success or failure of such efforts has not been examined. This article describes some events that have preceded the development of the RA; then, it explores how the technology has been introduced in the dissemination of the cultural heritage from different areas. Subsequently, a series of RA applications developed in Mexico are analyzed with the aim of showing the current situation in this country, the possibilities of its use, the consideration of essential aspects to improve its performance, as well as to fostering the rapprochement between cultural heritage and the public.

Keywords: augmented reality; cultural heritage; technology; dissemination

1. INTRODUCCIÓN

La realidad aumentada (en adelante RA) ha tenido impacto desde hace algunos años en diferentes campos como el entretenimiento, la medicina, la educación, el turismo y el patrimonio cultural. Este capítulo se enfocará en analizar sólo el último aspecto enlistado, el del patrimonio cultural, ya que la RA es una herramienta atractiva, aunque también compleja que puede facilitar la comprensión de los bienes culturales.

El desarrollo de esta tecnología se ha dado principalmente en Europa y en Estados Unidos. No obstante, es fundamental revisar los avances que se han alcanzado en México. Como lo menciona Jiménez-Badillo (2016):

...el sector cultural de México aún sufre la falta de información actualizada sobre desarrollos tecnológicos que podrían ayudarle a cumplir con sus tareas de difusión y divulgación. A diferencia de lo que ocurre

en regiones como Europa, donde regularmente se publican reportes de la situación que guarda la adopción de nuevas tecnologías.

El conocimiento de diferentes proyectos tecnológicos aplicados al patrimonio puede resultar útil para propuestas futuras donde se descubran elementos esenciales para este tipo de desarrollos. Todo indica que la RA permanecerá y su uso en el ámbito cultural no debe quedar rezagado, mucho menos en el olvido.

El presente capítulo se divide en tres apartados. En primer lugar, se esbozará el desarrollo de la RA, sus primeros pasos y sus avances en los últimos lustros. Posteriormente, se analizará la realidad aumentada como herramienta para la divulgación del patrimonio. Se revisarán diversas aplicaciones que la han utilizado para, finalmente, realizar un balance de la situación actual de dicha tecnología en México.

2. DOS REALIDADES SE ENTRELAZAN: UN RECORRIDO POR UNA NUEVA TECNOLOGÍA

La idea de crear un dispositivo que mezcle el mundo real con el virtual lleva algunas décadas desarrollándose. En la Tabla 1 se muestran de manera breve algunos acontecimientos que han sido relevantes en la historia de la RA para su desarrollo y evolución.

Es importante mencionar que tanto el desarrollo de *software* como el diseño, producción y distribución de *hardware* con mejoras en sus componentes hacen posible el desarrollo, implementación y adopción de la RA. En 2014 la consultora estadounidense de investigación de tecnologías Gartner, estimó un tiempo de adopción para la RA de 5 a 10 años. En 2017 avanzó en su desarrollo y grandes empresas siguen apostando por ella, además continúa siendo tendencia dentro de las experiencias inmersivas (Panetta, 2017).

En México hay avances en aspectos clave para su adopción. En la *Encuesta nacional sobre disponibilidad y uso de tecnologías de la información en los hogares* se menciona que 60.6 millones de mexicanos utilizan teléfonos inteligentes (INEGI, 2016). Además, con respecto a la conexión a internet, en el segundo semestre de 2017 la penetración del servicio de banda ancha fija fue de 49 por cada 100 hogares,

mientras el 17.3% fue por medio de fibra óptica, la cual puede brindar una velocidad hasta 10 veces mayor que la anterior. En 2017, el número de líneas de banda ancha móvil llegó a más de 76 millones de personas (Instituto Federal de Telecomunicaciones). También, en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 y en el Programa Especial de Arte y Cultura del gobierno federal existe un interés por impulsar la cultura mediante el uso de nuevas tecnologías (Secretaría de Gobernación, 2013; 2016).

3. LA TECNOLOGÍA COMO HERRAMIENTA PARA EL PATRIMONIO

La tecnología es parte de nuestra vida diaria ya sea por trabajo, entretenimiento o simplemente para estar comunicados. Actualmente, existe una gran variedad de dispositivos tecnológicos; ha quedado lejos la época en donde sólo teníamos computadoras de escritorio, ya que a éstas se han sumado las *laptops*, tabletas y teléfonos inteligentes, o los aparatos denominados *wearables* en inglés, los cuales pueden llevarse en la ropa o el cuerpo (Gándara, 2017). Desde hace unas décadas, la tecnología ha penetrado en todos los campos, incluido el cultural.

En la década de los ochenta, Gándara (2017) menciona que el primer uso de la tecnología dentro del Instituto Nacional de Antropología e Historia fue en el área de investigación con la captura, proceso y análisis de datos; después se aplicó en la docencia y en tercer lugar en la divulgación. Casi de manera simultánea se aplicó en el campo de la conservación y en la siguiente década continuó el impulso de la adopción tecnológica con proyectos tales como la digitalización del acervo de la Fototeca Nacional, el comienzo de la utilización de computadoras personales como recursos museográficos y la presencia del INAH en internet. A partir del año 2000, se consolidó el uso de internet dando oportunidad a la creación de páginas web de un gran número de museos o instituciones culturales públicas o privadas.

En la época actual, la evolución y aplicación de la tecnología continúa y, aunque ambos procesos no puedan darse de forma simultánea, han surgido varias propuestas desde las más sencillas hasta productos con mayor complejidad técnica. Entre

Tabla 1. Breve historia de la realidad aumentada.

Año	Acontecimiento
1962	Morton Heilig fabricó Sensorama donde se conjuntaron imágenes, sonido, vibración y olfato, lo que hoy se conoce como multisensorial (Trilnick, 2018).
1968	Ivan Sutherland creó el primer sistema de realidad aumentada y virtual en el que se creaban dibujos sencillos mostrados en tiempo real (Alcarria, 2010).
1974	Una de las obras más relevantes de Myron Krueger fue Videoplace donde por primera vez había interacción entre usuario y objetos virtuales con la combinación de un proyector y videocámaras (Camejo, s.f.).
1992	Caudell y Mizell crearon el término de realidad aumentada para definir la acción de agregar al mundo real información generada por computadora. Mientras trabajaban para Boeing propusieron el uso de esta tecnología para mejorar la eficiencia de las tareas de los trabajadores (Alcarria, 2010).
1996	Jun Rekimoto diseñó los marcadores de matriz 2D (cuadrados con forma de código de barras) este fue uno de los primeros sistemas de marcadores (Rekimoto, s.f.)
1999	Hirokazu Kato desarrolló el ARToolKit, una biblioteca que permite la creación de aplicaciones de realidad aumentada empleando marcadores y una plantilla para el reconocimiento de patrones (Alcarria, 2010).
2000	Bruce Thomas desarrolló el primer juego al aire libre con dispositivos móviles de realidad aumentada ARQuake, los jugadores debían llevar un sistema de cómputo portátil en una mochila, un casco de visión estereoscópica y un mando de dos botones (Canul, 2013).
2004	David Helgason, Nicholas Francis y Joachim Ante crearon un motor de videojuegos con el objetivo de democratizar este tipo de desarrollo, así nació Unity. Actualmente, es uno de los motores más utilizados con el que se están desarrollando muchas de las aplicaciones de realidad aumentada que se ven hoy (Candil, 2014).
2008-2009	Mobilizy creó Wikitude, aplicación que agrega información al mundo real con información obtenida de Wikipedia. Un año después, SPRXmobile lanzó Layar una variante de Wikitude, que es un sistema de capas que agrega datos de diversas fuentes (Alcarria, 2010).
2012	Google lanzó al mercado unas gafas para realidad aumentada conocidas como Glass (Canul, 2013).
2013	Sony desarrolló The Playroom una colección de videojuegos de realidad aumentada para el PlayStation 4 (Sony Interactive Entertainment Europe Limited, 2018).
2014	Google inició el Proyecto Tango cuyo objetivo era crear mapas realistas en 3D para generar experiencias virtuales mientras el usuario se movía en el mundo real (Rosenblatt, 2014).
2015	Microsoft sacó al mercado sus gafas de realidad aumentada HoloLens (BBC Mundo, 2015).
2016	Pokémon Go, este juego de realidad aumentada se volvió el más exitoso en su tipo. Actualmente, sigue vigente y cuenta con muchos seguidores.
2017	<ul style="list-style-type: none"> • Apple y Google lanzaron sus propias plataformas de desarrollo de realidad aumentada ARKit y ARCore, respectivamente. Este último como sustitución del Proyecto Tango, el cual desapareció en este año (Jara, 2017). • Apareció la segunda versión de los Google Glass pero ahora para el mundo empresarial (Muela, 2017).
2018	<ul style="list-style-type: none"> • Intel presentó su nuevo proyecto de realidad aumentada, las gafas Vault con proyección láser y un diseño simple (Redacción SDP Noticias, 2018). • Harry Potter y Los Cazafantasmas tendrán su versión en realidad aumentada. • Magic Leap One anunció el lanzamiento de su dispositivo de realidad aumentada para este año (Swider, 2018). • Las grandes empresas como Facebook, Samsung, Apple, Google, Microsoft, Sony, entre otras siguen apostando por esta tecnología.

dichos trabajos se pueden encontrar diversas publicaciones electrónicas como *Estudios de Cultura Maya* de la UNAM que se dedica a la difusión de las investigaciones realizadas en el área maya y puede consultarse en español, inglés o francés (UNAM, 2016) o revistas especializadas de diferentes temas como *Arqueología, Cuiculco, Hereditas o la Gaceta de Museos* sólo por mencionar algunas del INAH (2016) todas disponibles para su descarga o consulta en línea.

Por otro lado, las redes sociales se han vuelto un medio indispensable para comunicar e interactuar con los seguidores, por ello los museos, sitios patrimoniales o instituciones culturales las han incorporado, se puede encontrar información de actividades en Twitter o Facebook, compartir fotografías en Instagram o disfrutar videos en YouTube de lugares como el MUNAL, Palacio de Bellas Artes, el Antiguo Colegio de San Ildefonso, el INAH, el INBA o lugares menos conocidos como el recién creado Museo de la Radio o el Museo de los Ferrocarriles, las redes sociales además de ser eficientes también son una forma más económica de darse a conocer.

Desde hace ya unos años comenzaron a surgir espacios en la red donde se albergan objetos digitales con el objetivo de organizar, almacenar, preservar y difundir, estos son los repositorios digitales, muchos de ellos son de acceso libre. En 2018 el Instituto Nacional de Antropología e Historia presentó la Mediateca con más de medio millón de objetos culturales y de acceso abierto; el mismo año se lanzó MEXICANA de la Secretaría de Cultura en la que se encuentran documentos, mapas, fotografías, videos, audios, piezas arqueológicas, cortometrajes, obras de teatro, partituras, programas de televisión y más de diferentes acervos nacionales (Secretaría de Cultura, 2017a).

Otro recurso tecnológico muy utilizado son los modelos 3D, los cuales pueden ser virtuales o impresos. Actualmente, debido a la variedad en los escáneres y técnicas utilizadas es posible escanear desde un objeto pequeño hasta edificios o lugares completos. Los modelos tridimensionales se están utilizando para que el usuario pueda visualizarlo desde una computadora o algún dispositivo móvil, algunas de las aplicaciones móviles que más adelante

se analizarán integraron en sus contenidos este tipo de objetos (Teotihuacán RA y Ver México). En el caso de escaneos de lugares completos, un proyecto ambicioso es el del Gran Acuífero Maya en Chichen Itzá que pretende crear el primer modelo digital en tercera dimensión, y utiliza equipo como el radar de penetración terrestre y otros dispositivos como drones o tecnología de datos LIDAR (INAHTV, 2017). En el caso de la impresión de modelos 3D, sirven para mostrar físicamente algún objeto que no pueda estar exhibido, ya no exista o por la necesidad de realizar objetos a escala. Un proyecto para preservar de alguna manera lo que se ha perdido fue la realización de la réplica del Arco del Triunfo de Palmyra que fue destruido por ISIS (Jalabi, 2016). En Perú se hizo la reconstrucción facial de la primer mujer líder de la civilización Moche, la Señora de Cao, por medio del escaneo 3D, técnicas forenses y un estudio de las mujeres de la región descendientes de mochica se logró la impresión tridimensional del personaje (Grupo Abstract, 2017).

Para facilitar el acceso a un mayor número de personas a diferentes espacios patrimoniales se puede recurrir a los recorridos virtuales, en la Medioteca del INAH se pueden disfrutar visitas virtuales a algunos museos, zonas arqueológicas y exposiciones (INAH, s.f.) o en la página de Paseos virtuales del mismo instituto (INAH, 2015a). También se han desarrollado espacios virtuales como galerías o museos, los cuales pueden ser sitios web como: el Museo Virtual de Pachuca (MUVIPA) (Ayuntamiento de Pachuca de Soto, s.f.), el Museo Virtual Chichen Itzá alojado en la página web de Sketchfab en el que se muestran modelos 3D interactivos, dichos objetos pertenecen a piezas que no son accesibles para el público que visita la zona arqueológica (Zona Arqueológica de Chichen Itzá, 2017) o proyectos más ambiciosos, como el Museo Virtual de Artes (MUVA) de Uruguay, que a pesar de no ser mexicano vale la pena mencionar, ya que este espacio en la red es completamente virtual, se creó desde el diseño del edificio para dar a conocer el arte contemporáneo uruguayo ante la dificultad para construir un espacio físico (Haber, 2008). Otra forma de usar los modelos 3D es realizar recreaciones virtuales de una época

específica, un ejemplo fue el proyecto interactivo *Zócalo 1910, paseo virtual* del Centro Multimedia del Centro Nacional de las Artes, donde se recreó la arquitectura, el mobiliario y vestimenta de principios del siglo XX (CONACULTA-CENART, 2010).

Por otro lado, ya desde hace unos años se han desarrollado actividades de luz y sonido que se conocen como *videomapping* donde se realizan proyecciones en fachadas o diferentes espacios que por medio del mapeo del objeto se proyectan videos o animaciones que generan ilusiones ópticas, en México se han realizado diversos proyectos de este tipo como son las experiencias nocturnas en Chichen Itzá, Teotihuacán y recientemente en Edzná (Steve, 2017; Gobierno del Estado de México, 2018; Notimex, 2018), otros en Cholula, el Lago de la Concordia y la Catedral de Puebla (Gobierno de Puebla, 2018), el realizado en el Zócalo de la Ciudad de México por la conmemoración del Bicentenario de la Independencia donde se combinaron las proyecciones en los edificios circundantes y un espectáculo con pantallas y actores (Descubrir México, 2011); o el proyecto en Santa Úrsula Xitla, Tlalpan, donde el producto final se realizó con la colaboración de la comunidad como parte de un programa social (El señor de los visuales, 2018).

Adicionalmente, como consecuencia de la adaptación del teléfono celular se comenzó a desarrollar software, lo que se conoce como aplicación móvil en donde se pueden integrar diferentes elementos ya mencionados. En este texto se hablará de este tipo de recurso enfocado a la RA, sin embargo se han desarrollado una gran variedad de este tipo de herramientas que hacen uso de diferentes recursos y técnicas como *MiMuseo Soumaya* en la que por medio de la gamificación se aprende de arte (Haikustudio, 2018), algunas que difunden las lenguas indígenas como *Vamos a aprender náhuatl, purépecha y mixteco*, las tres son aplicaciones del Centro Cultural de España (2016), el uso de una lista de pistas musicales en exposiciones del Palacio de Bellas Artes por Spotify, como en la exposición de *Vanguardia Rusa* (INBA, 2015) o la aplicación móvil de *Google Arts and Culture* que alberga una infinidad de contenidos y que en 2018 lanzó una de las colecciones virtuales

más amplia de la artista mexicana Frida Kahlo, incluyendo piezas que comúnmente no están exhibidas al público, así como recorridos virtuales y obras en super alta resolución gracias al uso de su tecnología Art Camera (El Universal, 2018).

Por otra parte, una de las herramientas más usadas y desde hace ya algunos años, son las fotografías y los videos 360° que en muchos casos se han utilizado para recorridos virtuales y de esta manera se acerca al público aquello que no puede ver o visitar por diferentes razones, como son los recorridos virtuales de espacios como el Laboratorio Arte Alameda, el Ex-Teresa Arte Actual, la Sala de Arte Público Siqueiros y otros que se pueden visitar en la página del Instituto Nacional de Bellas Artes Digital (INBA, 2018), o el video 360 del Túnel del Templo de la Serpiente Emplumada en Teotihuacán, experiencia que actualmente puede verse en el MNA y que utiliza los visores Samsung Gear VR (INAH, 2018b).

Dentro de las nuevas tecnologías que llaman la atención por su aplicación en diferentes áreas son la realidad aumentada y la realidad virtual (RV), en el presente artículo se revisarán diversas aplicaciones de RA. Por lo que se refiere a la RV cada día surgen trabajos bien elaborados que aportan al conocimiento del patrimonio cultural. Tal es el caso de la experiencia en realidad virtual de una tumba de tiro ubicada en el Cerro del Teúl en Zacatecas a la que el acceso está restringido por cuestiones de conservación; por medio de este recurso es posible observar cómo fue ese espacio; además tiene el objetivo de acercarlo a personas con discapacidad (INAH, 2018c). La realidad virtual brinda la oportunidad de sumergirse en otras realidades, muestra de ello es el proyecto *Dreams of Dalí* realizado por la compañía Disney para el Museo de Dalí, el cual transporta al espectador al interior de la obra del artista titulada *Archeological Reminiscence of Millet's Angelus*, la cual es una experiencia inmersiva cuya versión completa se puede disfrutar en el museo en Florida pero una versión sintetizada también se encuentra disponible en YouTube (Zavía, 2016).

Y una de las tecnologías que suena más a ciencia ficción es la inteligencia artificial; sin embargo, su uso es cada vez más frecuente en nuestras vidas. Con

el uso de esta tecnología, el proyecto *Voces de otro tiempo* utiliza a *Watson*, desarrollado por la compañía *IBM*. Con el uso de una aplicación móvil el visitante puede obtener información de 11 piezas del MNA. La interacción es a partir de audio y voz, donde el usuario puede realizar preguntas acerca del objeto; actualmente, responde más de 22 mil preguntas que busca en una base de datos (Martins, 2017).

Lo anterior es sólo una síntesis de algunas propuestas que han sido desarrolladas para la divulgación del patrimonio cultural que dan una muestra de las grandes posibilidades que hay, y a pesar de incluir lo más actual, diariamente se suman más.

La continuidad en el uso de tecnología aplicada al patrimonio es fundamental para contribuir a su divulgación, ya que ayuda a diversificar y multiplicar las posibilidades para acceder a un bien y posibilita la ampliación de la cantidad y calidad de la información (Castillo, 2008). De acuerdo al informe sobre la severa disminución en el número de visitantes de museos, contenido en el *Horizon Report 2015* (The New Media Consortium, 2015b), deben realizarse mayores esfuerzos para atraer a los nativos digitales a los recintos culturales, ya que su compromiso e interés por esos espacios serán determinantes en el futuro.

3.1. La realidad aumentada

La característica principal de esta tecnología es agregar elementos virtuales a la realidad en tiempo real con el uso de un dispositivo portátil (Basogain, X., Olabe, M., Espinosa, K., Rouèche, C. y Olabe, J. C., 2008). Es posible dividirla en distintos niveles según sea la complejidad de la tecnología aplicada (Prendes, C., 2015):

- Nivel 0. Se usan códigos de barras 2D (QR) o reconocimiento de imágenes aleatorias. Los códigos QR se han utilizado en varias exposiciones para ofrecer más información de la obra o del autor como en la exposición *Obras maestras del Museo de L'Orangerie* que fue exhibida en el Museo Dolores Olmedo (Sierra, 2013) o algunas piezas de Goya exhibidas en el Museo de Zaragoza, que contaban con QR (Aguilera,

2015). De las aplicaciones posteriormente analizadas, en este nivel está la de *MUNAPP*.

- Nivel 1. Se emplean marcadores, como patrones 2D u objetos tridimensionales. Actualmente, este es uno de los niveles en los que se han desarrollado más aplicaciones en México, como *Memento Mori*, un videojuego de realidad aumentada producido por el Centro Multimedia del CENART, en el que la detección se realiza a partir de patrones diseñados para la aplicación; el proyecto también produjo un libro impreso y digital (Secretaría de Cultura, 2017b). Otra aplicación es *Explora Cerro del Teúl*, donde las cédulas colocadas en la zona sirven de marcadores (INAH, 2018d). Dentro de las que se analizarán más adelante, en este nivel están *Códice Boturini*, la de la exposición de los Mixtecos y *RA Infinitum*.
- Nivel 2. Se utiliza el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y la brújula para la geolocalización. Este es el otro nivel en el que se están desarrollando una variedad de aplicaciones, en este punto se encuentran la Guía de Teatro Juárez, Monumentos CDMX, las dos aplicaciones de la UNAM y Teotihuacán RA, de las que más adelante se hablará.
- Nivel 3. Con el uso de gafas o cascos la experiencia se vuelve inmersiva. Este nivel de realidad aumentada todavía no ha sido tan desarrollado, debido probablemente al costo del hardware. En 2011 el proyecto europeo *ArtSense* desarrolló un prototipo de RA con gafas para ser utilizado en el Museo Nacional de Artes Decorativas en España (Villar, Cabrera, Rodríguez y Stajnovic, 2012). También la empresa GuidiGo ha realizado algunos proyectos para espacios culturales desarrollados para ser visualizados con Google Glass como la exposición de Niki de Saint Phalle en el Grand Palais des Beaux-Arts en Francia (Grand Palais, 2014) o una de Velázquez en el mismo espacio y la exhibición de Keith Haring en el Young Museum en San Francisco (GuidiGO, 2015).

Esta tecnología es una valiosa herramienta de comunicación y educación. *The Horizon Report 2015* (The New Media Consortium, 2015a), correspondiente al tema de educación superior, la incluye en una de las seis tecnologías de visualización más destacadas en el campo con potencial para hacer cambios en la educación, especialmente en estrategias de aprendizaje, así como en la organización y entrega de contenidos. Otros estudios indican que despierta el interés de los participantes, facilita, motiva, hace más agradable la explicación y asimilación de conocimientos (Cubillo, J., Martín, S., Castro, M. y Colmenar, A., 2014). Además, una de sus ventajas es que acerca de diferentes maneras el patrimonio, facilita su acceso ante la imposibilidad de estar presente en un lugar físico o por cuestiones de conservación, ayuda a descubrir detalles que podrían pasar desapercibidos o agrega contenidos para públicos específicos, al considerar su idioma, su edad o alguna discapacidad (visual o auditiva). Asimismo, el usuario asume un papel activo donde interactúa con el objeto y escoge la información de su interés (Méndez, A. y Rivera, M., 2016-2017). Por lo arriba mencionado, se considera que el uso de aplicaciones de RA contribuyen a mejorar la experiencia del visitante, así como el conocimiento del lugar u objeto visualizado.

3.2. Usos de realidad aumentada para el patrimonio cultural en México

Es importante documentar los proyectos realizados en México que utilizan RA para la difusión del patrimonio cultural. En esta sección desglosa las características específicas de varias aplicaciones desarrolladas en México para luego comentar aspectos que podrían ser útiles en proyectos futuros.

Seleccióne varias aplicaciones a partir de la búsqueda en internet y en tiendas virtuales, otras fueron descubiertas anteriormente por notas periodísticas vía redes sociales (Twitter y YouTube). Y aunque se tiene conocimiento de otros proyectos que están en proceso de realización o en espera de su lanzamiento decidí revisar y analizar aquellas que ya pueden ser descargadas. Las expuestas a continuación fueron las localizadas aunque no necesariamente sean las únicas. Algunas de ellas se probaron

in situ y se ejecutaron en condiciones reales. Todas las aplicaciones se descargaron antes de la visita a los respectivos lugares con conexión WiFi y se instalaron en un smartphone Sony Xperia Z3+ con sistema operativo Android, excepto la de *Teotihuacán RA* que se probó en un LG Optimus L5 con Android. A continuación se muestran de manera cronológica:

3.2.1. UNAM360 y Murales CU

Fueron dos aplicaciones desarrolladas por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). *UNAM360* proporcionaba información sobre sitios de interés en Ciudad Universitaria, como facultades o museos (Rosas, 2016). *Murales CU* era una guía inédita donde se mostraban en 3D los murales de la Biblioteca Central, el Estadio Olímpico o la Torre de Rectoría con una breve explicación, datos curiosos e información del muralista. Se podía decidir el tiempo del itinerario e incluía tres recorridos virtuales (Estrada, 2015). En 2016 se decidió relanzarlas.

El coordinador de UNAM Mobile, Alejandro García Romero, resaltó que en 2010 fueron las primeras aplicaciones universitarias en todo el país que utilizaron la tecnología de RA y en su relanzamiento mencionó la intención de mejorar la calidad de los contenidos, además de optimizar el funcionamiento debido al avance en los celulares (2016). Desafortunadamente, no se encontró ninguna de las dos aplicaciones en las tiendas virtuales, sin embargo era importante mencionarlas por el interés de la UNAM en la implementación de esta tecnología en la difusión del patrimonio artístico ubicado en la universidad.

3.2.2. RA Infinitum

Esta aplicación no está dedicada sólo al patrimonio, incluye contenidos para diferentes publicaciones, discos de artistas, el Museo Soumaya y el Acuario Inbursa, entre otros (Innovación Digital CARSO, 2013) (Tabla 3). La prueba se realizó en el Museo Soumaya ubicado en Plaza Carso.

Experiencia de uso. En la entrada al museo estaban las instrucciones de uso de la aplicación, pero sólo hasta el momento de la descarga, por ello me tomó unos minutos entender su funcionamiento y saber que era necesario conectarme a la red y enfocar la

Tabla 2. Características de las aplicaciones UNAM 360 y Murales CU

Lugar	Desarrollo	Lanzamiento	Relanzamiento	Precio	Sistema operativo
Ciudad Universitaria, Ciudad de México	UNAM Mobile	UNAM 360: 2010 Murales CU: 2011	2016	Gratis	Android e iOS
Idioma	Conexión a internet	Número de descargas	Tipo de bien cultural	Software y/o tecnología usada	Contenidos
Español	-----	-----	Patrimonio cultural de la Humanidad (UNAM)	Geolocalización	Audio Textos Modelos 3D

Fuente: Elaboración propia con datos de Rosas, 2016 y Estrada, 2015.

cédula con el icono de RA para obtener la información. En cuanto a los contenidos, algunos audios eran muy largos, uno de ellos duraba 3 minutos con 25 segundos sin poder mover el celular porque de lo contrario se pierde la detección, y desafortunadamente, no se escuchaban por el ruido.

En algunos casos, las cédulas estaban colocadas en la base del mobiliario, esto fue incómodo y cansado. Entre los errores más comunes fue que en varias obras se quedaba en proceso de carga y no pasaba nada o aparecía un rectángulo negro. Sin embargo, algunos de sus contenidos son diferentes y atractivos (Figura 1 y Figura 2). Es importante mencionar que no todas las obras están incluidas en la aplicación.

Un gran inconveniente es la necesidad de conexión a internet, para clientes del servicio de internet Infinitum es posible usar la red Infinitum móvil que está disponible en el museo, de lo contrario se debe usar el servicio de datos móviles en el dispositivo del visitante.

3.2.3. Teotihuacán RA

Esta es una guía detallada para explorar la zona arqueológica de Teotihuacán, donde puede realizarse un recorrido de acuerdo a las preferencias del usuario o con la ruta programada por los diseñadores de la aplicación. En ambos casos, el usuario obtiene información aumentada consistente en datos históricos, representaciones tridimensionales de edificios y audios (Mata, F., 2015). Esta aplicación fue realizada por Guillermo Muñiz Cadena y Rafael Domínguez Lázaro, alumnos de la Escuela Superior de Cómputo (ESCOM) del Instituto Politécnico Nacional (IPN),

como parte de los requisitos para obtener el grado de la Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales (Valencia, 2016) (Tabla 4).

Experiencia de uso. Al iniciar el recorrido aparecía en RA el nombre de los edificios y la distancia restante para llegar a ellos. Sin embargo, al estar más cerca de las estructuras arquitectónicas los datos desaparecían y ya no se podía interactuar.

La posibilidad de observar los edificios en 3D no fue posible, además fue cansado y decepcionante insistir sin obtener el resultado deseado. Una característica valiosa es la opción de personalizar el recorrido de acuerdo a las preferencias del usuario (Figura 3), esto le permite al visitante decidir qué quiere ver basado en sus intereses, compañía y probablemente el tiempo del que dispone, es recomendable agregar el tiempo aproximado que tomará el recorrido seleccionado.

3.2.4. Códice Boturini

Otra aplicación fue la realizada para un facsímil del Códice Boturini producido por el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) (Figura 4). Narra el trayecto de los mexicas hacia Tenochtitlan y su paso por diferentes comunidades (INAH, 2015b). Por medio de un mapa, el usuario ubica los puntos destacados durante la migración, así como información relativa a los glifos (INAH, 2015c) (Tabla 5). No pudo ser probada porque se necesita el facsímil físico con el cual se activa la detección.

3.2.5. Guía de Teatro Juárez

Es una guía turística que da a conocer aspectos históricos del Teatro Juárez, así como el tema arqui-

Tabla 3. Características de la aplicación RA Infinitum

Lugar	Desarrollo	Lanzamiento	Relanzamiento	Precio	Sistema operativo	Peso	
Museo Soumaya, Ciudad de México	Innovación Digital CARSO	1 de mayo de 2013	25 de agosto de 2017	Gratis	Android e iOS 9 o posterior (iPhone y iPad)	42.49MB en Android. 137 MB en iOS	
Idioma	Conexión a internet	Número de descargas	Tipo de bien cultural	Software y/o tecnología usada	Contenidos	Fecha de prueba	
Español	Conexión necesaria.	Más de 100,000 descargas en PlayStore (Consultado el 16 de abril de 2018)	Museo privado de arte (CARSO)	Detecta imágenes	Audios Videos Imágenes Interactivos Gráfico para selfie URL	18 de abril de 2018	
Comentarios de usuarios en tiendas virtuales		<p><i>Play Store</i> M. D. 08/10/17 "No me gusto (sic) para nada y no para de buscar. Antes si funcionaba ahora no". Gabriel R. 18/03/18 "Es muy mal App. Fuimos al acuario Inbursa y luego al mueso (sic) interactivo y no funciono (sic) ningun (sic) mapa o actividad de RA. Al final tambien pasanos (sic) al museo SUMAYA (sic) esperando tener mas información de la obra y nada...." Edgar L. 21/03/18 "... aparte te consume demasiados datos muy mala". <i>App Store</i> Sersh A. 14/06/13 "Para todos esos q dicen q es una basura, al principio yo tampoco supe utilizarla". Iveth F. 12/09/17 "Funciona solo en pocas de la gran cantidad de obras que están indicadas con el logotipo "RA"y, en repetidas ocasiones indica que ha cargado casi al 100% y se sale. Buena idea pero mucho que mejorar".</p>					

Fuente: Elaboración propia con datos de Innovación Digital CARSO, 2013.



Izquierda: Figura 1. Al detectar una de las pinturas, el personaje aparece para que el visitante pueda tomarse una selfie. Fotografía. Alma Itzel Méndez Lara

Derecha: Figura 2. Con realidad aumentada se agrega un interactivo en el que se explican detalles de la obra y se motiva a observarla. Fotografía. Alma Itzel Méndez Lara

Tabla 4. Características de la aplicación Teotihuacán RA

Lugar	Desarrollo	Lanzamiento	Relanzamiento	Precio	Sistema operativo	Peso
Teotihuacán, Estado de México	Instituto Politécnico Nacional (IPN)	10 de julio de 2015	24 de noviembre de 2015	Gratis	Android	4.55MB
Idioma	Conexión a internet	Número de descargas	Tipo de bien cultural	Software y/o tecnología usada	Contenidos	Fecha de prueba
Español	-----	Más de 1,000 descargas en PlayStore (Consultado el 13 de mayo de 2018)	Patrimonio arqueológico (INAH)	Localización por GPS	Textos Audio Modelos 3d	28 de mayo de 2016

Fuente: Elaboración propia con datos de Mata, 2015 y Valencia, 2016.

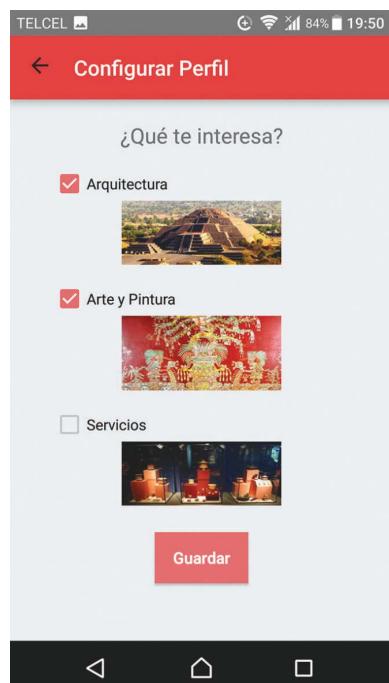


Figura 3. Pantalla de navegación de configuración de perfil para crear diferentes opciones de recorrido.
Fotografía. Alma Itzel Méndez Lara

tectónico. Para la información del exterior utiliza realidad aumentada y en el interior balizas (beacons), dispositivos que envían notificaciones al usuario y agregan información (Laboratorio de Nuevas Tecnologías en Turismo, 2016) (Tabla 6).

Experiencia de uso. La aplicación fue instalada sin inconvenientes, al inicio aparecen las instrucciones de uso y después un menú para seleccionar el exterior o interior. Tiene información breve acompañada de audios y fotografías, se puede navegar en la app aún sin estar en el sitio, la sección de RA no pudo ser probada debido a la distancia.

3.2.6. MUNAPP

Esta app bilingüe fue diseñada para la exposición *De la piedra al barro* exhibida en la gliptoteca del Museo Nacional de Arte (MUNAL), con el uso de marcadores QR se muestra información de esculturas del siglo XIX y XX de la colección del museo (Mata, F., 2017). Esta aplicación también fue desarrollada como proyecto de titulación en Ingeniería Telemática por estudiantes del IPN (UNAM Global, 2017) (Tabla 7).

Experiencia de uso. La aplicación se descarga sin problema. Acerca de los contenidos que pueden verse sin la RA se puede mencionar que contiene textos breves e incluye instrucciones gráficas que aparecen constantemente, lo cual facilita el uso de la app. Una sugerencia útil que da es el uso de auriculares, lo resalto porque durante el uso de otras de las aplicaciones probadas no se escuchaba debido al ruido ambiental. Desafortunadamente, al visitar el museo ya no estaban los códigos QR en la sala.

Tabla 5. Características de la aplicación del Código Boturini

Lugar	Desarrollo	Lanzamiento	Relanzamiento	Precio	Sistema operativo	Peso
Documento impreso	-----	Agosto de 2015	26 de agosto de 2015	Gratis	iOS 8.4 o posterior	53.4 MB para iPhone 290 MB para iPad
Idioma	Conexión a internet	Número de descargas	Tipo de bien cultural	Software y/o tecnología usada	Contenidos	Fecha de prueba
Español	-----	No aparece el dato	Documento histórico (INAH)	-----	Textos Imágenes	----
Comentarios de usuarios en tiendas virtuales		<p><i>iPhone Manuel_13 08/09/15 "Sigan sacando más aplicaciones así para conocer nuestra cultura a fondo". Paola_V 09/09/15 "¡Gracias INAH, por fin tenemos una app de este tipo! Ojalá haya muchas más en el futuro".</i></p> <p><i>iPad Mhernand3 09/09/15 "La aplicación se queda congelada en una pantalla blanca apenas se inicia". Mike 30/06/16 "La descargue en mi iPad mini hace unos cuatro meses y no funcionó, la volví a descargar con la esperanza de que ya estuviera corregida y nada aún, se queda en blanco después de iniciar..."</i></p>				

Fuente: Elaboración propia con datos de INAH, 2015a y 2015b.

3.2.7. Monumentos CDMX

El éxito obtenido por Pokemon Go entusiasmó a más de uno y la Secretaría de Educación de la Ciudad de México lanzó la aplicación *Monumentos CDMX en realidad aumentada* que sirve para “atrapar” algunos edificios históricos del primer cuadro del centro histórico, con información acerca de la evolución y transformación de la ciudad (Cota, 2018) (Tabla 8).

Experiencia de uso. Al abrir la aplicación aparece un mapa con el avatar del usuario en la ubicación actual, dentro del mismo aparecen pinos que indican los espacios a conocer. Cuando se llega al lugar indicado se selecciona su ícono y brinda la información por medio de animaciones, gráficos, fotografías y audios (Figura 5). En este punto hubo un inconveniente, ya que no se escuchaban los audios -el ruido en el Centro Histórico es fuerte- y la luz del sol dificultaba la lectura.

Al seleccionar la opción de RA aparece el avatar seleccionado o el que viene por defecto si apenas se inició el recorrido, esta función era la de mayor interés y tomó varios puntos del recorrido para notar que no hacía nada (Figura 6), sólo aparecía el personaje y se podía tomar fotos con él. Cada espacio visitado tiene un avatar diferente. El contenido es breve y bien diseñado pero se disfruta más si se usa en un lugar más cómodo y sin ruido.



Figura 4. Aplicación del Código Boturini.

Fuente: INAH, 2015b

3.2.8. Interactivos en la exposición Mixtecos Ñuu Dzahui, señores de la lluvia

Ubicada en Palacio Nacional, esta exposición contaba, como parte de los recursos museográficos, con dos interactivos de RA a través de los cuales el visitante podía conocer de forma innovadora aspectos de la cultura mixteca. A diferencia de los casos anteriores, esta aplicación no podía ser descargada al dispositivo móvil del usuario sino que era usada únicamente dentro de la exposición con tabletas iPad proporcionadas por el museo (Tabla 9).

Experiencia de uso. El primer punto interactivo estaba aproximadamente a la mitad del recorrido, en donde se hallaba la correspondiente cédula de instrucciones. El tema a tratar era el de los diferentes señoríos, cada uno indicado con su glifo, el cual servía como marcador. Al detectar dichos elementos

Tabla 6. Características de la aplicación de la Guía del Teatro Juárez

Lugar	Desarrollo	Lanzamiento	Relanzamiento	Precio	Sistema operativo	Peso
Teatro Juárez, Guanajuato	Laboratorio de Nuevas Tecnologías en Turismo de la Universidad de Guanajuato	13 de agosto de 2016	28 de septiembre de 2016	Gratis	Android	37 MB
Idioma	Conexión a internet	Número de descargas	Tipo de bien cultural	Software y/o tecnología usada	Contenidos	Fecha de prueba
Español	No	Más de 100 descargas en PlayStore (Consultado 17 de mayo de 2018)	Edificio histórico	Software Titanium Appcelerator, Bluetooth (uso de beacons con tecnología BLE) y geo-posicionamiento	Textos Audios Fotografías	----
Comentarios de usuarios en tiendas virtuales	Alberto 13/07/2017 "Muy mala, estoy en este momento en el teatro y la aplicación no funciona, extraño (sic) los guías". Arturo 3/01/2017 No hizo algún comentario pero calificó la aplicación con 4 estrellas, lo que indica que le gustó.					

Fuente: Elaboración propia con datos del Laboratorio de Nuevas Tecnologías en Turismo, 2016

Tabla 7. Características de la aplicación MUNAPP

Lugar	Desarrollo	Lanzamiento	Relanzamiento	Precio	Sistema operativo	Peso
MUNAL, Ciudad de México	Instituto Politécnico Nacional (IPN)	12 de diciembre de 2017	12 de diciembre de 2017	Gratis	Android	98.33 MB
Idioma	Conexión a internet	Número de descargas	Tipo de bien cultural	Software y/o tecnología usada	Contenidos	Fecha de prueba
Español e inglés	-----	Más de 50 descargas en PlayStore (Consultado el 16 de mayo de 2018)	Museo de arte (INBA)	Marcadores QR con Wikitude	Textos Audios Videos Imágenes Modelos 3d	----
Comentarios de usuarios en tiendas virtuales	No hay comentarios					

Fuente: Elaboración propia con datos de Mata, 2015 y Granados, 2017.

Tabla 8. Características de la aplicación Monumentos CDMX

Lugar	Desarrollo	Lanzamiento	Relanzamiento	Precio	Sistema operativo	Peso
Templo Mayor, Zócalo, Jefatura de Gobierno, Calle Madero, Museo del Estanquillo, Calle de Tacuba, MIDE, MUNAL, Palacio de Minería, Palacio Postal, Bellas Artes y Torre Latinoamericana	José Cota de la empresa Virtualware México	24 de marzo de 2018	24 de marzo de 2018	Gratis	Android e iOS	176 MB en Android, 2GB en iOS
Idioma	Conexión a internet	Número de descargas	Tipo de bien cultural	Software y/o tecnología usada	Contenidos	Fecha de prueba
Español	Necesita conexión.	Más de 500 descargas en PlayStore (Consultado 17 de mayo de 2018)	Patrimonio arqueológico e histórico	Geolocalización	Textos Audios Fotografías Animaciones Ilustraciones Avatares Interacción	7 y 11 de abril de 2018
Comentarios de usuarios en tiendas virtuales	PlayStore Norma 31/03/2018 "Está pesada y pues no la puedo instalar". Miguel 03/04/2018 "Excelente interfaz, funcionalidad, contenido y hace interactivo el aprendizaje sobre la CDMX". Alfredo 21/04/2018 "No deja quitar los candados y claro no se puede navegar". Apple Store De Capirete 14/05/2018 "Las leyendas se escuchan hasta que se desbloquean las 3 o cómo?".					

Fuente: Elaboración propia con datos de Cota, 2018.



*Figura 5. Contenidos de la aplicación Monumentos CDMX.
Fotografías. Alma Itzel Méndez Lara*

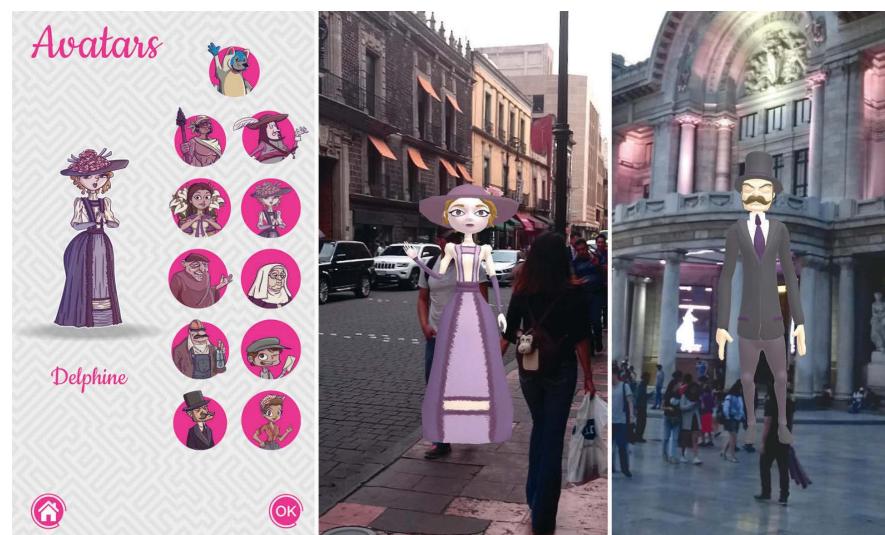


Figura 6. Avatares en realidad aumentada de la aplicación Monumentos CDMX.
Fotografías. Alma Itzel Méndez Lara



Figura 7. Interactivo de los señoríos en la exposición Mixtecos Ñuu Dzahui, señores de la lluvia.
Fotografía. Alma Itzel Méndez Lara

aparecía un personaje 3D que narraba el significado y las actividades realizadas en ese lugar (Figura 7).

El panel tenía 10 glifos con los que se interactuaba, las narraciones eran breves y el audio tenía un buen volumen para escucharlo; además, no había demasiado ruido y era fácil escuchar las grabaciones. Si se revisaban todos los gráficos, la experiencia duraba poco más de tres minutos. Más adelante, se encontraba el segundo punto interactivo: A lo largo de ocho paneles, se narraba la vida de 8 Venado, Garra de Jaguar -personaje importante en la cultura mixteca- por medio de animaciones. El funcionamiento era el mismo que en el anterior, los gráficos en los paneles eran los marcadores. En mi opinión, esta es una de las mejores experiencias de RA que he experimentado, porque a través de la misma, el

personaje principal contaba su historia y así fue posible descubrir un poco de cómo era la vida en esos tiempos, lo cual muestra el lado humano en la exposición, el visitante no sólo fue a admirar objetos, la elaboración de los contenidos basados en la investigación muestra estrategias de comunicación bien logradas. Además, el trabajo de animación fue excelente, las narraciones fueron breves y con un vocabulario sencillo, las condiciones de uso fueron favorables. A pesar de ello, la aplicación se detuvo en dos ocasiones. Afortunadamente, el reiniciar la aplicación no presentó mayores dificultades. La detección en ambos casos fue inmediata (Figura 8).

Por eso, más allá de todos los aspectos técnicos, no debe olvidarse la importancia de la calidad y cantidad de los contenidos para generar una experiencia enriquecedora donde se logre conectar al usuario con el patrimonio cultural, tema que no es posible abordar en el presente trabajo.

3.2.9. Ver México.

Esta *app* fue desarrollada para el Museo Nacional de Antropología con un guía virtual que acompaña al visitante en su recorrido, donde se conocen detalles de 15 piezas distribuidas en las salas Mexica, Maya, Teotihuacán y Oaxaca (Redacción Chilango, 2018). Es un proyecto patrocinado por el banco Banorte (Tabla 10).

Tabla 9. Características de los interactivos en la exposición *Mixtecos Ñuu Dzahui, señores de la lluvia* exhibida en Palacio Nacional

Lugar	Desarrollo	Inauguración	Término	Precio	Sistema operativo
Palacio Nacional	Empresa	11 de enero de 2018	Finales de junio de 2018	Entrada libre	iOS
Idioma	Conexión a internet	Tipo de bien cultural	Software y/o tecnología usada	Contenidos	Fecha de prueba
Español	-----	Patrimonio arqueológico	Unity Detección de imágenes	Audios Animaciones	19 de abril de 2018

Fuente: Elaboración propia.

De todas las aplicaciones evaluadas, ésta es la que ocupa mayor espacio de almacenamiento en el dispositivo móvil. Una vez abierta, pero antes de comenzar a utilizarla, exige al usuario que se registre, sin informarle cómo o para qué será utilizada esa información.

Experiencia de uso. El menú de inicio tiene cuatro botones (mapa, realidad aumentada, videos y juegos). El mapa sirve para ubicar las salas, pero no las piezas con RA, lo cual fue una tarea complicada ya que hay una sección donde aparecen sólo las siluetas de las piezas sin nombre, ni cultura, ni sala en la que se encuentra. En la sección de realidad aumentada se conocen detalles de las piezas con la explicación del guía virtual (Figura 9).

El funcionamiento es eficaz, la detección es inmediata y la posibilidad de la manipulación del modelo 3D es satisfactoria; además, los contenidos son atractivos gráficamente (Figura 10).

En cuanto a las secciones de videos y juegos, opino que los usuarios tendrían una mejor experiencia si las utilizaran en un lugar cómodo, no durante el recorrido. Desafortunadamente, de las 15 piezas mencionadas en la aplicación sólo se pudieron detectar la Piedra del Sol y la Coatlicue de la sala mexica. Después de la prueba decidí contactar a los programadores por medio de la tienda virtual, y mencioné mi descontento ante la ausencia de contenidos de las 15 piezas a lo que respondieron que los integrarían en las futuras actualizaciones. Posteriormente, realicé otra prueba para comprobar si ya estaban todas las piezas; sin embargo, no sucedió aunque si se detectaron cuatro más (*Chalchiuhlicue, Danzantes, Templo de Quetzalcóatl y Coyolxauhqui*). Esta situación no beneficia a la adopción de este tipo de herramientas en sitios patrimoniales, ya que puede provocar frustración al no encontrar lo que se había prometido.



Figura 8. Narración de 8 Venado, Garra de Jaguar en realidad aumentada en la exposición *Mixtecos Ñuu Dzahui, señores de la lluvia*. Fotografías. Alma Itzel Méndez Lara

Tabla 10. Características de la aplicación Ver México

Lugar	Desarrollo	Lanzamiento	Relanzamiento	Precio	Sistema operativo	Peso	
Museo Nacional de Antropología, Ciudad de México	VR360MX	4 de abril de 2018	22 de mayo de 2018	Gratis	Android y proximamente iOS	Inicialmente 224 MB en Android Después de actualizaciones 348 MB en Android	
Idioma	Conexión a internet	Número de descargas	Tipo de bien cultural	Software y/o tecnología usada	Contenidos	Fecha de prueba	
Español	Conexión necesaria.	Más de 50 descargas en PlayStore (Consultado el 27 de mayo de 2018)	Museo nacional (INAH)		Mapa Guía virtual Modelos 3D Videos Juegos interactivos Se pueden tomar selfies con el guía virtual o las piezas	Primera 27 de mayo de 2018 Segunda 23 de septiembre de 2018	
Comentarios de usuarios en tiendas virtuales		Isaias 23/05/18 "SUPER BIEN!!! Es la mejor aplicación que aporta el conocimiento y muestra nuestra cultura FELICIDADES!" Un usuario de Google 07/04/18 "Muy eficiente su escaneo. Ya necesitábamos (sic) en Méxicp (sic) algo así". Ferko 08/07/2018 "Es muy buena solo es complicado entre tantas piezas saber cuales (sic) son las que se pueden escanear...""					

Fuente: Elaboración propia con datos de Chilango, 2018 y VR360MX, 2018.

4. COMENTARIOS FINALES

Después de haber revisado cada proyecto para tener un panorama general de la implementación de la RA se obtuvieron los siguientes resultados. Con respecto al lugar de implementación, se observó que prácticamente todas las aplicaciones se realizaron para la Ciudad de México, excepto la del Teatro Juárez de Guanajuato y la de Teotihuacán, en el Estado de México. Sin duda, se tendrían que considerar otras regiones del país.

Las fechas de lanzamiento muestran que una de las primeras instituciones en producir este tipo de aplicaciones fue la UNAM, su interés por innovar fue posible gracias a los recursos humanos y tecnológicos de su laboratorio UNAM Mobile. Asimismo, en 2014 el Museo Soumaya fue incluido en RA Infinitum (Fundación Carlos Slim, 2016) al aprovechar su área de Innovación Digital CARSO. En 2015 y 2017 el patrimonio cultural se benefició de profesionistas formados en el IPN con las capacidades para crear

aplicaciones de este tipo e interesados en la divulgación del patrimonio. Sería muy favorable mantener el vínculo entre profesionistas del patrimonio cultural y las universidades para generar aplicaciones exitosas. Los últimos tres proyectos realizados (Monumentos CDMX, Interactivos en la exposición *Mixtecos Ñuu Dzahui, señores de la lluvia* y Ver México) en 2018 muestran el inicio de la maduración de empresas dedicadas a este ramo en el país.

En cuanto al costo, todas son gratuitas para el usuario. Esto implica que la institución debe asumir el costo total del proyecto, el cual comúnmente es elevado. El financiamiento es uno de los principales obstáculos a los que se enfrentan este tipo de proyectos, debido a que el presupuesto en las instituciones públicas del país es limitado. Aunque paulatinamente se reducirá el costo gracias al avance tecnológico, aún así y desafortunadamente, puede quedar fuera del alcance de algunos usuarios o instituciones.



Figura 9. Guía virtual de la aplicación Ver México, que explica las piezas en realidad aumentada.
Fotografías. Alma Itzel Méndez Lara

Por otro lado, en México los teléfonos más vendidos son los que tienen el sistema operativo Android por la variedad en modelos y costo. Las estadísticas indican que el mayor número de usuarios tienen este sistema (Merca2.0, 2016), por eso su uso tiene mayores oportunidades. No obstante, debido al acelerado avance tecnológico, los dispositivos se vuelven obsoletos en plazos de tiempo muy cortos. Esta es una de las causas por las que una aplicación puede funcionar correctamente al inicio y después presentar severos problemas.

Con respecto al idioma, la única que incluyó traducción a una lengua extranjera fue MUNAPP. Debido a la cantidad de visitantes extranjeros en nuestro país –quienes son usuarios potenciales de estas aplicaciones-, es muy conveniente que la traducción del contenido a lenguas extranjeras como el inglés, francés o chino se considerarán en el diseño de las aplicaciones. Sin embargo, esto implica el aumento en costo económico, tiempo y tamaño de la aplicación. Este último factor influye en la decisión de descarga, al ser menos probable que un usuario potencial instale una aplicación si ésta ocupa demasiado espacio de almacenamiento en el dispositivo. Es importante mencionar, que una aplicación desarrollada para el sistema iOS de Apple tendrá un peso mucho mayor que una desarrollada para Android.

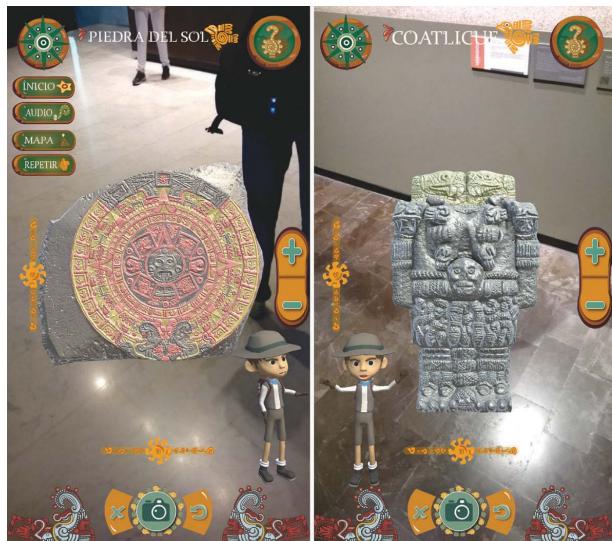


Figura 10. Modelos 3D con controles para acercar y rotar, esto ayuda a ver la pieza desde todos sus ángulos.
Fotografías. Alma Itzel Méndez Lara

Otro de los aspectos primordiales en el uso de aplicaciones móviles es la conexión a internet. Ésta es indispensable al momento de la descarga e influye en el tiempo que tomará el proceso de instalación en el dispositivo móvil. En algunos casos, también se requiere conexión a internet mientras se utiliza la aplicación, lo cual resulta desfavorable porque el uso de datos implica un costo extra para el usuario. Por eso es conveniente que una vez instalada la aplicación ya no se necesite el internet. Todavía se carece de un servicio de calidad de conexión en diferentes espacios públicos, aunque hay un avance con el Programa de Conectividad Digital del Gobierno Federal.

Por otra parte, el interés en aplicaciones de RA se observa en el número de descargas, aún cuando todavía no son masivas por diferentes factores, existe una gran curiosidad por descubrirlas. Es importante resaltar la necesidad de una etapa de promoción, ya que es común que sólo salgan comunicados de prensa durante la etapa de lanzamiento y, posteriormente, cese la difusión. Por supuesto, la promoción continua implica un mayor costo, pero dicha inversión es benéfica y además el costo puede reducirse si se recurre al uso de redes sociales.

Dada la enorme variedad y riqueza del patrimonio cultural de México cualquier pieza, edificio o tradición puede ser objeto de interés para difundirlo a través

de una aplicación de RA. Por supuesto, este tipo de tecnología no es la solución para todo, sólo es una herramienta poderosa que funciona si se define el objetivo del proyecto y es evaluada con reglas claras (Méndez, A. y Rivera, M., 2016-2017). Por eso es importante analizar la funcionalidad desarrollada, evaluarla e investigar la viabilidad y posibilidades de éxito de proyectos futuros.

En este momento, la RA aún está en una etapa inicial de desarrollo en México, la mayoría de los ejemplos mostrados hacen uso de marcadores y del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Este último, no sólo coloca elementos virtuales en coordenadas específicas sino también ayuda al visitante a ubicarse en el espacio, aunque tiene un rango de error de entre tres a quince metros que depende de la calidad del dispositivo, esto en aparatos de uso comercial (Tedini, 2013).

Uno de los retos más importantes es la generación del contenido, aunque este es variable, el costo es alto en dinero y tiempo (Fundación Telefónica, 2011). Los contenidos más comunes son los textos, audios, imágenes (ilustraciones y fotografías), videos, modelos 3D de diferente complejidad y animaciones. Para obtener el mejor resultado deben conocerse el objetivo de comunicación y las condiciones reales de uso.

Sin considerar que es una tecnología con una introducción temprana en México, una omisión común de la que adolecen muchas aplicaciones son las instrucciones para el usuario, ya que se cree que

todas las personas podrán intuir su funcionamiento. De los casos revisados en este artículo, sólo cuatro incluyen dichas instrucciones. La ausencia de ellas puede confundir a los usuarios, ya que al presentarse algún problema, éstos no saben si los fallos provienen de la aplicación o de una mala utilización por parte del usuario. Esto es evidente en muchos comentarios de desconcierto registrados por los usuarios de varias aplicaciones. La falta de instrucciones puede provocar una experiencia frustrante cuando el usuario ocupa más esfuerzo en tratar de entender el funcionamiento y no en disfrutar la visita.

A pesar de todos los retos e inconvenientes, existe un creciente entusiasmo para que la RA continúe mejorando y se integre de lleno a la vida cotidiana. Las aplicaciones que hacen uso de la misma se han incrementado y los avances tecnológicos sin duda beneficiarán su desarrollo. Este tipo de tecnología puede tener un futuro brillante dentro de la divulgación cultural, pues acerca e invita a la sociedad –quien se nota emocionada al utilizarla– a descubrir su pasado y su legado.

Sin duda es una gran herramienta, pero también habrá que estudiar y reflexionar acerca del beneficio que la RA puede o no dar a una visita cultural, habrá que preguntarse ¿qué tanto favorece a la compresión y valoración del patrimonio cultural? En este sentido, es importante entender la interacción entre humano y tecnología al momento de usar aplicaciones móviles como apoyo en recorridos culturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, I. (2015, 2 de octubre). Los códigos QR en el Museo de Zaragoza llegan a Goya. Museo de Zaragoza, Gobierno de Aragón. [Noticia en línea]. Recuperada de <http://www.museodezaragoza.es/los-codigos-qr-en-el-museo-de-zaragoza-llegan-a-goya/> [Consultada el 4 de febrero de 2019].
- Alcarria, C. (2010). *Desarrollo de un sistema de realidad aumentada en dispositivos móviles*. [Proyecto de Final de Carrera]. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Universidad Politécnica de Valencia, España. Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8597/PFC%20-%20Desarrollo%20de%20un%20sistema%20de%20Realidad%20Aumentada%20en%20dispositivos%20m%C3%B3viles.pdf> [Consultado el 25 de abril de 2018].
- Ayuntamiento de Pachuca de Soto. (s.f.) Museo Virtual de Pachuca MUVIPA. Recuperado de <https://www.muvipa.com.mx/lugares-turisticos-pachuca/patrimonio-de-pachuca/arquitectura-civil/> [Consultado el 3 de febrero de 2019].
- Basogain, X., Olabe, M., Espinosa, K., Rouèche, C. y Olabe, J. C. (2007). Realidad aumentada en la educación: Una tecnología emergente. *Memorias de la 7ª. Conferencia Internacional de la Educación y la Formación Basada en las Tecnologías*, pp. 24-29. Recuperado de <http://files.trendsandis-sues.webnode.com/200000010-3884839004/educamadrid-2007.pdf> [Consultado el 23 de abril de 2018].
- BBC Mundo (2015, 23 de enero). Holo Lens, el dispositivo que permite crear y tocar hologramas en tu casa [Noticia en línea]. Recuperado de http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/01/150123_tecnologia_holo_lens_microsoft_interactivo_amv [Consultado el 15 de mayo de 2018].
- Camejo, M. (s.f.) Myron Krueger [Entrada en blog]. *Arte digital. Historia, artistas, obra, crítica*. Recuperado de <https://elartedigital.wordpress.com/artistas/myron-krueger/> [Consultado 14 de mayo de 2018].
- Candil, D. (2014, 21 de febrero). Unity, el motor de desarrollo capaz de partir la historia de los videojuegos en dos [Artículo en línea]. *Vida extra*. Recuperado de <https://www.vidaextra.com/industria/unity-el-motor-de-desarrollo-capaz-de-partir-la-historia-de-los-videojuegos-en-dos> [Consultado el 15 de mayo de 2018].
- Canul Ku, M. (2013). *Algoritmo de reconocimiento de objetos en escenas complejas para aplicaciones de realidad aumentada*. [Tesis de Maestría]. Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT), Guanajuato. Recuperada de https://cimat.repositorioinstitucional.mx/jspui/bits-tream/1008/452/1/TE_1507.pdf [Consultada el 24 de abril de 2018].
- Castillo, J. (2008). Patrimonio histórico y nuevas tecnologías. El Observatorio del Patrimonio Histórico Español (OPHE). En M. Bellido Gant (Ed.), *Difusión del patrimonio cultural y nuevas tecnologías*, (pp. 12-33). Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía, Junta de Andalucía. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=578352> [Consultado el 20 de marzo de 2018].
- Centro Cultural de España. (2016). Vamos a aprender náhuatl [Noticia en línea]. Recuperado de <http://ccemx.org/infantil/app-nahuatl> [Consultado el 4 de febrero de 2019].
- CONACULTA-CENART. (2010). Zócalo 1910, paseo virtual [Noticia en línea]. CENART. Recuperado de <https://www.cultura.gob.mx/zocalo/index.html> [Consultado el 4 de febrero de 2019].
- Cota, J. (2018). Monumentos CDMX (Versión 1.0) [Aplicación móvil]. Disponible en Google Play Store.
- Cubillo, J., Martín, S., Castro, M., & Colmenar, A. (2014). Recursos digitales autónomos mediante realidad aumentada. *RIED. Revista Iberoamericana de Educación a Distancia* [Revista electrónica], 17(2), 241-274. Recuperado de <http://revistas.uned.es/index.php/ried/article/view/12686/11880> [Consultado el 23 de abril de 2018].
- Descubrir México. (2011, 31 de enero). Video mapping – Festejos Bicentenario de la Independencia de México – Yo México 10. [Video en línea]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=e8XPetcB3R0> [Consultado el 4 de febrero de 2019].
- El señor de los visuales. (2018). Videomapping para fiesta patronal Santa Úrsula Xitla [Video en línea]. Recuperado de <https://www.elsenordelosvisuales.com/santa-ursula> [Consultado el 4 de febrero de 2019].

- El Universal. (2018, 25 de mayo). Frida Kahlo en realidad virtual [Noticia en línea]. Recuperado de <http://www.eluniversal.com.mx/techbit/frida-kahlo-en-realidad-virtual> [Consultado el 4 de febrero de 2019].
- Estrada, N. (2015, 1 de septiembre). Murales de CU podrán ser admirados en 3D [Noticia en línea]. *Fundación UNAM*. Recuperado de <http://www.fundacionunam.org.mx/vanguardia-unam/murales-de-cu-podran-ser-admirados-en-3d/> [Consultado el 14 de mayo de 2018].
- Fundación Carlos Slim (2016, 13 de septiembre). Realidad aumentada, tecnología para descubrir el arte [Noticia en línea]. *Fundación Carlos Slim*. Recuperado de <http://fundacioncarlosslim.org/realidad-aumentada/> [Consultado 12 de mayo de 2018].
- Fundación Telefónica. (2011). *Realidad Aumentada: una nueva lente para ver el mundo* [Segundo informe monográfico perteneciente al proyecto *La Sociedad de la Información en España*]. Barcelona: Fundación Telefónica y Editorial Ariel. Recuperado de https://www.fundaciontelefonica.com/arte_cultura/publicaciones-listado/pagina-item-publicaciones/itempubli/80/ [Consultado el 22 de marzo de 2018].
- Gándara, M. (2017). Nuevas tecnologías y estrategias de comunicación para la divulgación del patrimonio cultural. *Antropología. Revista Interdisciplinaria del INAH*, 1(1), 135-153. Recuperado de https://www.academia.edu/34088572/Nuevas_tecnologias_y_estrategias_de_comunicacion_para_la_divulgacion_del_patrimonio_cultural [Consultado el 15 de abril de 2018].
- Gobierno de Puebla. (2018). Videomapping. Secretaría de Cultura y Turismo [Noticia en línea]. Secretaría de Cultura y Turismo. Recuperado de <http://culturayturismo.puebla.gob.mx/actividades/eventos/12-videomapping> [Consultado el 4 de febrero de 2019].
- Gobierno del Estado de México. (2018). Experiencia nocturna en Teotihuacán [Noticia en línea]. Secretaría de Turismo. Recuperado de http://turismo.edomex.gob.mx/experiencia_nocturna [Consultado el 4 de febrero de 2019].
- UNAM Global. (2017, 29 de diciembre). Politécnicos crean aplicación móvil para el Museo Nacional de Arte. [Noticia en línea] Recuperado de <http://www.unamglobal.unam.mx/?p=30531> [Consultado el 7 de mayo de 2018].
- Grand Palais. (2014, 27 noviembre). Niki de Saint Phalle à travers les Google Glass. [Video en línea]. Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=v-3_YawVIJY&list=PLnYqXTFZXuZtmy9W5-asUbgVA1o74cSAI&index=5 [Consultado el 5 de febrero de 2019].
- Grupo Abstract. (2017, 26 de diciembre). Revelan al mundo el rostro de la Dama de Cao. [Video en línea]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=ykQRZVz15VE> [Consultado el 3 de febrero de 2019].
- GuidiGO. (2015, 25 de marzo). Wearable devices in Museums: Ready for everyone. Recuperado de <http://blog.guidigo.com/blog/wearable-devices-in-museums-ready-for-everyone/> [Consultado el 5 de febrero de 2019].
- Haber, A. (2008). MUVA Museo Virtual de Artes El País: El museo imposible. El relato de una protagonista. En M. Bellido Gant (Ed.) *Difusión del patrimonio cultural y nuevas tecnologías*, (pp. 123-143). Sevilla: Universidad Internacional de Andalucía, Junta de Andalucía. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5249898> [Consultado el 5 de agosto de 2017].
- Haikustudio. (2018). miMuseo Soumaya (Versión 1) [Aplicación móvil]. Disponible en Google Play Store.
- Innovación Digital CARSO. (2013). RAInfinitum Realidad Aumentada (Versión 4.2) [Aplicación móvil]. Disponible en Google Play Store.
- INAH. (2015a). Paseos virtuales [Sitio web]. Recuperado de <https://www.inah.gob.mx/inah/510-paseos-virtuales> [Consultado el 3 de febrero de 2019].
- INAH. (2015b, 8 de septiembre). El INAH presenta la edición digital del "Códice Boturini" o "Tira de la Peregrinación" [Noticia en línea]. INAH. Recuperada de <http://www.inah.gob.mx/es/boletines/572-el-inah-presenta-la-edicion-digital-del-codice-boturini-o-tira-de-la-peregrinacion> [Consultada el 5 de mayo de 2018].
- INAH. (2015c, 17 de septiembre). Códice Boturini – Recorrido [Video en línea]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=4ljvIRJv8Wc>

- [Consultado el 5 de mayo de 2018].
- INAH. (2016). Catálogo de revistas electrónicas [Recurso en línea]. *Coordinación Nacional de Difusión*. Recuperado de <https://www.difusion.inah.gob.mx/index.php/revistas> [Consultado el 2 de febrero de 2019].
- INAH. (2017, 31 de octubre). Chichén Itzá, mapeo subterráneo de la geografía sagrada. [Video en línea]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=NEUKqxK7XkA&app=desktop> [Consultado el 3 de febrero de 2019].
- INAH. (2018a, 11 de abril). Presenta el INAH su mediateca, el mayor repositorio digital del patrimonio cultural de México [Noticia en línea]. Recuperada de <https://inah.gob.mx/boletines/7097-presenta-el-inah-su-mEDIATECA-el-mayor-repositorio-digital-del-patrimonio-cultural-de-mexico> [Consultada el 2 de febrero de 2019].
- INAH. (2018b, 26 de julio). Presentan video 360º del túnel bajo el Templo de la Serpiente emplumada [Noticia en línea]. Recuperada de <https://inah.gob.mx/boletines/7383-presentan-video-en-360-del-tunel-bajo-el-templo-de-la-serpiente-emplumada> [Consultada el 4 de febrero de 2019].
- INAH. (2018c, 4 de noviembre). Cerro del Teúl incorpora recursos multimedia para un recorrido integral e incluyente [Noticia en línea]. Recuperada de <https://www.inah.gob.mx/boletines/7733-cerro-del-teul-incorpora-recursos-multimedia-para-un-recorrido-integral-e-incluyente> [Consultada el 4 de febrero de 2019].
- INAH. (2018d, 5 de octubre). Abre al público Cerro del Teúl, sitio arqueológico con 16 siglos de ocupación prehispánica al sur de Zacatecas [Noticia en línea]. Recuperada de <https://www.inah.gob.mx/boletines/7648-abre-al-publico-cerro-del-teul-sitio-arqueologico-con-16-siglos-de-ocupacion-prehispanica-al-sur-de-zacatecas> [Consultada el 4 de febrero de 2019].
- INAH. (s.f.). Mediateca INAH [Repositorio en línea]. Recuperado de https://mediateca.inah.gob.mx/islandora_74/ [Consultado el 2 de febrero de 2019].
- INBA. (2015). El Museo del Palacio de Bellas Artes y Spotify México presentan sus nuevas playlists para la muestra Vanguardia Rusa. El vértigo del futuro. [Boletín en línea]. Recuperado de <https://www.inba.gob.mx/prensa/1374/el-museo-del-palacio-de-bellas-artes-y-spotify-m-eacutetexico-presentan-sus-nuevas-playlists-para-la-muestra-vanguardia-rusa-el-v-eacutertigo-del-futuro> [Consultado el 3 de febrero de 2019].
- INBA. (2018). INBA Digital [Sitio web]. *Secretaría de Cultura*. Recuperado de <https://www.inba.gob.mx/digital> [Consultado el 4 de febrero de 2019].
- INEGI. (2016). Encuesta nacional sobre disponibilidad y uso de tecnologías de la información en los hogares 2016 [Reporte en línea]. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/duth/2016/> [Consultado el 20 de mayo de 2018].
- Instituto Federal de Telecomunicaciones. (2017). Segundo Informe Trimestral Estadístico 2017 [Reporte en línea]. Recuperado de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/pagina-de-inicio/2ite2017.pdf> [Consultado el 18 de mayo de 2018].
- Jalabi, R. (2016, 20 de septiembre). Replica of Syrian arch destroyed by Isis unveiled in New York City [Noticia en línea]. *The Guardian. International edition*. Recuperada de https://www.theguardian.com/us-news/2016/sep/20/palmyra-arch-syria-new-york?CMP=fb_gu&utm_medium=website&utm_source=archdaily.mx [Consultada el 3 de febrero de 2019].
- Jara, J. (2017, 13 de julio). Apple podría masificar la realidad aumentada con ARKit. *Digital Trends*. Recuperada de <https://es.digitaltrends.com/apple/arkit-apple-realidad-aumentada/#/2> [Consultada el 15 de mayo de 2018].
- Jiménez-Badillo, D. (2016). La REDTDPC y la difusión del patrimonio cultural en el siglo XXI. En D. Jiménez-Badillo y M. Gándara (Eds.), *El patrimonio cultural y las tecnologías digitales. Experiencias recientes desde México*, (pp. 42-59). México: Instituto Nacional de Antropología e Historia.
- Laboratorio de Nuevas Tecnologías en Turismo. (2016). Guía Teatro Juárez (Versión 1.2) [Aplicación móvil]. Disponible en Google Play Store.
- Martins, A. (2017, 31 de octubre). "Voces de otro tiempo" reconfigurando el presente y el futuro [Noticia en línea]. *IBM*. Recuperada de <https://www.ibm.com/blogs/transformacion/2017/10/31/voces-tiempo-reconfigurando-presente/> [Consultada el 4 de febrero de 2019].
- Mata, F. (2015). Teotihuacan RA (Versión 1.6) [Aplicación móvil]. Disponible en Google Play Store.

- Mata, F. (2017). MUNAPP (Versión 2.0) [Aplicación móvil]. Disponible en Google Play Store.
- Méndez, A. y Rivera, M. E. (2016-2017). Realidad aumentada: Una herramienta de divulgación para la zona arqueológica de Tulum. *Gaceta de Museos*, Tercera Época, núm. 66, 48-53.
- Merca2.0 (2016, 7 de septiembre). Android vs iOS, ¿cuál sistema operativo resalta en México? *Merca2.0*. Recuperado de <https://www.merca20.com/android-vs-ios-sistema-operativo-resalta-en-mexico/> [Consultada el 7 de mayo del 2018].
- Muela, C. (2017, 18 de julio). No estaban muertas: Google Glass Enterprise salen a la venta y para esto sirven en 2017 [Noticia en línea]. *Xataka*. Recuperado de <https://www.xataka.com/realidad-virtual-aumentada/no-estaban-muertas-google-glass-enterprise-salen-a-la-venta-y-para-esto-sirven-en-2017> [Consultado el 15 de mayo de 2018].
- Notimex. (2018, 24 de noviembre). Estrenarán videomapping en zona arqueológica de Campeche [Noticia en línea]. *Turismo y negocios*. Recuperada de <http://turismo.notimex.gob.mx/nota/629247> [Consultada el 4 de febrero de 2019].
- Panetta, K. (2017, 15 de agosto). Top Trends in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, 2017 [Artículo en línea]. *Gartner*. Recuperado de <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017/> [Consultado el 15 de mayo de 2017].
- Prendes, C. (2015). Realidad aumentada y educación: Análisis de experiencias prácticas. *Pixel-Bit Revista de Medios y Educación*. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36832959008> [Consultado el 10 de abril de 2018].
- Redacción Chilango (2018, 24 de mayo). La realidad aumentada llegó al Museo Nacional de Antropología [Noticia en línea]. Recuperada de <http://www.chilango.com/noticias/tecnologia/app-para-museos-cdmx/> [Consultada el 24 de mayo de 2018].
- Redacción SDPnoticias. (2018, 5 de febrero) 'Vaunt', las nuevas gafas de Realidad Aumentada de Intel [Noticia en línea]. Recuperada de <https://www.sdpnoticias.com/tecnologia/2018/02/05/vaunt-las-nuevas-gafas-de-realidad-aumentada-de-intel> [Consultada el 15 de mayo de 2018].
- Rekimoto, J. (s.f.). Matrix: A Realtime Object Identification and Registration Method for Augmented Reality [Artículo en línea]. Japón: Sony Computer Science Laboratory, Inc. Recuperado de <https://www.sonyscl.co.jp/person/rekimoto/papers/apchi98.pdf> [Consultado el 26 de abril de 2018].
- Rosas, S. (2016, 4 de agosto). UNAM relanzará apps Murales CU y UNAM 360 [Noticia en línea]. *Fundación UNAM*. Recuperada de <http://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/unam-relanza-apps-murales-cu-y-unam-360/> [Consultada el 14 de mayo de 2018].
- Rosenblatt, S. (2014, 21 de febrero). El Proyecto Tango de Google despliega una nueva tecnología de creación de mapas [Noticia en línea]. *CNET en español*. Recuperada de <https://www.cnet.com/es/noticias/el-proyecto-tango-de-google-despliega-una-nueva-tecnologia-de-creacion-de-mapas/> [Consultada el 15 de mayo de 2018].
- Secretaría de Cultura. (2017a). MEXICANA. Repositorio del Patrimonio Cultural de México [Repositorio en línea]. Recuperado de <https://mexicana.cultura.gob.mx/> [Consultado el 2 de febrero de 2019].
- Secretaría de Cultura. (2017b). Memento Mori [Aplicación en línea]. *Centro Nacional de las Artes - Centro Multimedia*. Recuperada de <https://www.mementomori.cenart.gob.mx/> [Consultada el 4 de febrero de 2019].
- Secretaría de Gobernación. (2013). *Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018* [Documento en línea]. Recuperado de <http://pnd.gob.mx> [Consultado el 18 de mayo de 2018].
- Secretaría de Gobernación. (2016). *Programa Especial de Cultura y Arte 2014-2018. Logros 2015* [Documento en línea]. Recuperado de <http://www.cultura.gob.mx/PDF/Avances-del-PECA-2015.pdf> [Consultado el 18 de mayo de 2018].
- Sierra, S. (2013, 18 octubre). Las revoluciones estéticas de Francia a México [Artículo periodístico en línea]. *El Universal*. Recuperado de <http://archivo.eluniversal.com.mx/cultura/2013/impreso/las-revoluciones-72769.html> [Consultado el 4 de febrero de 2019].
- Sony Interactive Entertainment Europe Limited. (2018). The Playroom [Sitio web]. Recuperado de <https://www.playstation.com/es-es/games/the-playroom-ps4/> [Consultado el 15 de mayo de 2018].

- Steve, O. (2017, 15 de agosto). Video mapping al servicio de la historia, así luce el espectáculo lumínico de Chichen Itzá [Noticia en línea en el sitio Xataka]. México. Recuperado de <https://www.xataka.com.mx/streaming/video-mapping-al-servicio-de-la-historia-asi-luce-el-espectaculo-luminico-de-chichen-itza> [Consultada el 4 de febrero de 2019].
- Swider, M. (2018, 19 de marzo). Magic Leap One release date, price and features [Artículo en línea]. *Techradar*. Recuperado de <https://www.techradar.com/news/magic-leap-one> [Consultado el 15 de mayo de 2018].
- Tedini, D. (2013). Precisión y margen de error en un GPS [Artículo en línea]. *Sitio Comunitario de estudiantes de la Maestría en Entornos virtuales de aprendizaje*. Recuperado de: <https://sites.google.com/site/posicionamientoglobalgps/tecnologia/daniel> [Consultado el 22 de mayo de 2018].
- The New Media Consortium. (2015a). *NMC Horizon Report 2015 Higher Education Edition*. Recuperado de <https://www.nmc.org/publication/nmc-horizon-report-2015-higher-education-edition/> [Consultado el 18 de abril de 2018].
- The New Media Consortium. (2015b). *NMC Horizon Report 2015 Museum Edition* [Reporte en línea]. Recuperado de <https://www.nmc.org/publication/nmc-horizon-report-2015-museum-edition/> [Consultado el 18 de abril de 2018].
- Trilnick, C. (2018) Sensorama [Nota en línea]. *Proyecto Idis*. Recuperada de <http://proyectoidis.org/sensorama/> [Consultada 14 de mayo de 2018].
- UNAM. (2016). Estudios de Cultura Maya. *Instituto de Investigaciones Filológicas*. [Revista en línea]. Recuperado de <https://revistas-filologicas.unam.mx/estudios-cultura-maya/index.php/ecm/about> [Consultado el 2 de febrero de 2019].
- Valencia, H. (2016, 27 de abril). Teotihuacán con realidad aumentada [Noticia en línea]. *Agencia Informativa CONACyT*. Recuperada de <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/tic/7021-teotihuacan-con-realidad-aumentada> [Consultada el 8 de mayo de 2018].
- Villar, C., Cabrera, A., Rodríguez, I. y Stajnovic, N. (2012). Realidad aumentada aplicada al patrimonio museístico: el proyecto europeo ArtSense. En Asensio, Ibañez, Caldera, Ajenjo y Castro (Eds.). *Series Iberoamericanas de Museología*. Vol. 3, pp. 191-200. Recuperado de https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/11514/57117_14.pdf?sequence=1 [Consultado el 4 de febrero de 2019].
- VR360MX. (2015). Ver México (Versión 1.0) [Aplicación móvil]. Disponible en Google Play Store.
- Zavía, M. (2016, 25 de enero). Experimenta los sueños surrealistas de Salvador Dalí a través de la realidad virtual de Disney [Nota y video en línea]. *Gizmodo-Univisión*. Recuperados de <https://es.gizmodo.com/experimenta-los-suenos-surrealistas-de-salvador-dali-a-1754943181> [Consultado el 4 de febrero de 2019].
- Zona Arqueológica de Chichen Itzá. (2017). Museo Virtual de la Zona Arqueológica de Chichen Itzá [Recurso en línea publicado en Sketchfab]. Recuperado de <https://sketchfab.com/chichen.itza> [Consultado el 3 de febrero de 2019].

Un territorio inexplorado: los videojuegos, la arqueología y el estudio del pasado

Xavier Rubio-Campillo

SCHOOL OF HISTORY, CLASSICS AND ARCHAEOLOGY, UNIVERSITY OF EDINBURGH, UK
DIDPATRI / INSTITUT DE RECERCA EN EDUCACIÓ - UNIVERSITAT DE BARCELONA

Resumen. La industria de los videojuegos se ha convertido en uno de los productos de entretenimiento más importantes de nuestra cultura. Sus narrativas y escenarios frecuentemente se han inspirado en el pasado para generar espectaculares escenarios dónde situar sus historias de manera similar a como lo han hecho el cine o la literatura. Ruinas pobladas de enemigos, personajes vinculados a la arqueología o espectaculares reconstrucciones de ciudades renacentistas son sólo algunos de los ejemplos de esta tendencia común a muchos productos de ficción. Pese a tener una existencia de casi 50 años, es ahora que los videojuegos están alcanzando su madurez creativa como medio de expresión, con un lenguaje propio y distinto al resto de los otros medios. Este proceso está al mismo tiempo generando nuevas oportunidades para transmitir conocimiento aprovechando la interactividad inherente al medio de los videojuegos. Numerosas iniciativas recientes están demostrando el potencial que éstos tienen como herramienta didáctica capaz de transformar la sociedad a través de la exploración de temas tan complejos como la diversidad cultural, el cambio climático o las enfermedades mentales. En este nuevo contexto cabe preguntarse cómo la arqueología y otras disciplinas relacionadas con el patrimonio pueden usar los videojuegos para difundir sus conocimientos. ¿Qué puede ofrecer este nuevo medio que no sea posible con el cine o la literatura? Este trabajo explora la relación actual entre videojuegos y Arqueología a través de dos tipos de proyectos: a) productos de carácter comercial que reviven el pasado y b) iniciativas creadas para la divulgación del conocimiento arqueológico.

Palabras clave: videojuegos; didáctica; aprendizaje; arqueología; historia

Abstract: The video games industry has become one of the most important entertainment products in our culture. The narrative and contexts defined in these games often use the past as a means to provide spectacular and exotic environments to their players. This approach is rather conventional and similar to what is done in cinema or literature. Ruins crowded with enemies, main characters studying archaeology or Renaissance cities are only some examples of this popular perspective on the past. The creation and maturity of a new cultural format also generates new languages and learning opportunities. Specifically, a number of recent initiatives are using video games to explore alternate approaches to complex topics such as cultural diversity, climate change or mental illness. In this context, it is relevant to ask how can video games be used to communicate the past? What can this new media offer to learning methods that is not already possible with more traditional media? This work explores the current relationship between video games and Archaeology through two types of projects: a) mainstream commercial products reliving the past and b) initiatives explicitly designed for archaeological outreach.

Keywords: video games; didactics; learning; archaeology; history

1. INTRODUCCIÓN

La integración de nuevas tecnologías digitales es uno de los retos actuales más importantes para la investigación y divulgación en Arqueología (Morgan y Eve, 2012). Esta integración debería generar nuevos diálogos dentro de la comunidad arqueológica, pero también nuevas maneras de presentar sus descubrimientos a las generaciones presentes con la finalidad de generar una

sociedad más reflexiva y crítica, capaz de usar el conocimiento sobre el pasado para informar a los desafíos a los que se enfrenta.

En este contexto, es importante esclarecer el papel que juega la Arqueología dentro de los productos culturales consumidos habitualmente por nuestra sociedad. ¿Qué idea tiene el gran público de lo que es un arqueólogo? ¿Conoce sus métodos de trabajo? ¿Qué visiones se dan sobre sociedades pasadas?

En este trabajo nos centramos en la industria cultural más potente de la actualidad: los videojuegos. Estos productos se han convertido en nuestra actividad de entretenimiento más popular, existiendo en la actualidad unos 2.500 millones de jugadores en el planeta, de los cuales un 40% juega a diario. El consumo de videojuegos se ha convertido al mismo tiempo en una actividad ubicua, dada la diversidad de dispositivos en los que podemos disfrutar de ellos, sea desde el sofá de casa, en el transporte público o en la escuela (Rubio-Campillo, 2013).

Mundos virtuales como los videojuegos nos plantean una ventana al pasado con un potencial difícil de igualar con otros medios, gracias a ser una experiencia profundamente subjetiva combinada con su interactividad (Slater y Wilbur, 1997). La vinculación cognitiva entre nosotros como jugadores y el personaje principal que controlamos es tan importante que, cuando hablamos de nuestras acciones en el juego, usamos la primera persona: "he vencido al enemigo", "he muerto", "estoy defendiendo un castillo". Esto no ocurre en otros medios de expresión, ya que para generar este efecto hace falta cierto grado de interactividad e inmersión que no son posibles en un libro o una película. Los videojuegos se definen por una serie de retos de dificultad creciente que el jugador debe resolver teniendo en cuenta un conjunto de reglas que definen el mundo de juego. A través del aprendizaje y la exploración, el jugador adquiere conocimiento sobre las mecánicas y las aplica para ir superando los diferentes retos. Esta experiencia lúdica requiere un usuario activo y al mismo tiempo un escenario capaz de integrar las mecánicas de juego en una narrativa y universo que atraiga al jugador. Así, el interés principal de los videojuegos no está ni en su

trama ni en sus personajes, sino en la interacción aplicada a la resolución de problemas.

Las mecánicas de juego tienden a ser abstractas, pero se vinculan a escenarios y narrativas específicas para darles mayor atractivo. Es común que muchos de estos universos lúdicos sitúen al jugador en el pasado y por ese motivo abundan los productos que echan mano de elementos patrimoniales y arqueológicos. Pese a la importancia de la industria de los videojuegos y a la popularidad de la ambientación histórica, la relación entre ambos mundos está aún poco explorada. ¿Cómo son presentados los arqueólogos y su trabajo al gran público? ¿Qué importancia tiene el rigor científico e histórico? ¿Qué capacidad proporcionan los videojuegos en cuanto a experimentar el pasado?

Estas preguntas son sólo una muestra de los intereses del campo de investigación recientemente definido como arqueolúdica (en inglés *archaeogaming*). El *archaeogaming* agrupa la comunidad de arqueólogos interesados en estudiar el rol de la arqueología dentro de los videojuegos, así como las maneras en las que la disciplina arqueológica puede aportar conocimiento sobre estos productos culturales de reciente invención (Reinhard, 2018).

El presente trabajo recoge algunos de los debates relacionados con esta subdisciplina de creciente popularidad (Mol et al., 2017). La siguiente sección ofrece una primera aproximación a la visibilidad de la disciplina arqueológica dentro de los videojuegos publicados en los últimos años. La tercera sección analiza los desafíos que los videojuegos plantean en cuanto a objeto de investigación arqueológica, tanto en soporte físico como virtual. La sección cuarta aporta una perspectiva didáctica al uso de los videojuegos como forma de experimentar el pasado. El texto concluye con una reflexión sobre el potencial de los videojuegos como elemento cultural en el contexto de la arqueología digital.

2. LA ARQUEOLOGÍA EN LOS VIDEOJUEGOS

La relación entre arqueología y videojuegos más obvia que podemos pensar es la presencia de la disciplina científica dentro de estos productos culturales. De manera general podemos decir que no



Figura 1. Indiana Jones and the Fate of Atlantis visitaba yacimientos arqueológicos reales como Knossos (Creta)

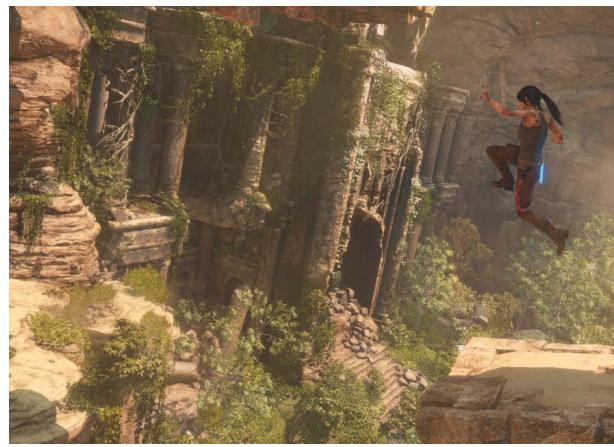


Figura 2. El reboot de la saga Tomb Raider acaecido en 2013 muestra a una joven Lara Croft estudiante de arqueología

hay diferencias significativas entre la visión de la arqueología presentada en videojuegos y la que podamos observar en otros medios de ficción. Estas similitudes se aprecian especialmente en cuanto al diseño de personajes, pero se perpetúa también al analizar elementos específicos de los videojuegos como son la creación del mundo virtual creado y las mecánicas de juego.

2.1. Arqueólogos de ficción

En primer lugar, los personajes relacionados con la disciplina están usualmente basados en las visiones populares del arqueólogo, de las que tiene especial relevancia el personaje de Indiana Jones. De hecho, los primeros juegos presentando un arqueólogo son precisamente los basados en la famosa saga de películas del personaje creado por George Lucas y Steven Spielberg. Caben destacar especialmente las aventuras gráficas de LucasArts centradas en el personaje y su exploración de misterios arqueológicos, por ejemplo *Indiana Jones and the Last Crusade* (LucasArts, 1989) e *Indiana Jones and the Fate of Atlantis* (LucasArts, 1992), (Figura 1).

El estereotipo de Indiana Jones se ha usado como base para dos de las franquicias más famosas de la historia de los videojuegos: *Tomb Raider* (Eidos Interactive, 1996, Figura 2) y *Uncharted* (Naughty Dog, 2007). Ambas sagas presentan personajes principales muy influidos por Indiana Jones (Lara Croft y Nathan Drake), así como mecánicas de juego que

combinan la exploración de ruinas arqueológicas aunada a la confrontación con grupos de enemigos que buscan y compiten por un preciado tesoro de gran poder.

Cabe mencionar que ni Lara Croft ni Nathan Drake se presentaron inicialmente como arqueólogos, sino como cazadores de tesoros fascinados con el pasado (Meyers Emery y Reinhard, 2015). Es especialmente interesante que el trasfondo de Lara Croft se haya reimaginado para el reinicio de la franquicia efectuado en 2013, ya que en las nuevas entregas Lara es una estudiante que decidió cursar arqueología en la University College London influenciada por las expediciones arqueológicas de sus padres. Este cambio dota al personaje de una mayor credibilidad y justifica su interés por el pasado de modo similar a la posición académica de Indiana Jones.

2.2. El pasado como contexto narrativo

En segundo lugar, el uso de civilizaciones pasadas permite crear mundos muy ricos, con una menor inversión en el diseño del mundo de juego que la necesaria para crear un nuevo universo o para comprar una licencia de elevado coste: la mitología, arquitectura y personajes ya están ahí, así que ¿por qué no usarlos? Esta es la aproximación tomada por *Assassin's Creed* (Ubisoft Montreal, 2007), una franquicia que sitúa cada juego en coordenadas espacio temporales únicas y distintivas como la Florencia renacentista, el Egipto helenístico o las guerras del



Figura 3. Assassin's Creed: Discovery Tour usa el motor original de Origins para plantear rutas guiadas estáticas a través del Antiguo Egipto

Peloponeso. En anteriores entregas, la trama combinaba el mundo actual con las acciones del jugador en el pasado. Esto generaba una interesante dinámica de “memoria como historia”, en la que nuestras decisiones afectaban el pasado y presente simultáneamente. Al mismo tiempo, el jugador conocía a diversos personajes históricos famosos como Leonardo da Vinci o Robespierre, reforzando así las visiones que el jugador ya pudiera tener de los episodios históricos representados (Menon, 2015).

Assassin's Creed se ha convertido en paradigma de los videojuegos que destacan su autenticidad histórica como valor; a él se le pueden sumar sagas de géneros tan diversos como la estrategia de *Shogun: Total War* (Creative Assembly, 2000) o los juegos de disparos en primera persona (*first-person shooters*), como la saga *Battlefield 1942* (Digital Illusions, 2002).

La discusión entre los jugadores que valoran el rigor histórico de estos juegos se basa casi exclusivamente en aspectos formales como la arquitectura o el armamento, pero raramente tiene relación con la visión que transmiten del pasado (Copplesstone, 2017). Además, es de prever que el rigor estará siempre supeditado a motivos estéticos, elementos narrativos y mecánicas de juego si una

disminución del rigor puede hacer el producto atractivo a una mayor cantidad de público. Un ejemplo de esto se puede encontrar en las últimas entregas de la saga *Assassin's Creed: Origins* y *Odissey* (Ubisoft Montreal, 2017 y 2018, respectivamente). La primera publicó una expansión llamada *Discovery Pass* que nos permite explorar el antiguo Egipto como si se tratara de una visita guiada a los monumentos más famosos (ver Figura 3).

Estas visitas muestran un Egipto estático y vacío, ya que las mecánicas de juego -centradas en el uso de violencia- son descartadas para justificar el componente educativo y donde los genitales de estatuas son censurados con conchas para poder pasar las restricciones de edad y obtener la aprobación como producto para todos los públicos. Por su parte, *Odissey* plantea una historia situada en la Grecia clásica en la que se muestra una visión romántica más cercana al yacimiento arqueológico que a la época en la que los edificios estuvieron en uso; por ejemplo, en el vídeo promocional que se ha publicado hasta la fecha las construcciones y esculturas aparecen sin pintar, probablemente con la finalidad de hacerlos más similares a la imagen actual sobre dicho período.



Figura 4. El poder evocador de las ruinas arqueológicas es un escenario común en todo tipo de juegos incluyendo los puzzles como *The Talos Principle*



Figura 5. Sagas como *Uncharted* explotan la fascinación por objetos y civilizaciones

Más allá de personajes y ubicaciones reales existen numerosos juegos que usan ruinas arqueológicas como escenario principal en el que situar su trama, sea en un futuro lejano –como en *The Talos Principle* (Croteam, 2014) ilustrado en la Figura 4- o en un mundo distinto, como ocurre en *Shadow of the Colossus* (Team ICO, 2005). La intención de estos juegos es aprovechar el potencial evocador de las ruinas para nuestra sociedad, aportando así una visión romántica sobre las sociedades pasadas e invitando a la reflexión sobre su eventual desaparición.

En todos estos casos se puede observar que el rigor histórico o la ambientación arqueológica son reclamos para reforzar la trama y jugabilidad del producto, ya que no son valorados por los diseñadores como elemento independiente. Estas decisiones tienen toda su lógica desde la perspectiva del videojuego como forma de entretenimiento. A cierto nivel estos videojuegos pueden mejorar nuestra comprensión del paisaje urbano o de las tácticas militares, pero la consecuencia es que rara vez aportan visiones más ricas y complejas del pasado (Chapman, 2012; Rejack, 2007). Esto no es un reto fácil para el diseñador de juegos, ya que integrar el conocimiento procedente de la investigación arqueológica- incluyendo los matices, incertidumbres y debates de la disciplina- podría generar confusión al jugador y desviarlo de los objetivos principales de la experiencia.

2.3. Mecánicas de saqueo

En tercer lugar, la búsqueda de tesoros es una mecánica muy frecuente en videojuegos (Figura 5).

Estas actividades de saqueo (*looting*, en inglés) son útiles para el jugador, ya que enriquecen su inventario (dinero, poderosas armaduras y armamento) y proporcionan experiencia para mejorar los atributos del personaje que éste controla (subida de nivel). Por ese motivo es fácil encontrar misiones en las que el jugador encuentre y saquee yacimientos, sea explorando el territorio, descifrando antiguos idiomas o esquivando peligrosas trampas. Así, lo que en el mundo real serían considerados yacimientos arqueológicos protegidos, en los videojuegos pasan a ser sitios repletos de enemigos y botín.

Diversos autores han destacado que los videojuegos promueven el saqueo de patrimonio arqueológico como actividad lícita y divertida, pese a ser ilegal y perniciosa en el mundo real (Meyers Emery y Reinhard, 2015). Pese a ser cierto, ésta no es una característica exclusiva de videojuegos sobre el patrimonio cultural, ya que la visita a otro tipo de universos virtuales nos permite hacer cosas potencialmente divertidas pese a ser ilegales y éticamente cuestionables en el mundo real. Un ejemplo aún más simple que el saqueo de patrimonio es la conducción de coches; en la mayoría de videojuegos es difícil y aburrido conducir respetando las leyes, y cualquier escena relacionada con conducir de manera normal generará tarde o temprano una peligrosa persecución típicamente acompañada de una larga lista de delitos.

3. LOS VIDEOJUEGOS COMO PATRIMONIO

Una segunda aproximación a la arqueología en videojuegos está relacionada con el estudio de los videojuegos como productos culturales, tanto en soporte físico como digital.

Los videojuegos tienen una existencia muy corta que no va más allá de unas pocas décadas. Así, escasas excavaciones arqueológicas han tratado como cultura material los diversos formatos físicos en los que se publican (cartuchos, discos duros, CD-ROM, etc.). La única excavación arqueológica relacionada con estos productos hasta la fecha es la dirigida por Andrew Reinhard en el vertedero de Alamogordo (Nuevo México) en 2014 (Reinhard, 2015). El objetivo del proyecto era confirmar el entierro de miles de cartuchos de videojuegos por parte de la compañía Atari en 1983. El hallazgo de los cartuchos confirmó lo que hasta ese momento parecía una leyenda de la industria, ya que una mayoría de cartuchos pertenecían al juego *E.T. the Extra-Terrestrial*, cuyo fracaso condenó a una de las mayores compañías de entretenimiento del siglo XX a la quiebra. El descubrimiento de los cartuchos vino rodeado de un gran impacto mediático que ha convertido la excavación en un referente para la arqueología de época contemporánea.

Si bien estas experiencias son interesantes, la realidad es que los videojuegos se alejan cada vez más del soporte físico para ser productos accesibles estrictamente vía descarga digital. Es probable que en pocos años no exista ningún soporte físico más allá de los dispositivos en los que los juegos se ejecutan y si no se plantean metodologías de trabajo alternativas se corre el riesgo que los videojuegos, como otros productos culturales del siglo XXI, sean invisibles para los arqueólogos del futuro.

Una de estas alternativas plantea que se puede excavar videojuegos como si de yacimientos arqueológicos se tratara (Reinhard, 2017; 2018). Los contenidos del juego son asimilables a artefactos culturales que pueden ser recuperados, catalogados y analizados para entender mejor la sociedad de la que son productos. La tarea no está exenta de dificultades; la extensión de la práctica arqueológica a un entorno digital conlleva la reevaluación de nu-

merosos conceptos y metodologías que no pueden trasladarse directamente desde el formato físico al virtual. La exploración de estos mundos virtuales también requiere de nuevos planteamientos éticos y metodológicos adaptados a los requisitos de este nuevo formato (Flick, Dennis y Reinhard, 2017).

Probablemente, el mayor desafío es la inexistencia de una estratigrafía generada por procesos naturales; los yacimientos arqueológicos que podemos encontrar en un videojuego no son el resultado del paso del tiempo, ni son los restos de elementos previamente construidos y utilizados por un grupo humano, sino que fueron creados como ruinas desde un inicio. Sea por un algoritmo que genere entidades en base a unas reglas, o sea por un diseñador que las haya modelado, los restos de edificios, ciudades y especies que podamos encontrar en un juego no son el resultado de ningún proceso temporal. Además, estos elementos son generados por mecanismos más parecidos al diseño inteligente que a los procesos físicos, evolutivos y geológicos que dan lugar a yacimientos arqueológicos en el mundo físico. Finalmente, la mayor diferencia entre los yacimientos físicos y los virtuales es que los segundos se han creado con una finalidad muy concreta: crear un mundo interesante para el jugador y que sea divertido de explorar. Esta finalidad dista mucho de la mirada de procesos individuales y colectivos que generan el registro de cultura material objeto del estudio de la disciplina arqueológica.

Pese a estas dificultades, es cierto que la arqueología debería reflexionar sobre su papel dentro de la cultura digital. Numerosas disciplinas usan mundos virtuales como valiosas fuentes de datos para expandir su conocimiento y evaluar hipótesis. Los juegos crean mundos fantásticos o universos paralelos, pero las dinámicas sociales que se desarrollan en dichos mundos están generadas por la interacción entre individuos de nuestra sociedad y, por ese motivo, no son distintas de lo que podemos observar en la realidad física. De hecho, la separación entre mundo físico y mundo virtual es hasta cierto punto absurda, porque cualquier pieza de software forma parte de nuestra realidad y las personas que pueblan ambos mundos son las mismas. Así, las

dinámicas que interesan a los científicos sociales están presentes en cualquier videojuego y por lo tanto conceptos como sexismo, racismo, cooperación o solidaridad son susceptibles de ser estudiados a partir de las acciones que los jugadores realizan en un entorno virtual.

Numerosos autores han usado este paralelismo entre comportamiento dentro y fuera de los juegos, conocido como la Paradoja de Proteo, para explorar hasta qué punto los videojuegos pueden ser usados como laboratorios para el estudio de dinámicas sociales (Yee, 2014). Una cuestión interesante sería explorar si la Arqueología y la Historia pueden usar esta misma aproximación para responder cuestiones clásicas de las disciplinas en relación a dinámicas de interacción social y cambio cultural (Spring, 2015), de modo similar a lo que ya se hace con simulación social (Graham, 2017; Rubio-Campillo, 2018). Así, sería posible sustituir, por ejemplo, el comportamiento artificial de los Modelos Basados en Agente por jugadores y estudiar conceptos como la evolución de la cooperación (Pereda et al., 2017) o el estudio de dinámicas de fisión y fusión en sociedades cazadoras-recolectoras (Crema, 2014).

4. EXPERIMENTANDO EL PASADO DE FORMA INTERACTIVA

Una tercera opción es usar los videojuegos para explicar tanto el pasado como las disciplinas que lo estudian. Jugar es una de las herramientas básicas de aprendizaje en cualquier sociedad y como tal la investigación en el uso de tecnologías digitales ha explorado el uso potencial de los videojuegos como herramientas didácticas (Bennet, Maton y Kervin, 2008; Collins y Halverson, 2018). Por desgracia, la situación actual de la presencia de los videojuegos comerciales en contextos educativos es muy limitada (Squire, 2008). Pese a ser una de las actividades de ocio más arraigadas en nuestra sociedad, los videojuegos son usualmente ignorados tanto en entornos formales (dentro del aula) como no formales (museos y espacios expositivos). Los motivos son diversos, destacando el coste económico de los videojuegos comerciales, los contenidos violentos de una mayoría de juegos y, en especial, la falta de

contacto de los educadores con este tipo de productos (Etxeberria, 2008).

Por otra parte, son numerosas las iniciativas de diseño de videojuegos creados específicamente para un contexto educativo. Estos productos tienen un carácter eminentemente didáctico y usan los videojuegos como un medio alternativo para la transmisión de contenidos típicamente relacionados con los currículos definidos en la educación formal. Por desgracia, la mayoría de estas iniciativas no tienen impacto más allá de su uso obligatorio en el aula, ya que los alumnos prefieren otros productos cuando tienen libertad de elección (AEVI, 2013; 2015). Así, los juegos educativos tienen fama de aburridos por parte de los jugadores y corren el riesgo de seguir el mismo camino que las visitas a museos o la lectura de libros de texto: actividades que, por ser obligatorias en la educación formal, son evitadas por la mayoría de la población una vez superadas (Squire, 2008; Klopfer, Osterweil y Salen, 2009).

El problema principal radica en la duplicidad de objetivos durante la creación del videojuego: los juegos son experiencias interactivas que requieren más tiempo y más implicación por parte del consumidor que otros medios de expresión. El jugador tan sólo querrá continuar con la experiencia si el juego genera y sostiene una experiencia suficientemente interesante como para querer llegar al final de partida. Los juegos educativos no tienen este objetivo como principal misión; en consecuencia, los jugadores prefieren experiencias más gratificantes en cuanto a producto de entretenimiento. Como hemos visto, estas experiencias ordinarias (*mainstream*) usan el patrimonio cultural a su libre albedrío, sin otra finalidad que generar mundos, personajes y situaciones que interesen al jugador y, por tanto, cualquier objetivo didáctico será siempre secundario.

Es usual ver ambas perspectivas como aproximaciones opuestas: o bien los productos son divertidos o bien son educativos. Así, la integración de dinámicas de juego en entornos educativos (lo que inglés se llama *edutainment*) usualmente implica la asunción implícita que el aprendizaje es aburrido y, por tanto, se requiere endulzar el producto con un bálsamo lúdico para hacerlo más digerible (Resnick, 2004).



Figura 6. Evolving Planet plantea una mirada al pasado humano en base a la investigación de una especie humanoide de trayectoria similar a la humana

Una visión alternativa aboga por usar el diseño mismo del videojuego como elemento didáctico principal (Schell, 2014). Cualquier producto lúdico existente se basa en el establecimiento de una serie de retos presentados al jugador. Dicho jugador debe aprender una serie de reglas y tomar decisiones para superar el reto y acceder a nuevos problemas de dificultad creciente. Así, el proceso mismo de experimentar un videojuego conlleva un aprendizaje que podría ser usado para experimentar el pasado mediante nuevas y sorprendentes vías.

Esto fue el punto de partida de *Evolving Planet*, un proyecto diseñado para aumentar la visibilidad de las ciencias arqueológicas (Rubio-Campillo et al., 2017). En el juego se planteaba un escenario de ciencia-ficción en el que la humanidad ha colonizado buena parte de la galaxia. El jugador toma el rol de un arqueólogo que ha encontrado -en un planeta remoto- evidencia de una especie alienígena autoconsciente ya extinguida; su objetivo será reconstruir la historia de estos humanoides y descubrir las causas del colapso. El uso de este contexto ficticio permitió al equipo desarrollar una narrativa nueva que capturara el sentimiento de descubrimiento típico de la disciplina y, al mismo tiempo, permitió explorar conceptos tan complejos como la cooperación y conflicto, la domesticación de plan-

tas y animales y las dinámicas generadas por la evolución (ver Figura 6).

La iniciativa mostró la compleja relación entre el diseño del juego y el aprendizaje de contenidos relacionados con la arqueología (Graham, 2016). Al mismo tiempo, ha permitido aprender numerosas lecciones que se han usado en la actualidad para crear un segundo videojuego centrado en la evolución humana. Bajo el nombre de *Ancestors: stories of Atapuerca*, esta experiencia se centra en las similitudes entre nuestra especie y el resto de humanos que existieron en el yacimiento arqueológico de Atapuerca (*Homo Antecessor*, *Heidelbergensis* y *Neanderthalensis*). El proyecto usa conceptos clásicos de juegos comerciales aceptados en la actualidad como son el uso de la narración ambiental, gestión del inventario o exposición mediante personajes para romper tópicos relacionados con nuestros antepasados (Rubio-Campillo, 2018). De esta manera, *Ancestors* propone una visión fresca y actualizada de cómo vivían estas sociedades cazadoras-recolectoras (ver Figura 7). Así, el juego integra los últimos descubrimientos sobre estas especies de homínidos, incluyendo estrategias de caza, uso de lenguaje, perspectivas de género o incluso debates actuales sobre el arte Neandertal (Papagianni y Morse, 2015; Hoffman et al., 2018).

Estas iniciativas procedentes de la Arqueología se unen a otras en ámbitos tan diversos como los producidos en *Herald* (Wispfire, 2017) en el campo de la Historia (van der Schilden y Heijltjes, 2017) o *Never Alone* (Upper One Games, 2014) en Antropología (ver también Cook Inlet Tribal Council, 2017), para demostrar que existe un espacio entre juegos comerciales tradicionales y juegos estrictamente educativos en los que generar experiencias que sean al mismo tiempo atractivas e inviten a la reflexión. Estos juegos transformativos (McGonigal, 2011; Schell, 2014) deberían explotar las dinámicas que en otras productos sirven de entretenimiento para plantear un objetivo adicional: enriquecer la cosmovisión del jugador sobre el mundo que le rodea y, en nuestro caso, sobre el pasado de nuestra especie.

4. CONCLUSIONES

Los videojuegos son el producto cultural con mayor capacidad experiencial y educativa que la humanidad ha creado jamás. Como se podía esperar, existe una compleja relación entre arqueología y videojuegos que muestra numerosos vínculos entre ambos mundos. Desde el planteamiento del mundo virtual como yacimiento arqueológico hasta la creación de juegos diseñados para experimentar el pasado, estos productos culturales requieren de nuevas aproximaciones que nos permitan integrar la investigación y divulgación arqueológicas en ellos.

Dados los problemas de la visión comúnmente aceptada de la Arqueología que vemos en personajes, mundos y mecánicas cabe preguntarse por qué los estereotipos existentes generan tanta atracción a nivel de ficción. El motivo es probablemente esa sensación de descubrimiento profundamente enraizada en la actividad arqueológica (Meyers Emery y Reinhard, 2015).

El romanticismo evocador de las ruinas arqueológicas y civilizaciones desaparecidas hace milenarios es un poderoso escenario en el que situar historias épicas que, en muchos casos, combinan el pasado con elementos fantásticos. Desde esta perspectiva el uso de arqueología en los videojuegos es muy similar al que se hace de los dinosaurios o los alienígenas: un elemento misterioso y exótico que sirve de con-

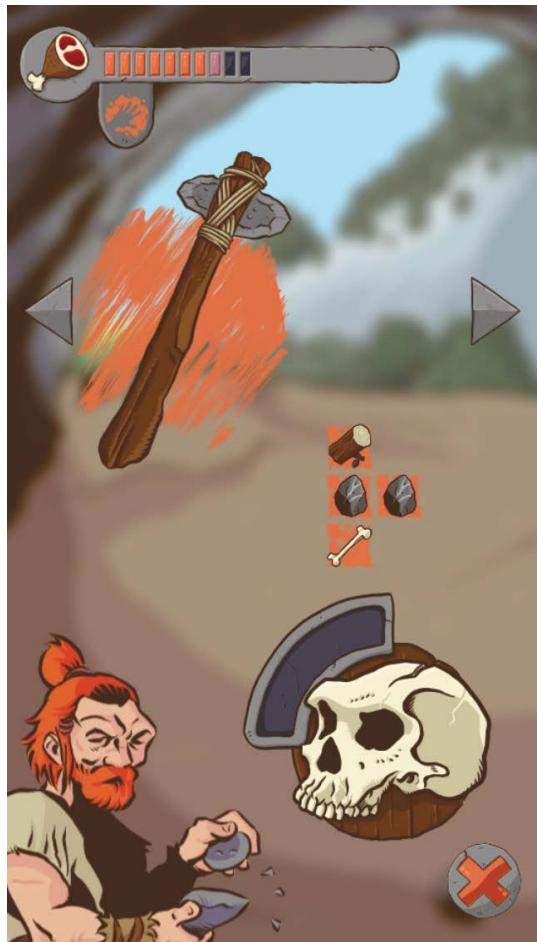


Figura 7. Ancestors usa la narración ambiental para integrar conocimiento sobre la evolución humana a través de características biológicas (e.g. estructura craneal, cabello pelirrojo) y culturales (herramientas, tatuajes, ropa)

texto para explicar historias evocadoras y sugerentes.

Los videojuegos han superado una fase inicial desprovista de complejidad narrativa y orientada a crear productos para un segmento de la población muy marcado y dominado por niños y adolescentes. En la actualidad, la comunidad de jugadores es extremadamente diversa en cuanto a género, edad, inquietudes y preferencias.

Como cualquier otro medio, el sector está madurando como forma de expresión a través de la creación de innovación en cuanto al lenguaje, las narrativas y las mecánicas. Al mismo tiempo, la explosión de las tiendas digitales ha facilitado su adopción y distribución hasta el punto que cualquier videojuego publicado es fácilmente accesible casi

desde cualquier lugar del planeta. En nuestras manos está solventar los retos generados por la relación entre arqueología y videojuegos, y explotar las facilidades actuales en cuanto a creación y distribución de videojuegos, con el fin de mejorar visiones críticas de nuestra historia que nos inviten a reflexionar sobre el impacto del pasado en nuestro presente y futuro.

AGRADECIMIENTOS

Las Figuras 1 a 5 se han extraído de las páginas oficiales de los juegos mostrados en las tiendas digitales Steam y Playstation Store.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEVI. (2013). *Anuario de la Industria del Videojuego 2013* [Reporte en línea]. Madrid: Asociación Española de Videojuegos. Recuperado de http://www.aevi.org.es/web/wp-content/uploads/2015/12/ANUARIO_AEVI_2013.pdf [Consultado el 7 de junio de 2018].
- AEVI. (2015). *Anuario de la Industria del Videojuego 2015*. Madrid: Asociación Española de Videojuegos. Recuperado de http://www.aevi.org.es/web/wp-content/uploads/2016/06/MEMORIA-ANUAL_2015_AEVI_-definitivo.pdf [Consultado el 7 de junio de 2018].
- Bennett, S., Maton, K., y Kervin, L. (2008). The 'digital natives' debate: A critical review of the evidence. *British Journal of Educational Technology* 39, 775–786.
- Chapman, A. (2012). Privileging form over content: Analysing historical videogames. *Journal of Digital Humanities* 1, 1–2.
- Collins, A., y Halverson, R. (2018). *Rethinking education in the age of technology: The digital revolution and schooling in America*. Teachers College Press.
- Cook Inlet Tribal Council. (2017). Storytelling for the next generation: How a non-profit in Alaska harnessed the power of video games to share and celebrate cultures. En A., C. Ariese-Vandemeulebroucke, K. Boom, A. Politopoulos (Eds.), *The interactive past: A book on video games and archaeology*, pp. 21–32. Leiden: Sidestone Press.
- Copplestone, T.J. (2017). But that's not accurate: the differing perceptions of accuracy in cultural-heritage videogames between creators, consumers and critics. *Rethinking History* 21, 415–438.
- Crema, E.R. (2014). A simulation model of fission-fusion dynamics and long-term settlement change. *Journal of Archaeological Method and Theory* 21, 385–404.
- Etxeberria, F. (2008). Videojuegos, consumo y educación. *Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información* 9 (3), 11–28. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=201017343002> [Consultado el 7 de junio de 2018].
- Flick, C., Dennis, L.M., y Reinhard, A. (2017). Exploring simulated game worlds. *The ORBIT Journal*, 1(2), 1–13. <https://doi.org/10.29297/orbit.v1i2.46>
- Graham, S. (2016). Review of evolving planet [game]. *Internet Archaeology* 46. Recuperado de <https://doi.org/10.5334/ia.46.1>

- intarch.ac.uk/journal/issue42/4/index.html [Consultado el 7 de junio de 2018].
- Graham, S., 2017. On games that play themselves: Agent based models, archaeogaming, and the useful deaths of digital Romans. En A. Mol, C. Ariese-Vandemeulebroucke, K. Boom, y A. Politopoulos (Eds.), *The interactive past: A book on video games and archaeology*, pp. 123–132. Leiden: Sidestone Press.
- Hoffmann, D.L., Standish, C.D., García-Diez, M., Pettitt, P.B., Milton, J.A., Zilhão, J., Alcolea-González, J.J., Cantalejo-Duarte, P., Collado, H., de Balbín, R., Lorblanchet, M., Ramos-Muñoz, J., Weniger, G.-C., y Pike, A.W.G. (2018). U-Th dating of carbonate crusts reveals Neandertal origin of Iberian cave art. *Science* 359, 912–915.
- Klopfer, E., Osterweil, S., y Salen, K. (2009). *Moving learning games forward*. Cambridge, MA: The Education Arcade.
- McGonigal, J. (2011). *Reality is broken: Why games make us better and how they can change the world*. Londres: Penguin.
- Menon, L. (2015). History first-hand: Memory, the player and the video game narrative in the Assassin's Creed games. *Rupkatha Journal on Interdisciplinary Studies in Humanities* 7, 108–113.
- Meyers Emery, K., y Reinhard, A. (2015). Trading shovels for controllers: A brief exploration of the portrayal of archaeology in video games. *Public Archaeology* 14, 137–149.
- Mol, A.A.A., Ariese-Vandemeulebroucke, C.E., Boom, K.H.J., y Politopoulos, A., (Eds.). (2017). *The interactive past: archaeology, heritage & video games*. Leiden: Sidestone Press.
- Morgan, C., y Eve, S. (2012). DIY and digital archaeology: what are you doing to participate? *World Archaeology* 44, 521–537.
- Papagianni, D., y Morse, M.A. (2015). *The Neanderthals rediscovered: How modern science is rewriting their story*. Thames & Hudson.
- Pereda, M., Zurro, D., Santos, J.I., Briz i Godino, I., Álvarez, M., Caro, J., y Galán, J.M. (2017). Emergence and evolution of cooperation under resource pressure. *Scientific Reports* 7(45574). Recuperado de <https://www.nature.com/articles/srep45574> [Consultado el 7 de junio de 2018].
- Reinhard, A. (2015). Excavating Atari: Where the media was the archaeology. *Journal of Contemporary Archaeology* 2, 86–93.
- Reinhard, A. (2017). Video games as archaeological sites: Treating digital entertainment as built environments. En A. Mol, C. Ariese-Vandemeulebroucke, K. Boom, y A. Politopoulos (Eds.), *The interactive past: A book on video games and archaeology*, pp. 99–106. Leiden: Sidestone Press.
- Reinhard, A. (2018). *Archaeogaming: An introduction to archaeology in and of video games*. New York y Oxford: Berghahn Books.
- Rejack, B. (2007). Toward a virtual reenactment of history: Video games and the recreation of the past. *Rethinking History* 11, 411–425.
- Resnick, M. (2004). Edutainment? No thanks. I prefer playful learning. *Associazione Civita Report on Edutainment* 14, 1–4.
- Rubio-Campillo, X. (2013). El pasado en tu sofá: juegos de simulación histórica en entornos computacionales portables. *Her&Mus. Heritage & Museography* 55–62.
- Rubio-Campillo, X., Caro Saiz, J., H. Pongiluppi, G., Laborda Cabo, G., y Ramos Garcia, D. (2017). Explaining archaeological research with videogames: The case of Evolving Planet. En A. Mol, C. Ariese-Vandemeulebroucke, K. Boom, y A. Politopoulos (Eds.), *The interactive past: A book on video games and archaeology*, pp. 153–166. Leiden: Sidestone Press.
- Rubio-Campillo, X. (2018). El papel de la simulación en la arqueología actual. En D. Jiménez-Badillo (Ed.), *Arqueología computacional : Nuevos enfoques para la documentación, análisis y difusión del patrimonio cultural*. México: Secretaría de Cultura, Instituto Nacional de Antropología e Historia, pp. 51–58.
- Rubio-Campillo, X. (2020). *Gameplay as Learning: The Use of Game Design to Explain Human Evolution*. In S. Hagener (Ed.), *Communicating the Past in the Digital Age: Proceedings of the International Conference on Digital Methods in Teaching and Learning in Archaeology (12th-13th October 2018)* (pp. 45–58). Ubiquity Press. <https://doi.org/10.5334/bch.d>
- Schell, J. (2014). *The art of game design: A book of lenses*. AK Peters/CRC Press.
- Slater, M., y Wilbur, S. (1997). A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 6, 603–616.

- Spring, D. (2015). Gaming history: computer and video games as historical scholarship. *Rethinking History* 19, 207–221.
- Squire, K.D. (2008). Video games and education: Designing learning systems for an interactive age. *Educational Technology* 48, 17.
- Van der Schilden, R., y Heijltjes, B. (2017). Herald: How Wispfire used history to create fiction. En A. Mol, C. Ariese-Vandemeulebroucke, K. Boom, y A. Politopoulos (Eds.), *The interactive past: A book on video games and archaeology*, pp. 73-82. Leiden: Sidestone Press.
- Yee, N. (2014). *The Proteus paradox: How online games and virtual worlds change us-and how they don't*. Yale: Yale University Press.

REFERENCIAS LUDOGRÁFICAS

- Creative Assembly. (2000). Shogun: Total War.
- Croteam. (2017). The Talos Principle.
- Crystal Dynamics. (2013). Tomb Raider.
- Digital Illusions. (2002). Battlefield 1942.
- Eidos Interactive. (1996). Tomb Raider.
- LucasArts. (1989). Indiana Jones and the Last Crusade.
- LucasArts. (1992). Indiana Jones and the Fate of Atlantis
- Murphy's Toast Games. (2016). Evolving Planet
- Murphy's Toast Games. (2018). Ancestors: stories of Atapuerca
- Naughty Dog. (2007). Uncharted.
- Team ICO. (2005). Shadow of the Colossus.
- Ubisoft Montreal. (2007). Assassin's Creed.
- Ubisoft Montreal. (2017). Assassin's Creed: Origins.
- Ubisoft Quebec. (2018). Assassin's Creed: Odissey.
- Upper One Games. (2014). Never Alone
- Wispfire. (2017). Herald: an Interactive Period Drama.

Algunos aspectos a considerar para el diseño de videojuegos orientados a favorecer la divulgación del patrimonio cultural

Angel Pretelín-Ricárdez y Edgar Beltrán-Alvarado

UPIITA, INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, MÉXICO

Resumen: La misión de la Red TDPC es investigar las condiciones técnicas, intelectuales, legales y económicas para que las tecnologías digitales puedan ayudar a las instituciones culturales a mejorar el análisis, la difusión y la divulgación del patrimonio cultural¹. En este capítulo describiremos una propuesta para el diseño de videojuegos orientados a favorecer la divulgación del patrimonio cultural. La propuesta se desarrolla en cuatro partes. Primero, ofrecemos una definición de videojuego, así como una clasificación de este tipo de medio audiovisual considerando la difusión y la divulgación del patrimonio cultural. Después abordaremos el diseño de videojuegos, donde describiremos tres aspectos: el aspecto técnico, relacionado con las herramientas digitales con las que se puede programar un videojuego; el aspecto estético, relacionado con la narrativa y el diseño de personajes y objetos; y el aspecto educativo, donde describiremos las teorías de aprendizaje o estrategias de instrucción que pueden ser utilizadas, así como el diseño del modelo educativo del juego basado en el trabajo descrito en Amory y Seagram (2003) y Amory (2007). Por último, concluiremos con una reflexión acerca de los alcances y limitaciones que pueden tener esta propuesta al momento de ser implementada.

Palabras clave: videojuego; divulgación; educación; patrimonio cultural

Abstract: The RedTDPC's mission is to investigate the technical, intellectual, legal and economic conditions under which digital technologies may help cultural institutions to improve the analysis and dissemination of cultural heritage. In this chapter we will describe a proposal for the design of videogames aimed at promoting the dissemination of cultural heritage. To explain our proposal, we will develop the following themes: A definition of videogame, as well as a classification of this kind of media that takes into consideration the dissemination and divulgation of cultural heritage. Then we will discuss technical aspects related to several design aspects of videogames, particularly the digital tools with which these can be programmed; the aesthetic aspect, related to the narrative and the design of characters and objects; and the educational aspect, where we will describe the learning theories or instructional strategies that can be used, as well as the design of the educational model of the game based on the work described in Amory and Seagram (2003) and Amory (2007). Finally, we will conclude with a reflection about the scope and limitations that this proposal may have at the time of its implementation.

Keywords: videogame; dissemination; education; cultural heritage

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el desarrollo (diseño y programación) de videojuegos para propósitos de enseñanza y aprendizaje dentro y fuera de las aulas ha cobrado una gran relevancia, como se observa en el trabajo desarrollado en iniciativas como *Games for Change* (2018) o *Education Arcade* (2018). Consideramos que esto se debe a que los videojuegos son herramientas digitales que permiten

¹ De la página oficial de la Red TDPC: <http://redtdpc.inah.gob.mx/definicion-objetivos.php>

un alto grado de inmersión, la cual puede favorecer el aprendizaje de nuevas habilidades y conocimientos de manera formal e informal, como consecuencia de la gran cantidad de problemáticas e información que suelen estar presentes al momento de jugarlos.

Sin embargo, hasta finales de la primera década de este siglo, dentro de la agenda de desarrollo de los Juegos Serios (*Serious Games*) y el Aprendizaje Basado en Videojuegos (*Videogame Based Learning*) (Zyda, 2005), se hacía especial énfasis a que, debido a los altos costos de la infraestructura (sobre todo de software), el desarrollo de aplicaciones digitales (entre ellas videojuegos) por parte de instituciones educativas y de investigación se había frenado (Zyda, 2005; Klopfer et al., 2009, p.19). Afortunadamente, esto se ha ido resolviendo, en gran medida gracias a que los costos de las herramientas de desarrollo han disminuido gradualmente en los últimos años, por lo que actualmente podemos encontrar diversos motores de videojuegos (*game engines*) de licencia gratuita o de paga. Estos motores de videojuegos, al ser ambientes de programación de propósito específico facilitan la programación de videojuegos y en consecuencia, el desarrollo de proyectos académicos donde se favorecen ideas relacionadas con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, o bien como en el caso particular que nos atañe en este capítulo, la divulgación del patrimonio cultural.

2. UNA DEFINICIÓN DE VIDEOJUEGO

Para poder hablar de videojuegos, es necesario primero, definir que es un juego y cuáles son los elementos que lo componen, para así comenzar a delimitar nuestra propuesta. Para esto vamos a citar algunas definiciones que han dado especialistas en el tema, pues se considera al igual que los diseñadores de juegos Staffan Björk y Jussi Holopainen, que para el quehacer de un diseñador o creador de videojuegos, una definición no es útil, pero si necesaria (Björk & Holopainen, 2005).

2.1. Una definición de juego

En esta sección enlistaremos algunas definiciones que han dado diseñadores e investigadores teóricos de los videojuegos, para mostrar puntos comunes

entre ellas y llegar a la definición que utilizamos para la realización de nuestra propuesta.

En Salen & Zimmerman (2006), el diseñador de juegos Greg Costikyan da la siguiente definición²:

Un juego es una forma de arte en la cual los participantes, llamados jugadores, toman decisiones con la finalidad de manejar recursos a través de fichas de juego (*game tokens*³) para la búsqueda de una meta. (p. 78)

Por su parte, el diseñador y teórico de juegos Jesper Juul da la siguiente definición:

Un juego es un sistema basado en reglas con un resultado variable y cuantificable, donde resultados diferentes tienen asignados valores diferentes, el jugador se esfuerza con la finalidad de influir en el resultado, el jugador se siente ligado a los resultados, y las consecuencias de la actividad son opcionales y negociables (Juul, 2006, p. 6).

El experto en análisis filosófico de los juegos Bernard Suits da una definición en (Suits, 2005), la cual se complementa con lo que expone en (Salen & Zimmerman, 2006):

Juego es el intento voluntario de superar obstáculos innecesarios (Suits, 2005, p.54), [de donde se desprende que un juego debe tener los siguientes elementos para serlo:] La meta, los medios para lograr la meta, las reglas y la *lusory attitude*⁴. (Salen & Zimmerman, 2006, p.185).

Katie Salen y Eric Zimmerman, plantean en (Salen & Zimmerman, 2004) que:

Un juego es un sistema en el cual los jugadores participan en un conflicto artificial, definido por reglas, que desembocan en un resultado cuantificable. (p.96).

² Todas las citas del documento de referencias en inglés, en las que no se especifique otro traductor, son traducciones de los autores.

³ Es cualquier entidad que se puede manipular directamente en un juego (Salen & Zimmerman, 2006, p.200)

⁴ La *lusory attitude*, es la actitud psicológica requerida para que un jugador entre en el "juego" de un juego. Adoptar la "*lusory attitude*" es aceptar las reglas arbitrarias de un juego, con la finalidad de facilitar el resultado de la experiencia de jugar (Salen & Zimmerman, 2006, p.188).

Tabla 1. Puntos en común en las definiciones de juego, por autor

	Prensky	Salen y Zimmerman	Suits	Juul	Costikian
Representación e historia como una forma de arte.	X				X
Toma de decisiones y consecuencias opcionales y negociables.				X	X
Interacción y manejo de recursos para lograr la meta.	X		X		X
Búsqueda de metas y objetivos.	X		X		X
Sistema basado en reglas bien definido.	X	X	X	X	
Resultados variables cuantificables y retroalimentación.	X	X		X	
El jugador se siente ligado los resultados (actitud).			X	X	
Conflictos artificiales o innecesarios/competencia/reto/antagonismo.	X	X	X		

Fuente: Elaboración propia.

Para Mark Prensky, en (Prensky, 2001), un juego para serlo debe contener:

... los siguientes seis elementos estructurales: Reglas, metas y objetivos, resultados y retroalimentación, conflicto/competencia/reto/antagonismo, interacción, representación o historia. (p. 119).

A partir de las definiciones anteriores construimos la Tabla 1, en donde se relacionan las características que tienen en común cada una de ellas. Con respecto a esto, podemos hacer notar por ejemplo, que en todas las definiciones, excepto en la de Costikian se menciona a las reglas como parte importante de la definición de videojuego; siguiendo con el conteo, con tres menciones en las definiciones está la meta que se persigue o los objetivos a realizar, así como los resultados, la creación de un conflicto dentro del juego, y la interacción y el manejo de recursos; por último, con dos menciones, podemos observar que se encuentra la actitud, la toma de decisiones y el hecho de concebir al juego como una forma de arte o la representación de una historia.

Entonces, de manera más específica, un juego debe estar regido por reglas que delimiten la forma en que el jugador, personajes y otros elementos deben comportarse en el mismo. También, un juego debe perseguir una meta o tener un objetivo, es

dicho, algo que el jugador quiera alcanzar o conseguir al jugar, la cual puede ser, desde una sola meta, hasta un sistema complejo de "logros" que se puedan ir "desbloqueando" con cada una de las actividades o retos que se van presentando. Otro factor importante en un juego es la forma en que se consiguen, presentan y se miden los resultados dentro de él, así como la forma en que estos puedan servir para retroalimentar al jugador en el grado de avance o dominio del mismo. También es importante mencionar que debe existir un conflicto u obstáculos dentro del juego, dicho conflicto lo definirá la meta que se persigue y las reglas que delimitan la forma de jugar.

Estrechamente ligado a los conflictos y a las metas, está el manejo de recursos, que permite al jugador – cuando los administra adecuadamente – resolver los conflictos y llegar a la meta. En el mismo sentido, durante el manejo o gestión de los recursos es necesario tomar decisiones que tendrán como resultado ciertas consecuencias opcionales, que pueden ser negociables o no negociables. Por otro lado, también se menciona que el juego debe infundir una cierta actitud en el jugador, que le haga aceptar las reglas del juego, además de sentirse ligado a los resultados obtenidos. Por último hay definiciones en las que se "ve" al juego como una forma de arte, en donde todas

las características y elementos anteriores deben estar inmersos en una narrativa o historia.

A partir del análisis anterior, podemos enunciar una definición de juego:

Un juego es la representación estética de un conflicto artificial inmerso en una historia, delimitado por reglas aceptadas previamente por el jugador (o los jugadores), donde se compiten para la consecución de una meta, a través del manejo de recursos y la toma de decisiones, cuyas consecuencias opcionales y negociables, los llevaran a resultados cuantificables.

2.2. Entonces, ¿Qué es un videojuego?

Partiendo de la definición de juego que construimos en la sección anterior, se enuncia la siguiente definición para videojuego:

Un videojuego es un juego implementado en una computadora digital (fija o móvil) para su operación.

Esta definición se relaciona directamente con el uso de las tecnologías digitales, a través de una computadora (*hardware*) y en consecuencia “programas” o *software* para su operación.

Ahora bien, en la bibliografía especializada, pueden encontrarse diversas clasificaciones de videojuegos: por género, por segmento de edades, por tipo de distribución, por tipo de tecnología, etc. En la siguiente sección abordaremos de manera breve pero concisa en qué consiste la clasificación de videojuegos de acuerdo al tipo de público al que van dirigidos.

3. VIDEOJUEGOS PARA LA DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL Y VIDEOJUEGOS PARA LA DIFUSIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL

Los videojuegos pueden clasificarse en dos grandes grupos: Entretenimiento y Educativos (Klopfer, Osterweil & Salen, 2009, p.32). El propósito del primer grupo es normalmente la recreación, aunque no se puede descartar que con su uso, el jugador pueda desarrollar o adquirir ciertas habilidades o conocimientos que le podrían servir en su vida diaria o su quehacer profesional. El segundo grupo es el de los videojuegos que tienen una intención pedagógica,

los cuales están enfocados en favorecer el desarrollo o adquisición de competencias o conocimientos en el jugador. En esta sección centraremos la atención en el segundo grupo, para realizar una sub clasificación basada en dos tipos de comunicación: la divulgación y la difusión.

En (Gandara, 2016) se define la divulgación y la difusión con base al tipo de público de la siguiente manera:

La difusión se dirige hacia un público especializado o al menos familiarizado con los términos técnicos: entiende el léxico porque lo comparte desde la tradición académica en que se formó, la cual le otorga los antecedentes y el contexto para entender lo que se les comunica y, en consecuencia, reconocer su relevancia. En cambio, el público de la divulgación no tiene por qué conocer la jerigonza del especialista, indispensable en la difusión pero que estorba en la comunicación para el gran público. Tampoco cuenta necesariamente con los antecedentes ni con el contexto para que lo que se le comunica sea autoevidente y automáticamente relevante. El problema es que si no lo encuentra relevante para su vida, o al menos lo entretiene [...], entonces lo más probable es que se desconecte y la comunicación fracase. (p. 63)

Tomando en consideración lo anterior, podemos definir una clasificación de juegos educativos para la difusión y para la divulgación del patrimonio cultural de la siguiente manera:

- Videojuegos para la difusión del patrimonio cultural. Corresponden la mayoría de las veces a videojuegos serios⁵ orientados a formar especialistas en áreas relacionadas con el patrimonio cultural.
- Videojuegos para la divulgación del patrimonio cultural. Juegos educativos orientados a transmitir información relacionada con el patrimonio cultural al público en general (no doctos, no especialistas).

⁵ Los videojuegos serios o “Serious Games” son más que una historia, arte, y software, pues involucran pedagogía: actividades que educan o instruyen y que en consecuencia imparten conocimiento o habilidades” (Zyda, 2005, p.26).

Por cuestiones de espacio no profundizaremos más en esta clasificación, sin embargo se considera que con esto y lo abordado en las secciones anteriores se establecen las características generales de la propuesta de diseño de videojuegos de divulgación del patrimonio cultural que se pretende describir en las siguientes secciones.

4. EL DISEÑO DE VIDEOJUEGOS PARA LA DIVULGACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL

A continuación describiremos una metodología de diseño para videojuegos orientados a la divulgación del patrimonio cultural.

Lo primero que se debe tomar en cuenta cuando se diseña un videojuego es que se tiene que ser muy descriptivo al momento de documentar todo lo que se pretende hacer; además de tener muy claro que no existen “recetas de cocina” para crear el documento de diseño de un videojuego; inclusive, esta propuesta, *per se*, corresponde a eso, sólo una propuesta que puede utilizarse y adaptarse de acuerdo al contexto en el que se vaya a trabajar.

También se deben conocer los géneros y subgéneros en los que pueden clasificarse los videojuegos, para poder establecer el tipo de juego que se pretende crear y en consecuencia, poder escoger adecuadamente las herramientas tecnológicas que nos servirán para desarrollarlo.

El concepto de género en el ámbito de los videojuegos se define de la siguiente forma en Adams (2014):

LOS GÉNEROS son categorías de juegos caracterizados por tipos particulares de desafíos [o retos], independientemente de la configuración o el contenido del mundo del juego. (p. 67)

Los retos o desafíos de los que se habla en la definición anterior, son los expuestos en Adams (2014, p. 17) y que se muestran en la Tabla 2.

Estos retos o desafíos corresponden a una parte de *gameplay*⁶ (o jugabilidad en el contexto de los

videojuegos), junto con las acciones o mecánicas de juego.

Tomando en consideración lo anterior, podemos exponer en la Tabla 3 una clasificación de géneros de videojuegos construida con la información de Adams (2014).

Complementando lo dicho al principio de esta sección, podemos decir que “los géneros no están destinados a limitar la imaginación [del diseñador de videojuegos], más bien proporcionan un marco para el diseño, una especie de andamio sobre el cual construir un juego sin tener que partir de cero” (Adams, 2014; p. 79).

En las siguientes secciones, desglosaremos el diseño del videojuego en tres aspectos principales:

- El aspecto estético, relacionado con la narrativa (o historia), el diseño de niveles y personajes.
- El aspecto técnico, relacionado con los recursos tecnológicos y las herramientas digitales con las que se puede programar el videojuego.
- El aspecto educativo, relacionado con el diseño del modelo educativo del videojuego, así como las teorías de aprendizaje o estrategias de instrucción que podrían implementarse para lograr una experiencia de divulgación exitosa.

4.1. Aspecto estético del videojuego

El aspecto estético engloba la forma en la que se ve, se oye y se cuenta o narra el videojuego, es decir el diseño de los “mundos” o niveles, así como los personajes, la música y los sonidos, además de la narrativa o historia. Es la parte que pretende “enganchar” al jugador con el juego, y en el caso de un videojuego para la divulgación del patrimonio cultural, debe ser lo suficientemente relevante o al menos entretenida para lograr que el usuario no se desconecte, y entonces, la experiencia de divulgación fracase como se comenta en Gandara (2016, p. 63).

Un ejemplo relevante, en donde se integra adecuadamente el aspecto estético en un juego que potencialmente pudiera servir para la divulgación del patrimonio, es el videojuego *Mulaka*⁷ desarrollado

⁶ El *gameplay* está conformado por los retos y acciones (mecánica de juego) que se desarrollan en el videojuego para entretener. No confundir con la definición de la RAE, “Facilidad de uso que un

juego, especialmente un videojuego, ofrece a sus usuarios”.

⁷ La página oficial del videojuego *Mulaka*: <https://www.lienzo.mx/mulaka>.

Tabla 2. Retos o desafíos presentes en algunos videojuegos

<i>Tipo de reto o desafío</i>	<i>Ejemplo conocido</i>
Coordinación Física	
Velocidad y tiempo de reacción. Exactitud o precisión (dirección, tiro). Tiempo y ritmo. Aprender combinación de movimientos.	Tetris OutRun, Rainbow Six Just Dance Street Fighter II
Lógica Formal	
Deducción y decodificación. De Reconocimiento De Patrones.	Minesweeper, Mastermind
Patrones estáticos. Patrones de movimiento y cambio.	Brain Age, Bejeweled Sonic the Hedgehog (patrones de movimiento de los enemigos)
Presión Del Tiempo [Desafíos]	
Superando el reloj. Lograr algo antes que alguien más.	Frogger, Diner Dash Need for Speed
Memoria Y Conocimiento	
Trivialidades. Recolección de objetos o patrones.	You Don't Know Jack Brain Age
Exploración	
Identificando relaciones espaciales. Buscando claves (desbloqueando cualquier espacio). Encontrando pasajes ocultos. Laberintos y espacios ilógicos.	Descent (navegando en tres dimensiones) Ultima Doom Zork
Conflictos	
Estrategia, táctica y logística. Supervivencia. Reducción de las fuerzas enemigas. Defendiendo ítems o unidades vulnerables. Sigilo.	Warcraft (comandando ejércitos) Pac-Man (evitando ser atrapado) Space Invaders (matando extraterrestres) Ico (cuidando una niña que no puede luchar) Assassin's Creed (evitando ser visto)
Económicos	
Acumulación de recursos o puntos (crecimiento). Establecer sistemas de producción eficientes. Lograr el equilibrio o la estabilidad en un sistema. Cuidar de los seres vivos	Civilizations The Settlers SimEarth The Sims
Conceptuales y Razonamiento	
Tamizar pistas desde indicios falsos. Detectando significados ocultos. Comprender las relaciones sociales. Pensamiento lateral.	Law and Order (resolviendo crímenes) Planescape: Torment (Comprender las motivaciones de los personajes a partir de pistas vagas) Façade (reconciliar a una pareja que se pelea) The Incredible Machine (construir una maquina a partir de partes limitadas)
Creación / Construcción	
Éxitos estéticos [y sociales] (belleza o elegancia). Construcción con un objetivo funcional.	The Sims Minecraft

Fuente: Adams (2014, p. 17)

Tabla 3. Una clasificación de géneros de videojuegos

Género y subgénero	Breve descripción
JUEGOS DE DISPAROS (Shooter Games)	En los juegos de disparos, los jugadores deben ejecutar ciertas acciones utilizando un arma, haciendo disparos a distancia. En este género están presentes los retos relacionados con la exactitud o precisión con los que se ejecutan los tiros.
Juegos de disparos 2D (2D Shooters)	Los juegos de disparos en 2D se desarrollan en entornos con vista en perspectiva de arriba hacia abajo o lateral, u ocasionalmente desde una perspectiva fija en primera persona.
Juegos de disparos 3D (3D Shooters)	Los juegos de disparos en 3D utilizan una perspectiva en primera persona o una perspectiva en tercera persona, y algunos ofrecen ambas.
JUEGOS DE ACCIÓN (Action Games)	Los juegos de acción incluyen desafíos físicos, y también pueden incorporar acertijos (o puzzle), además de una gran variedad de desafíos de conflicto y desafíos económicos simples que involucran la recolección de objetos. Raramente incluyen desafíos estratégicos o conceptuales.
Juegos de plataforma (Platform Games)	En los juegos de plataforma el personaje se mueve a través de un entorno cuya vista es vertical, saltando dentro y fuera de plataformas a diferentes alturas, evitando obstáculos y luchando contra enemigos.
Juegos de lucha (Fighting Games)	Los juegos de lucha simulan batallas cuerpo a cuerpo y tienen muy poco en común con otros juegos de acción porque no implican exploración, disparos o resolución de acertijos. Son juegos de acción porque imponen una gran demanda en las habilidades físicas de un jugador: tiempo de reacción y sincronización.
JUEGOS DE ESTRATEGIA (Strategy Games)	Los juegos de estrategia incluyen desafíos tácticos, logísticos, económicos y de exploración. La idea principal es que el jugador logre la victoria a través de la planificación de una serie de acciones tomadas en contra de uno o más oponentes.
Juegos clásicos por turnos (Classical Turn-based Games)	Ese tipo de juegos, son también llamados juegos de estrategia pura y generalmente contiene sólo desafíos de conflicto. Como su nombre lo dice, se operan por turnos, no en tiempo real.
Juegos de estrategia en tiempo real (Real-time Strategy Games)	En estos juegos no hay turnos sino que la acción transcurre de forma continua, por lo que la toma de decisiones debe ser rápida.
Juegos de rol (Role-Playing Games)	La parte esencial de un juego de rol (RPG) son las búsquedas relacionadas con la narrativa del juego y el incremento de las habilidades del personaje. La mayoría de los juegos de rol implican desafíos tácticos, logísticos y de exploración. También incluyen desafíos económicos, como recoger objetos y cambiarlo por mejoras para armas, armaduras, etc.
Juegos de deporte (Sport Games)	La mayoría de los juegos deportivos se enfocan en simular partidos reales, pero muchos también incluyen una serie de funciones de gestión, como los desafíos de gestionar un equipo o la carrera de un atleta.
Simulaciones de vehículos (Vehicle Simulations)	Las simulaciones de vehículos deben crear la sensación de conducir o volar un vehículo real o imaginario. En el caso de vehículos reales, uno de los objetivos principales es que se vean y se comporten (físicamente) como en la realidad; mientras que en el caso de los vehículos imaginarios se tiene más libertad con respecto al comportamiento y apariencia.
Juegos de construcción y simulación (Construction and Simulation Games)	Estos juegos ofrecen a los jugadores la oportunidad de construir desde hormigueros, hasta casas o ciudades, mientras operan dentro de ciertas limitaciones económicas. Son básicamente juegos sobre procesos. El objetivo del jugador no es derrotar a un enemigo, sino crear algo dentro del contexto de un proceso continuo. Cuanto mejor se comprenda y controle el proceso, más éxito se tendrá en la construcción.
Juegos de aventura (Adventure Games)	Un juego de aventuras es una historia interactiva sobre un personaje que los jugadores controlan. Este personaje es el avatar del jugador, una persona ficticia, el héroe de la historia. Estos juegos proporcionan principalmente retos de exploración y resolución de acertijos. A veces también contienen desafíos conceptuales y en muy raras ocasiones pueden incluir desafíos físicos.
Rompecabezas o puzzles (Puzzle Games)	En los puzzles, la resolución del puzzle o rompecabezas es la actividad principal, aunque los puzzles pueden ocurrir dentro de una línea argumental o conducir a un objetivo más grande. Los desafíos ofrecidos en estos juegos incluyen: reconocer patrones, hacer deducciones lógicas o comprender un proceso.

Fuente: Elaboración propia con información de Adams (2014)

por *Lienzo*, un estudio ubicado en Chihuahua, México. *Mulaka* es un juego inspirado en la cosmogonía tarahumara que cuenta la historia del chamán *Sukurúame*.

Volviendo a nuestra propuesta de diseño, la parte central del aspecto estético del videojuego es la narrativa o historia que pretendemos contar. Consideramos que en la narrativa del videojuego es donde convergen y se manifiestan todos los elementos del juego: estéticos, técnicos y educativos, dicho en otras palabras, la narrativa delimita el espacio donde “viven” dichos elementos.

El primer elemento que se debería explorar en la narrativa, casi en paralelo con la idea general del videojuego, es el nombre del mismo, o al menos una primer propuesta. Para poder situar lo anterior, tomemos el siguiente ejemplo hipotético:

- Nombre del videojuego: *Huehuehtlahtolli*
- Idea general del videojuego: Un juego que pretende situar al jugador en el ciclo de vida de un Mexica.

Una justificación, producto de la investigación que podría llevarse a cabo para elegir el nombre del juego podría ser la siguiente:

Buscábamos una palabra en Náhuatl que pudiera expresar lo que queríamos contar en nuestro juego. *Huehuehtlahtolli* es una palabra en Náhuatl cuyas traducciones al español son: historia de los tiempos antiguos, historia antigua, dichos de viejos, o bien como lo refiere Miguel León-Portilla en de Olmos (2011), también puede traducirse como “antigua palabra” o como “las pláticas que los padres y madres hicieron a sus hijos y a sus hijas, y los señores a sus vasallos, todas llenas de doctrinas moral y política”(p. 9). Elegimos entonces, “antigua palabra” como la traducción que mejor se acoplaba al tipo de patrimonio que queríamos divulgar en nuestro videojuego.

Como puede observarse en la justificación anterior, para la elección del nombre se debe considerar llevar a cabo una investigación formal, en este caso la hicimos con respecto a una palabra en lengua indígena, en este caso náhuatl, que expresara lo que se pretende abordar en el videojuego.

Por otro lado una descripción un poco más detallada de la idea general del juego, podría ser la siguiente:

La narrativa del videojuego *Huehuehtlahtolli* se desarrollará en un ambiente recreado en 2D y pretenderá situar al jugador en el ciclo de vida de un Mexica, mostrándole a través de las mecánicas de juego, algunos aspectos relacionados con la cultura Mexica. En lo que respecta a la estructura u organización social, la idea es que en la “introducción”, antes de iniciar el videojuego, el usuario pueda escoger a qué grupo social pertenecerá: *pipiltin*⁸ o *macehualtin*⁹, para posteriormente escoger la fecha de nacimiento de su personaje, de acuerdo al calendario ritual mexica (*tonalpohualli*)¹⁰. Esto último tiene la finalidad de recrear la visita del “especialista en la lectura de los destinos” (*tonalpouhqui*), que era el encargado de definir el “signo” y los augurios para el “recién nacido”.

Después del primer acercamiento con el aspecto social y religioso, el jugador deberá “pasar” la niñez del personaje que acaba de “crear” realizando un conjunto de tareas orientadas a familiarizarse con la matemática utilizada en la vida cotidiana de esa época (matemática precolombina): sistema de numeración, economía (tributo, comercio, agricultura y producción artesanal), y principalmente los calendarios ritual y agrícola¹¹, los cuales se “cruzaban” cuando contaban 52 años, lo cual correspondía a 18,980 días.

Para ilustrar cómo se podría ver el videojuego, en la Figura 1 mostramos una captura de pantalla de lo que podría ser el arte conceptual del videojuego, donde aparece el personaje principal caminando sobre una representación en 2D de una pequeña pirámide.

Continuando con la propuesta hipotética de la idea general del juego, se tendría ahora que mencionar el género del juego:

⁸ Los *pipiltin* eran los miembros de la nobleza que conformaban la clase dirigente.

⁹ Los *macehualtin* eran la base de la población o gente del pueblo.

¹⁰ El calendario ritual estaba compuesto por 260 días, dividido en veinte trencenas. Cada día de este calendario cíclico tenía su nombre, el cual constaba de dos elementos combinables: un número del 1 al 13 y un signo de la serie vigesimal *cipactli* - *xóchitl*.

¹¹ El calendario agrícola (*xiuhpohualli*) estaba compuesto por 365 días, dividido en 18 meses de 20 días (veintenas) más cinco días complementarios.



Figura 1. Captura de pantalla del arte conceptual videojuego hipotético Huehuehtlahtolli, donde aparece el personaje principal y una representación en 2D de una pequeña pirámide.

Para fortalecer la narrativa, el videojuego podría ser diseñado para funcionar como un videojuego de “mundo abierto”¹², donde a partir de lo que le sucede al personaje principal en su encuentro con un Dios, por ejemplo Tláloc, cuando ya es un adulto, deberá comenzar un conjunto de búsquedas en la que sus decisiones y consecución de logros tendrían relación con el uso y entendimiento de los calendarios ritual y agrícola de los Mexicas.

En la Figura 2 mostramos una captura de pantalla del arte conceptual del encuentro del personaje principal con el Dios *Tláloc*.

En esta escena el personaje principal desafía al Dios Tláloc, por lo que es despojado de todas sus pertenencias y habilidades debido a su arrogancia. Después de esto, es cominando a iniciar una búsqueda de objetos, lugares y personas que lo rediman a él por un lado y realicen la divulgación del patrimonio para el jugador que ahora está “en sus zapatos o huaraches”.

Para concluir con esta sección, queremos enfatizar el hecho de que lo que quisimos ejemplificar con

esta propuesta hipotética, es que en la narrativa y en el aspecto estético en general, deben estar “embebidas” las mecánicas de juego¹³ que fortalezcan lo que se quiere transmitir con respecto al patrimonio cultural.

4.2. Aspecto técnico del videojuego

En nuestra propuesta de diseño el aspecto técnico o tecnológico tiene que ver con los medios o herramientas digitales que hacen posible que el aspecto estético y el aspecto educativo (que se abordará en la siguiente sección) se vuelvan perceptibles y “tangibles” (al menos de forma virtual), además es también el medio en donde las mecánicas van a ocurrir y través de la cual la historia será contada.

Tomando en consideración la propuesta hipotética abordado en la sección anterior (Aspecto estético del videojuego), se podría elegir como herramienta digital para la programación del videojuego el motor de videojuegos multiplataforma *RPG Maker MV*¹⁴, cuyas características técnicas más

¹² Un videojuego de mundo abierto es el que ofrece la posibilidad de moverse libremente en él.

¹³ Las mecánicas de juego son los procedimientos y reglas del juego.

¹⁴ <https://www.rpgmakerweb.com/products/programs/rpg-maker-mv>

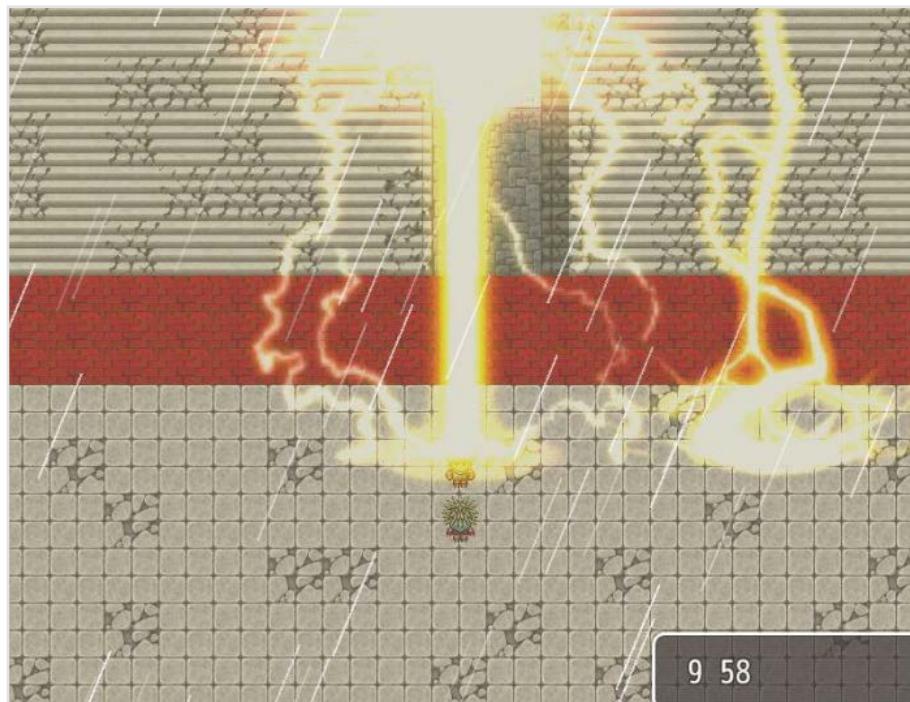


Figura 2. El personaje principal desafía al Dios Tláloc.

relevantes son que permite programación gráfica y basada en código (*Java Script*), además de que permite la distribución del juego en las plataformas iOS y Android, así como en exploradores web y en consolas comerciales. En la Figura 3 mostramos una captura de pantalla del motor de videojuegos antes mencionado.

Generalizando un poco más en el tema del aspecto técnico, consideramos y recomendamos utilizar como herramienta para la programación de un videojuego –desde el ámbito académico o de divulgación– un motor de videojuegos (*Unity*¹⁵, *Unreal*¹⁶, *Game Maker Studio*¹⁷, *Codea*¹⁸, *Torque*¹⁹, etc.), en lugar de sólo un lenguaje de programación de propósito general (*C*, *C++*, *java*, etc.), debido a que los primeros en contraste con los segundos, proporcionan una gran cantidad de recursos que permiten que se puedan implementar ideas para un videojuego –en algunos casos– sin que se programe ninguna

línea de código escrito, pues cuentan con múltiples herramientas *drag & drop*²⁰, lo que puede favorecer a que personas con poco o nulo conocimiento de programación pero con gran interés por crear se inicien en la construcción de videojuegos.

4.3. Aspecto educativo del videojuego

En esta sección abordaremos las teorías de aprendizaje o estrategias de instrucción en las que puede uno basarse para el diseño del aspecto educativo del juego, además de los modelos educativos que pueden utilizarse para el diseño del mismo.

Cuando se habla del aspecto educativo en un videojuego es necesario recalcar que este debe estar subordinado al aspecto estético, es decir que todo lo que queremos contar acerca del patrimonio cultural debe estar “embebido” en la narrativa.

Existen distintas teorías de aprendizaje, sin embargo sólo algunas de ellas han sido implementadas en videojuegos, una revisión de esto puede

¹⁵ <https://unity3d.com/es>

¹⁶ <https://www.unrealengine.com/>

¹⁷ <https://www.yoyogames.com/get>

¹⁸ <https://codea.io/>

¹⁹ <http://www.garagegames.com/products/torque-3d>

²⁰ El término *drag & drop*, que literalmente se puede traducir del inglés como “arrastrar y soltar”, se refiere a la acción de mover con el cursor del ratón, objetos de un lugar a otro en “ventana” de un programa.



Figura 3. Captura de pantalla de la interfaz gráfica del motor de videojuegos RPG Maker MV.

consultarse en Kebritchi & Atsusí (2008). En el caso particular del ejemplo hipotético que estamos abordando en este capítulo (videojuego *Huehuehtlahtolli*), nos enfocamos en las siguientes teorías de aprendizaje o estrategias de instrucción:

- Instrucción directa. “Este enfoque se relaciona con la instrucción directa que se basa en la teoría conductista del aprendizaje que sugiere que éste se produce a través del condicionamiento de estímulo-respuesta y genera y sostiene la motivación a través de la estimulación y el refuerzo.” (Kebritchi & Atsusí, 2008, p.1731). Esta estrategia de instrucción podría implementarse en el videojuego a través de un sistema de búsquedas que tendría que realizar el jugador, en donde a medida que el personaje principal conoce y completa dichas búsquedas, se espera que aprenda acerca de la vida cotidiana de los mexicas.
- Teoría del aprendizaje experimental o aprendizaje práctico. De manera general, “La experiencia de la vida diaria, es el corazón del aprendizaje experimental, en el cual el conocimiento es construido, no transmitido; como resultado de

la experimentación y la interacción con el ambiente.” (Kebritchi & Atsusí, 2008, p.1732). Con respecto a la implementación de esta teoría, primero se tendría que construir el ambiente virtual, que correspondería, en este caso, a la recreación en 2D de todo el entorno en donde vivió un mexica. La idea es que dicho entorno sea útil para que el jugador obtenga conocimientos (cómo el uso de los calendarios ritual y agrícola) a través de la interacción, y el seguimiento de las reglas del “mundo” virtual que explora.

Ahora bien, la manera en que estos dos enfoques o teorías de aprendizaje se relacionarían con el diseño y el desarrollo del videojuego *Huehuehtlahtolli* sería a través de su implementación en un modelo de juegos educativos. Para este ejemplo hipotético, exploramos cuatro modelos: el Modelo de Objetos de Juego versión I (*Game Object Model versión I*, GOM I), el Modelo de Esquema de la Persona (*Persona Outlining Model*, POM) y el Modelo de Logros del Juego (*Game Achievement Model*, GAM), descritos en Amory & Seagram (2003), así como el Modelo de

Objetos de Juego versión II (*Game Object Model version II*, GOM II) desarrollado en Amory (2007). De manera general, cada uno de estos modelos nos permite lo siguiente:

- El GOM nos permite relacionar los elementos del juego con el fomento de ciertos objetivos educativos.
- El POM nos permite utilizar la interacción esperada entre el jugador y el juego para construir un concepto de "persona" (usuario esperado) que permita definir mejor una propuesta óptima de diseño.
- El GAM nos permite relacionar la estructura general del juego educativo (en este caso, juego de divulgación) con sus objetivos.

A continuación describiremos con más detalle cada uno de estos modelos y cómo se implementaron en el videojuego.

Modelo de Objetos de Juego (GOM) versión I y II

De acuerdo con Amory & Seagram (2003), la versión I del GOM está basado en conceptos de programación orientada a objetos, a través de los cuales se intenta crear una dialéctica entre las dimensiones pedagógicas, los elementos del juego y sus componentes.

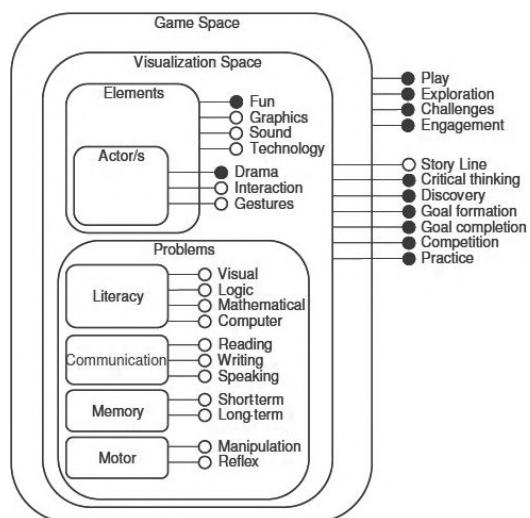


Figura 4. Representación del Game Object Model (GOM) versión I. Donde las interfaces abstractas del modelo se representan con (●) y las interfaces concretas se representan con (○).

Fuente: Amory & Seagram (2003, p. 210)

En la Figura 4 podemos observar los componentes (*components*) del GOM versión I, representados por los cuadros de esquinas redondeadas: Espacio de Juego (*Game Space*), Espacio de Visualización (*Visualization Space*), Elementos (*Elements*), Actores (*Actor/s*), Problemas (*Problems*), Alfabetización (*Literacy*), Comunicación (*Communication*), Memoria (*Memory*), Motricidad (*Motor*). Es importante resaltar que a través de estos componentes, anidados en el espacio de juego, se promueven los objetivos educativos (interfaces abstractas) representados con un círculo relleno (●), así como los medios a través de los cuales se realizan tales objetivos (interfaces concretas), representados por un círculo vacío (○). Otro aspecto que podemos observar en la Figura 4 es que los componentes pueden ser independientes o parte de otros componentes, en cuyo caso heredan todas las interfaces principales, además de que los componentes internos contienen interfaces concretas, mientras que los externos son más abstractos.

En lo que respecta al GOM versión II descrito en Amory (2007) y cuya representación mostramos en la Figura 5, es una versión extendida del GOM versión I (Amory & Seagram, 2003), la cual incorpora componentes relacionados con los juegos en línea

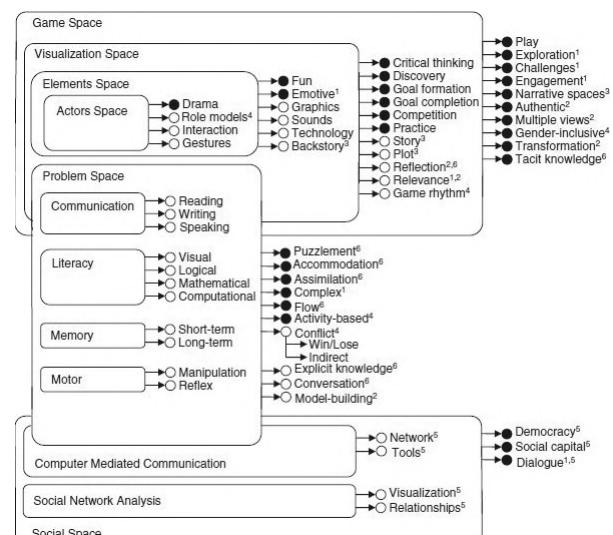


Figura 5. Representación del Game Object Model (GOM) versión II. Donde las interfaces abstractas del modelo se representan con (●) y las interfaces concretas se representan con (○).

Fuente: Amory (2007, p. 55)

Tabla 4. Implementación del GOM versión II para el videojuego Huehuehtlahtolli.

<i>Conceptos básicos de diseño e Interfaces</i>		<i>Desarrollo del videojuego Huehuehtlahtolli</i>
Definición del juego	<ul style="list-style-type: none"> ● Exploration¹ ● Challenges¹ ● Engagement¹ ● Emotive¹ ● Complex¹ ● Dialogue¹ o Relevance¹ 	Desarrollar un videojuego RPG en 2D de tipo sandbox, donde el jugador pueda aprender a través de las mecánicas del juego sobre los aspectos social, religioso y económico de la cultura Mexica.
Aprendizaje auténtico	<ul style="list-style-type: none"> ● Authentic² ● Multiple views² ● Transformational² o Relevance² o Model-building² 	<p>El juego contendrá un solo nivel compuesto por tres actos o subniveles, el cual estará recreado en 2D.</p> <p>La idea es situar al jugador en el ciclo de vida de un Mexica, mostrándole a través de las mecánicas de juego basadas en búsquedas (instrucción directa), algunos aspectos relacionados con la cultura y el ciclo de vida de un Mexica (aprendizaje experimental).</p> <p>A futuro, se pretende que haya otros niveles o escenarios, de tal forma que el jugador pueda aprender y conocer acerca de otros aspectos de la cultura Mexica.</p>
Narrativa	<ul style="list-style-type: none"> ● Narrative spaces³ ● Challenges³ o Story³ o Plot³ o Backstory³ 	<p>De manera general la narrativa del videojuego Huehuehtlahtolli se desarrolla en la recreación del entorno donde vivía un mexica.</p> <p>En la primera escena el personaje principal deberá desafiar al Dios Tláloc, para posteriormente ser despojado de todos sus bienes y habilidades debido a su arrogancia. Después de esto, será cominado a iniciar una búsqueda de objetos, lugares y personas que lo rediman y realicen la divulgación del patrimonio para el jugador (aprendizaje experimental e instrucción directa).</p>
Genero	<ul style="list-style-type: none"> ● Gender inclusive⁴ ● Activity-based⁴ o Game rhythm⁴ o Role models⁴ o Conflict⁴ 	<p>El videojuego podrá “correr” en las siguientes plataformas: iOS, Android, y Windows.</p> <p>Los movimientos del personaje, así como la manipulación de objetos y el desarrollo de los diálogos, se podrán llevar a cabo a través de los gestos que se realicen en una pantalla táctil (iOs y Android) o bien a través de las teclas de dirección del teclado (Windows).</p>
Colaboración social	<ul style="list-style-type: none"> ● Democracy⁵ ● Social capital⁵ ● Dialogue⁵ o CMC Network⁵ o CMC Tools⁵ o SNA visualization⁵ o Relationships⁵ 	No existirán elementos en el videojuego que permitan la colaboración o socialización con otros usuarios, ni de manera local, ni en línea.
Desafíos-puzzles-Misiones	<ul style="list-style-type: none"> ● Tacit knowledge⁶ ● Puzzlement⁶ ● Accommodation⁶ ● Assimilation⁶ o Reflection⁶ o Explicit knowledge⁶ o Conversation⁶ o Relationships⁶ 	Los desafíos, puzzles y misiones dentro del juego se deberán desarrollar a partir de las búsquedas (instrucción directa) que ciertos personajes propongan al jugador. De esta forma el jugador irá adquiriendo conocimientos sobre la cultura Mexica a través del uso del videojuego (aprendizaje experimental). Por uso nos referimos a la interacción del jugador con otros personajes, así como los objetos existentes en el juego.

Fuente: Documento de diseño del juego

Tabla 5. Implementación del POM para el videojuego Huehuehtlahtolli. Construcción de usuario esperado.

Pregunta	Respuesta
Situación de preocupación, ¿Por qué?	Pretendemos que a través del videojuego Huehuehtlahtolli se favorezca la divulgación del patrimonio cultural mexicano.
¿Quién estará explotando el sistema?	El videojuego estará destinado a personas de todas las edades sin distinción de género que sepan leer, operaciones aritméticas básicas y tengan conocimientos básicos relacionados con el uso de una computadora, un teléfono celular o una tableta inteligente.
¿Qué estarán haciendo ellos?	Jugar (Aprendizaje/Divulgación Basado en Videojuegos). Aprender (Se pretende que los usuarios aprendan a través de los métodos aprendizaje experimental e instrucción directa)
¿Cómo la harán?	A través de un videojuego multiplataforma desarrollado para "correr" en una computadora, celular o tableta inteligente. El videojuego se desarrollará en una representación virtual en 2D y permitirá al usuario aprender acerca de la vida cotidiana de un mexica, abordando los aspectos económico y ritual implementados en mecánicas de juego.
¿Con qué será desarrollado el sistema?	A través de un motor de videojuegos (RPG Maker MV), así como otras herramientas digitales para la creación y digitalización de imágenes y sonidos. La implementación del videojuego se desarrollará en una computadora con sistema operativo Windows 10, Procesador Intel Core i7 (o similar), 8 GB de memoria RAM y una tarjeta de video dedicada de 2 GB de memoria.

Fuente: Documento de diseño del juego

o multijugador, como la Comunicación Mediada por Computadora (*Computer Mediated Communication*), Análisis de Redes Sociales (*Social Network Analysis*) y Espacio Social (*Social Space*). Sobre lo anterior, aunque los componentes antes mencionados no son abordados en el diseño del videojuego *Huehuehtlahtolli*, decidimos utilizar la versión II del GOM debido a que toma en consideración más interfaces para establecer de manera más clara la relación que guardan los conceptos básicos de diseño de videojuegos y los objetivos educativos del juego que se pretende implementar.

Al igual que en el GOM versión I mostrado en la Figura 4, en el GOM versión II, mostrado en la Figura 5, los componentes están representados por cuadros de esquinas redondeadas y las interfaces abstractas y concretas representadas con un círculo relleno (●) o un círculo vacío (○) respectivamente. Además se incorporan superíndices en algunos de los componentes. Según Amory (2007), cada uno de estos superíndices representa los siguientes conceptos básicos de diseño de videojuegos: 1, definición de juego (*game definition*); 2, aprendizaje auténtico (*authentic learning*); 3, narrativa (*narrative*); 4, género (*gender*);

5, colaboración social (*social collaboration*); 6, desafíos-puzzles-Misiones (*challenges - puzzles - quests*).

Tomando en consideración los componentes, interfaces y conceptos de diseño abordados previamente, desarrollamos la Tabla 4, donde se muestra de manera general la implementación del GOM versión II para un ejemplo de diseño para el videojuego *Huehuehtlahtolli*.

Por último, es conveniente tomar en cuenta que de acuerdo con Amory & Seagram (2003), en este modelo de diseño los elementos pedagógicos están representados por las interfaces abstractas, mientras que los elementos de juego están representados por las interfaces concretas. Además, también debemos considerar que a partir del enfoque cualitativo del GOM podemos sentar las bases para la construcción del Modelo de Esquema de la Persona (POM), así como del Modelo de Logros del Juego (GAM).

Modelo de Esquema de la Persona (POM)

El POM nos permite utilizar la interacción que esperamos entre el jugador y el juego para poder construir un concepto de "persona" o usuario esperado que permita definir lo mejor posible el diseño.

Para poder llevar a cabo lo anterior, Amory & Seagram (2003) exponen que el primer paso en el proceso de diseño del POM será articular la "Situación de preocupación" (*Situation of Concern*), es decir, lo que el videojuego pretende resolver, con base en las siguientes preguntas: (1) ¿Quién estará explotando el sistema?; (2) ¿Qué estarán haciendo ellos?, es decir, la actividad humana que el sistema apoyará para satisfacer la situación de preocupación; (3) ¿Cómo la harán?, o qué soporte les proporcionará por el sistema; y (4) ¿Con qué será desarrollado el sistema?.

Situando el POM en la propuesta de diseño del videojuego *Huehuehtlahtolli*, a continuación mostramos, en la Tabla 5, una propuesta de la interacción entre el jugador y el juego, a través de la construcción del usuario esperado.

Como puede observarse en la tabla 5, el POM complementa el diseño desarrollado a través del GOM, pero situando como eje del diseño al usuario (persona) y el sistema que pretendemos que utilice. También es importante mencionar que, aunque no se mencionan de manera explícita en la Tabla 5, en cada una de las respuestas a las preguntas de diseño se deben de tomar en cuenta las interfaces abstractas y concretas para continuar relacionando los conceptos básicos de diseño y los objetivos educativos.

Modelo de Logros del Juego (GAM)

El propósito principal de utilizar el GAM es establecer los objetivos de aprendizaje (en nuestro caso también de divulgación) del videojuego, así como la narrativa (historia) donde deben estar "embebidas" las mecánicas de juego que permitan al usuario cumplir con dichos objetivos de aprendizaje.

Es decir, que con respecto a la relación entre la narrativa y los objetivos de aprendizaje, la primera debe ser interesante, atractiva y emocionante para que los jugadores adquieran un compromiso genuino de jugar el juego y de esta manera cumplir con dichos objetivos de aprendizaje. En la Figura 6 mostramos una representación de la relación que debe existir entre los objetivos de aprendizaje (*Learning Objectives*) y la narrativa o historia (*Brief Story Outline*).

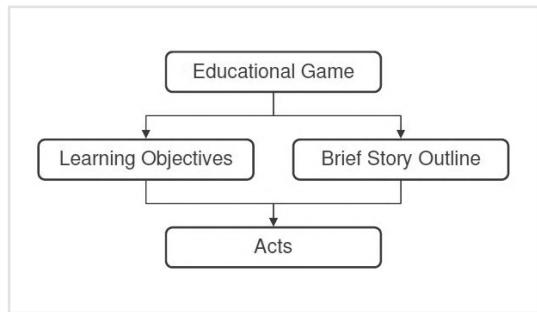


Figura 6. Representación de la relación que debe existir entre los objetivos de aprendizaje (Learning Objectives) y la narrativa o historia (Brief Story Outline) para el diseño de los actos.

Fuente: Amory & Seagram (2003, p. 213)

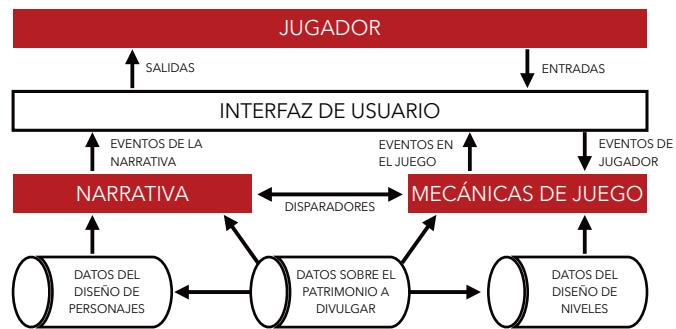
Outline) para el diseño de los actos²¹ (Acts), dentro del videojuego.

En el caso de nuestro ejemplo de diseño del videojuego *Huehuehtlahtolli*, los objetivos de aprendizaje pueden revisarse al inicio de esta sección, donde se abordan las teorías de aprendizaje o estrategias de instrucción y la narrativa o historia en la sección relacionada con el aspecto estético. En lo que respecta a los actos, el videojuego *Huehuehtlahtolli* fue diseñado para contar con tres actos, dos que son lineales y uno que es no lineal o abierto. Los dos primeros actos corresponden a la introducción, donde el usuario escoge su clase social y su fecha de nacimiento, y el segundo que está relacionado con el enfrentamiento del jugador con el Dios Tláloc. El tercer acto corresponde a la recreación del entorno mexica, donde el jugador desarrollará las búsquedas considerando los calendarios rituales y agrícolas.

Para Amory & Seagram (2003) cada acto debe alcanzar objetivos específicos, contar una parte de la historia y puede consistir en una o más escenas donde el usuario o jugador realizará los objetivos de aprendizaje. En nuestra propuesta, al ser un mundo abierto, el videojuego consta de múltiples escenas, las cuales se van generando a través de las búsquedas que le son encargadas al jugador y a través de las cuales tendrá la oportunidad de aprender e interactuar con todos los elementos del juego.

²¹ También llamados niveles o "mundos".

Figura 7. Diagrama de funcionamiento del videojuego, basado en Adams (2014, p. 357)



5. COMENTARIOS FINALES

A partir de los tres aspectos de diseño que describimos de manera general en este capítulo, se puede lograr implementar un videojuego para la difusión del patrimonio cultural, donde se integren la narrativa y las mecánicas de juego como se muestra en la Figura 7.

La Figura 7 representa la interacción que tiene el usuario con la interfaz del videojuego. Además, representa la interacción que tiene la narrativa con las mecánicas del videojuego, las cuales se van desarrollando a partir de ciertos eventos y disparadores activados por el jugador. En la parte inferior de la imagen podemos observar la representación de la interacción de la información o los datos relacionados con el diseño de niveles y personajes con los datos o información relacionada con el patrimonio a divulgar.

AGRADECIMIENTOS.

El presente capítulo es producto de las actividades realizadas en el marco del Proyecto SIP20195396, bajo el financiamiento de la Secretaría de Investigación y Posgrado del Instituto Politécnico Nacional en México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, E. (2014). *Fundamentals of game design*. San Francisco, CA: Pearson Education, Peachpit.
- Amory, A. (2007). Game object model version II: A theoretical framework for educational game development. *Educational Technology Research and Development*, 55(1), pp. 51-77.
- Amory, A. y Seagram, R. (2003). Educational game models: conceptualization and evaluation. *South African Journal of Higher Education*, 17(2), pp. 206 – 217.
- Björk, S. & Holopainen, J. (2005). *Patterns in game design*. Hingman, MA: Charles River media.
- de Olmos, M. (2011). *Huehuehtlaotl: Testimonios de la antigua palabra*. En M. León Portilla (Ed.), Librado Silva Galeana (Trad.). México: Fondo de Cultura Económica.
- Education Arcade (2018). *Education Arcade. Scheller Teacher Education Program*. Recuperado de <https://education.mit.edu>
- Games for change (2018). *Games for Change*. Recuperado de <http://www.gamesforchange.org>
- Gándara Vázquez, M. (2016). ¿Difundir o divulgar? he ahí el dilema. En D. Jiménez-Badillo, M. Gándara Vázquez (Eds.), *El patrimonio cultural y las tecnologías digitales: experiencias recientes desde México*, (pp. 60-73). México: INAH, CONACYT.
- Juul, J. (2005). *Half-Real: Video Games between Real Rules and Fictional Worlds*. Massachusetts: MIT Press.
- Kebritchi, M. & Atsus, "2c" H. (2008). Examining the pedagogical foundations of modern educational computer games. Elsevier: *Computers & Education*. Volume 51, Issue 4, pp. 1729-1743.
- Klopfer, E., Osterweil, S., & Salen, K. (2009). *Moving learning games forward. Obstacles opportunities & openness*. Recuperado de http://education.mit.edu/papers/MovingLearningGamesForward_EdArcade.pdf.
- Prensky, M. (2001). *Digital Game-Based Learning*. Minnesota: Paragon House.
- Salen, K. & Zimmerman, E. (2006). *The Game Design Reader: A Rules of Play Anthology*. Massachusetts: MIT Press.
- Suits, B. (2005). *The Grasshopper: Games, Life and Utopia*. USA: Broadview Press.
- Zyda, M. (2005). From visual simulation to virtual reality to games. *IEEE Computer*, vol 38, pp. 25-32.

Apretando el paso. Un modelo de datos para el Repositorio Digital del Patrimonio Cultural de México

José M. Morales-del-Castillo
UNIVERSIDAD DE GRANADA, ESPAÑA

Pedro Ángeles Jiménez, Claudio Molina Salinas
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ESTÉTICAS, UNAM, MÉXICO

Ernesto Miranda Trigueros, Vania S. Ramírez Islas
SECRETARÍA DE CULTURA, MÉXICO

Resumen: La implementación de las tecnologías de la información y una cada vez más frecuente actividad de digitalización globalizada de todo tipo de objetos culturales implican un crecimiento exponencial en el número de colecciones y variedad de recursos gestionados de manera electrónica en la Web, lo que incluye a los objetos culturales tanto como a sus metadatos. En respuesta a esta iniciativa, en este capítulo se describen los pasos que se emprendieron desde la Agenda Digital de Cultura de México para la creación del primer agregador mexicano, el desarrollo de un modelo de datos localizado (Modelo de Datos México) y un marco de listados de control terminológico.

Palabras clave: modelo de datos México; datos abiertos enlazados; cidoc-crm; agenda digital de cultura; control terminológico; patrimonio cultural

Abstract: The implementation of information technologies and the digitization of several kinds of cultural objects imply an exponential growth in the number of collections and a variety of resources managed electronically on the Web including cultural objects, as well as their metadata. Responding to this initiative, this chapter describes the steps that were undertaken from the Agenda Digital de Cultura of Mexico for the creation of the first Mexican aggregator, the development of a localized data model (Modelo de Datos México) and a frame of terminological control lists.

Keywords: modelo de datos México; open linked data; cidoc-crm; agenda digital de cultura; terminology's control; cultural heritage

1. INTRODUCCIÓN

México es un país con un patrimonio cultural extraordinario, fruto de una rica historia de intercambios, sincretismo y transculturalidad; circunstancia que se traduce en la consolidación de una prestigiosa tradición en la gestión del patrimonio cultural por parte de las diversas instituciones del sector cultural en el país. Sin embargo, existen tanto notables carencias en lo que respecta a la catalogación homogénea y documentación exhaustiva de este patrimonio, así como para su gestión eficiente mediante el uso de las tecnologías de la información.

En este contexto, todavía encontramos con soluciones *ad hoc* que limitan la verdadera utilidad y valor de la catalogación y documentación, mismas que limitan las actividades institucionales a únicamente cumplir las obligaciones enunciadas en el marco legal vigente en México. En oposición a esto, los principales museos del mundo han encontrado en la Web, además de una manera de gestionar sus colecciones, un escaparate donde mostrarlas y ponerlas a disposición de los ciudadanos para ser consultadas con solo acceder a un dispositivo con conexión a internet.

La Agenda Digital de Cultura de la Secretaría de Cultura de México ha asumido el reto de incorporar los beneficios de las tecnologías Web a la difusión del patrimonio cultural de México. Desde esta dependencia, se reconoce que este tipo de proyectos requieren el desarrollo de modelos de datos que describan el dominio del patrimonio cultural para la correcta caracterización y documentación de los objetos culturales, como es el caso de CIDOC-CRM (Crofts et al., 2006) o el *Europeana Data Model*¹, así como la utilización de tecnologías semánticas que favorezcan la interoperabilidad y reutilización de la información. Todo lo anterior, con miras a compartir y enlazar los metadatos de nuestras colecciones, no sólo dentro del país, sino también con los acervos de instituciones de otros lugares del mundo, contribuyendo así a la creación de un enorme repositorio global del patrimonio cultural.

En el presente capítulo describimos, de modo general, los primeros avances de un proyecto impulsado por la Dirección General de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (DGTIC) de la Secretaría de Cultura de México durante el periodo de 2017-2018 y ofrecemos algunos pormenores de la Agenda Digital de Cultura, así como del desarrollo del primer agregador mexicano, del Modelo de Datos México (MDM) y el inicio de un marco de listados de control terminológico enfocados a fungir como herramienta normalizadora de vocabularios.

2. LA AGENDA DIGITAL DE CULTURA Y EL REPOSITORIO DIGITAL DEL PATRIMONIO CULTURAL DE MÉXICO (RDPCM)

La formación de la Secretaría de Cultura, en diciembre de 2015, implicó la creación de la Dirección General de Tecnologías de la información (DGTIC) que, entre otras atribuciones, debe coordinar una Agenda Digital de Cultura. Por primera vez en nuestro país, una subdirección como esta cuenta con atribuciones específicas para crear estrategias y acciones ori-

tadas a fortalecer el uso de las herramientas digitales en la divulgación del patrimonio cultural de México.

Estas atribuciones se manifiestan puntualmente en el artículo 25, inciso III del Reglamento Interior de la Secretaría, donde se instruye a la Dirección:

...diseñar, desarrollar y establecer una arquitectura de información e interoperabilidad que facilite los procesos de automatización, asimilación, uso y explotación de manera electrónica de la información generada por las unidades administrativas y órganos administrativos descentralizados de la Secretaría de Cultura (Secretaría de Cultura, 2016).

Queremos llamar la atención al término “interoperabilidad”, pues en esta atribución se sustenta de manera programática la creación del Repositorio Digital del Patrimonio Cultural de México (RDPCM)², así como su modelo de datos y los controles de vocabularios que describiremos a lo largo de este capítulo.

En nuestra opinión, el RDPCM constituye una gran oportunidad para establecer relaciones entre los acervos culturales resguardados por la Secretaría de Cultura, sea como un instrumento indispensable para difundir la cultura mexicana mediante una herramienta digital, sea como un recurso que permite mejorar la experiencia que proporcionan los recintos culturales de manera libre, universal y gratuita. El Repositorio, además, tiene el propósito de servir a académicos y a otros expertos de la comunidad de práctica del sector cultural como una fuente documental, así como constituirse en una herramienta educativa que apoye la formación del más amplio número de docentes de la población del país.

Actualmente, la mayoría de los acervos mexicanos carecen de un esquema de datos normalizado, la información de sus contenidos descriptivos a menudo se halla incompleta y no cuentan con objetos digitales de ellos o, en su caso, estos están en condiciones de obsolescencia; en consecuencia, se tiene una difusión del patrimonio desestructurada que impide la implementación de un programa de preservación a largo plazo, así como abierta y

¹ Para conocer más sobre este proyecto y para tener acceso a la documentación generada en el seno de este, recomendamos la revisión de la página web: “Europeana Data Model Documentation”, disponible en <https://pro.europeana.eu/resources/standardization-tools/edm-documentation>

² El Repositorio se encuentra alojado en esta dirección web: <https://mexicana.cultura.gob.mx/>.

libre divulgación del patrimonio cultural mexicano y de los datos tocantes a este.

Durante la etapa de conceptualización y desarrollo del Repositorio, este recogió los acervos de 14 instituciones de la Secretaría de Cultura, mismos que contienen más de 600 mil objetos digitales, todos ellos provenientes de colecciones arqueológicas, históricas, artísticas, videográficas y sonoras de México. Los pasos intermedios para este fin se pueden enunciar en seis puntos específicos, los que enumeramos a continuación:

1. Sustentabilidad técnica y financiera. Crear un sistema sólido y escalable en módulos, que permita adaptarse a las necesidades futuras y reducir los costos de desarrollo, para poder ser aplicados en recursos humanos que administren las colecciones digitales.
2. Aumento de audiencias. Crear una estrategia en medios de comunicación y vinculación ciudadana a través de “hackatones” en colaboración con fundaciones o asociaciones civiles y activaciones en redes sociales.
3. Investigación y creación de contenidos. Reconocer el valor de los investigadores y creadores de contenidos de las instituciones mexicanas, vinculando sus conocimientos para hacerlos partícipes en la creación y edición de contenidos.
4. Proveedores de datos y agregadores. Incrementar y exponer el mayor material de las instituciones de la Secretaría de Cultura en el RDPCM, que se encuentren libres de derechos de autor y generar salidas innovadoras para las nuevas audiencias.
5. Profesionalización de los recursos humanos. Generar redes para compartir conocimiento y solventar procesos a través de la creación de estrategias para el mejoramiento del sector cultural mexicano, en el ámbito de la documentación de su patrimonio cultural y su preservación digital.
6. Alianzas interinstitucionales. Firmar convenios para fortalecer, ampliar el alcance y asegurar la permanencia del RDPCM, como un proyecto prioritario y sustantivo de las labores realizadas

por la Secretaría de Cultura en el ámbito digital.

7. Finalmente, es importante señalar que con la creación del RDPCM nació la oportunidad de desarrollar un modelo de datos que estandarice, con base en las mejores prácticas internacionales de documentación, una ontología para la descripción de objetos del patrimonio cultural de México. Dicha ontología será utilizada para lograr la interoperabilidad de las diversas bases de datos relacionadas al repositorio, haciendo posible el intercambio de información del sector (a continuación, se ahondará más en este tema).

3. DESARROLLO DEL MODELO DE DATOS MÉXICO (MDM)

El Modelo de Datos México (MDM) se encuentra en fase de implementación y tiene la firme vocación de colocar al país, en un plazo muy corto de tiempo, al nivel de otras naciones con mayor experiencia en la creación de dichos modelos.

Construido sobre estándares internacionales para la representación y documentación del patrimonio cultural, el MDM ofrece un marco integrado donde los diferentes profesionales involucrados disponen de las herramientas necesarias para procurar una descripción de los objetos culturales y patrimoniales con unos estándares de precisión, exhaustividad y calidad, ahora mismo inéditos en México.

La filosofía que subyace al modelo está heredada directamente de los fundamentos sobre los que se asientan la Web semántica y los datos abiertos enlazados, es decir, la interoperabilidad de la información y su reutilización de manera abierta en diferentes plataformas y aplicaciones. Esto garantiza que sea posible desarrollar servicios enriquecidos no sólo hacia fuera de las instituciones que generan la información, sino también hacia el interior de las mismas, ya que en todo momento se ha tratado de acercar el modelo a la tradición y las prácticas de trabajo museísticas propias de México, para facilitar así su explotación.

El modelo se expresa a través de una ontología de dominio, que es una herramienta que permite representar en la Web los conceptos, propiedades y relaciones que intervienen en la construcción de un dominio de conocimiento específico y que tienen

que ver, por ejemplo, con los diferentes procesos que se llevan a cabo en él. La ontología permite definir el contexto de aplicación de esos conceptos, delimitando su significado, para así minimizar los problemas de ambigüedad semántica que de manera endémica sufren los sistemas de información.

Para su desarrollo se tomó como base el estándar *CIDOC-Conceptual Reference Model* o CIDOC-CRM (Crofts et al., 2006), que supone la culminación de más de dos décadas de trabajo de elaboración de normas del Comité Internacional de Documentación (CIDOC) perteneciente al Consejo Internacional de Museos (ICOM). Se trata de un modelo de datos centrado en eventos que pretende abarcar todos los procesos habidos en un museo y que de alguna manera afectan al objeto cultural en alguna de las fases de su ciclo de vida, entendiendo este como el periodo de tiempo que transcurre desde que se crea o concibe, hasta que se produce su destrucción o desaparición.

En nuestro caso, el modelo construye el discurso de la descripción a partir de objetos (e.g. objetos culturales, objetos culturales digitales y sitios arqueológicos), ofrece una visión más apegada a la tradición de la documentación museística en México y facilita a los catalogadores el proceso de descripción de los mismos. En él se definen un total de cinco clases principales, tal y como se representa en la Figura 1.

Como se puede ver en la representación anterior, el MDM engloba los diferentes elementos necesarios para describir y documentar objetos culturales de carácter físico o conceptual, a saber: "Data" o elemento de información que refiere a las fechas o la datación de los bienes de interés cultural; "Dimensión", elemento que precisa todo tipo de magnitudes; "Entidad temporal", en la que se registran actividades asociadas al bien de interés cultural y a los agentes

relacionados con ellas; "Entidad persistente", las cosas y los agentes que interactúan sobre ellas; y "Lugar", que establece los datos geográficos o de localización asociados a las entidades persistentes.

Profundizando en la búsqueda de soluciones para evitar la ambigüedad semántica en los procesos de catalogación y recuperación de recursos, el modelo se enriquece con una serie de vocabularios controlados expresados en SKOS (*Simple Knowledge Organization System*), un modelo para sistematizar relaciones léxico-semánticas en dominios terminológicos. Estos vocabularios³ han sido construidos a partir de la inestimable colaboración de museógrafos e investigadores del ámbito cultural de México y suponen no solo una herramienta terminológica fundamental para normalizar y homogeneizar la descripción y documentación de los objetos culturales, sino también una manera de difundir a la comunidad internacional un valioso recurso tamizado desde el prisma del cual México entiende y describe su propio patrimonio.

Como se puede ver en la Figura 2, los tesauros constituyen atributos de los objetos descritos dentro del MDM, esto implica que cada uno de ellos controla y homogeniza la designación de los objetos. En el caso anterior, un subdominio del tesoro controlaría las denominaciones de los objetos conceptuales (en el apartado siguiente, se ahondará en la descripción de todos estos catálogos).

En resumen, el MDM implica la adaptación del CIDOC-CRM a las necesidades del proyecto de Repositorio y de la comunidad de práctica nacional. Naturalmente, esta decisión permitirá al modelo de datos corresponder cabalmente con las prácticas locales de catalogación y evidenciar las relaciones conceptuales que se establecen entre el catalogador mexi-



Figura 1.

³ En nuestro país y para el sector cultural, esta es la primera vez que se comprendían vocabularios en este sistema de organización de saber léxico, si se quisiera saber más sobre el tema, recomendamos se revise: *Manual de SKOS (Simple Knowledge Organization System, Sistema Simple de Organización del Conocimiento); El lenguaje sobre el patrimonio. Estándares documentales para la descripción y gestión de colecciones; Diseño y desarrollo de tesauros; Garantía literaria y normas para construcción de vocabularios controlados: aspectos epistemológicos y metodológicos. Scire, 15(2); Los árboles de dominio, en Teoría y praxis en terminología*, entre otros.

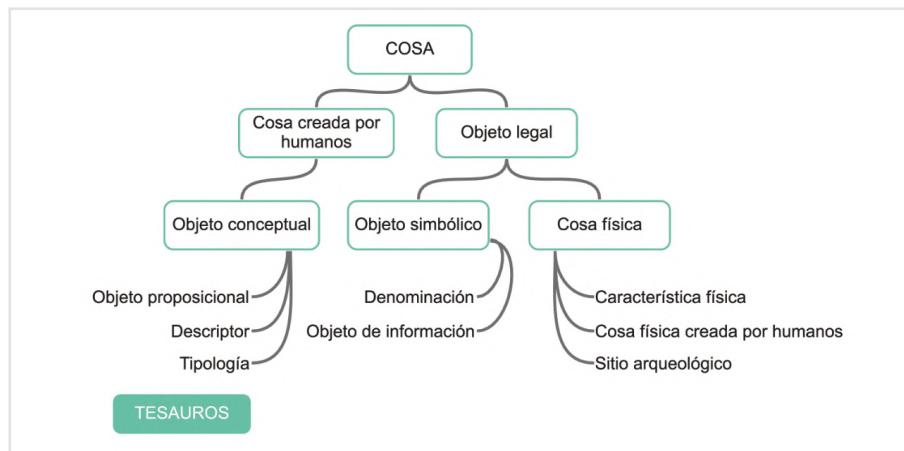


Figura 2.

cano y la concepción de los bienes patrimoniales para nuestro contexto cultural. En general, podemos asegurar que hemos apostado por una iniciativa universal y local a la vez y, por tanto, asumimos que el control terminológico para el proyecto no debería abordarse desde una perspectiva diferente.

4. UN CONTROL TERMINOLÓGICO PARA EL RDPCM

Como puede verse en la Figura 2 y en la explicación que se dio de esta, el MDM determinó la estructura y las necesidades del control terminológico del proyecto. Por un lado, fija la dirección en la que se sentarán las bases para la construcción de un macrotesauro mexicano, es decir, un instrumento normalizador que refleje las relaciones sistemáticas que establecen los términos entre sí y que proporcione una organización semántica de los conceptos del dominio (Arano, 2005).⁴ También, como ya se mencionó antes, se proyecta la necesidad de la organización de este saber terminológico en un sistema de organización SKOS⁵ que facilite la repre-

⁴ Algunos otros autores como Naumis (2007) explican que un tesauro, además de ser un lenguaje documental, garantía literaria y lenguaje controlado que explica una terminología normalizada, es un recurso que evidencia la estructura conceptual de un campo temático y las relaciones entre conceptos de un dominio.

⁵ SKOS es un modelo que aplica el RDF (*Resource Description Framework*) para la representación de sistemas de organización del conocimiento en línea que permite identificar los términos mediante URLs, etiquetarlos, anotarlos, relacionarlos entre sí mediante estructuras jerárquicas informales o redes asociativas, entre otros. Ya que el enfoque de este artículo no contempla la discusión de estas vías de representación del saber terminológico, legible por máquinas e intercambiable entre aplicaciones de soft-

sentación y organización en línea del tesauro (W3CWorking Group, 2009).

Al día de hoy, crear un tesauro es una iniciativa de largo aliento que podría no ajustarse a los apretados tiempos en esta fase inicial del proyecto, por ello, desde el grupo de trabajo se ha planteado la construcción inmediata de 24 listas de control terminológico. A continuación, ofrecemos una narrativa de los desafíos que se enfrentamos en la compilación de los vocabularios, la tipología de estos controles terminológicos y describiremos, *grossó modo*, la naturaleza de cada uno de ellos.

Un problema al que nos enfrentamos al recopilar los términos de estas 24 terminologías fue integrar, por ejemplo, unidades de medida, nombres de instituciones o ubicaciones geográficas que, *stricto sensu*, no serían términos exclusivos de la disciplina. Entonces, para justificar el control de estas unidades léxicas necesarias, recurrimos al supuesto de la existencia de términos en *sentido lato* y términos en *sentido estricto*: Los términos en *sentido lato* son designaciones de la lengua común que especializan su significado o denominaciones que son comunes a varias áreas de conocimiento; mientras que un término en *sentido estricto* será una denominación exclusiva de un dominio técnico o científico (Cardero García, 2003).

La existencia de estas diferencias entre jerarquías de términos, aplicadas a la tipología de controles terminológicos para el proyecto, ha supuesto una

ware, se recomienda revisar el *Manual de SKOS, Simple Knowledge Organization System*, en inglés, o *Sistema Simple de Organización del Conocimiento* (W3CWorking Group, 2009).

primera categorización de los listados terminológicos: por una parte, tenemos un conjunto de terminologías relacionadas con el arte y la arqueología en México y, por otro lado, tendríamos terminologías en *sentido lato* que el dominio del arte y de la arqueología comparten con el derecho, las matemáticas y otras ciencias, así como con otras disciplinas humanas, la informática y las tecnologías de la información.

En cuanto a los listados de control terminológico en *sentido estricto* podemos encontrar términos que refieren a tipos de objetos (*fotografía o friso*), materiales (*cera o yute*), técnicas (*bruñido o marfiletipia*), tipología documental (*carta o volante*) y características físicas del bien de interés cultural (*delaminado o patinado*). Todas estas terminologías recogen a la fecha un total de siete mil ciento tres términos documentados en el *Diccionario de Denominaciones de Bienes Culturales*, el *Diccionario de Materias*, el *Diccionario de Técnicas* (Ministerio de Educación, Cultura y deporte, 2018a; 2018b; 2018c) y las bases de datos de las instituciones participantes en el proyecto. En este momento, se les ha asignado un identificador alfanumérico único para el sistema y se prevé que a corto plazo crezcan, lo que les da la cualidad de ser terminologías dinámicas.

Las terminologías en *sentido lato* son muchas más que las anteriores y se pueden clasificar a su vez en tipos más específicos, esto es: las que remiten a condiciones intrínsecas de los bienes de interés cultural, que se relacionan directamente con el objeto, y las condiciones que remiten a aspectos administrativos o condiciones extrínsecas de los objetos. Las condiciones intrínsecas de los bienes de interés cultural se describen con las terminologías referidas al estado de conservación (*buen estado o requiere intervención*), al soporte físico (*acetato o disco duro*), nombres de unidades de longitud, masa y tiempo (*gramo o segundo*), tipo de marca (*firma autógrafa o signo*), tipo de formato (*.zip o .m3u*), tipo de producción (*manufactura u ornamentación*) y tipo de agente (*colorista o xilógrafo*). Estas terminologías se construyeron a partir del documento *Resumen del Sistema Internacional de Unidades, el SI* Centro español de Metrología, 2016), el *Diccionario de la Lengua Española* (RAE y ASALE, 2017) de la Real

Academia de la Lengua y las bases de datos de las instituciones participantes en el proyecto. En resumen, agregan al total general de los listados desarrollados la cantidad de 389 unidades léxicas.

Por otra parte, las condiciones extrínsecas recogen los nombres de las instituciones que custodian los bienes de interés cultural (e.g. Museo Nacional de San Carlos; Museo Nacional de Antropología, etc.), países y localizaciones de estas instituciones (e.g. España; Coahuila de Zaragoza, etc.), nombres de lenguas en español (e.g. finés; popoloca, etc.), tipo de título (e.g. descriptivo; popular, etc.), tipo de nota (e.g. nota genérica; recomendaciones de mantenimiento), tipo de descriptor (e.g. temático; temporal, etc.), tipos de magnitudes (e.g. unidades de longitud; unidades de tiempo, etc.), tipos de adquisición (e.g. consignación; rescate, etc.), modo de uso (e.g. ceremonial; medicinal, etc.), tipo de dimensión (e.g. diámetro; volumen, etc.), tipo de lugar (e.g. país; municipio, etc.) y tipo de identificador (e.g. ISBN; número de registro, etc.).

Las fuentes usadas para documentar estas unidades léxicas, que en total suman 14,773, fueron el *Sistema de Información Cultural de México* (Secretaría de Cultura, s/f), el *Catálogo de las Lenguas Indígenas Nacionales: Variantes Lingüísticas de México con sus autodenominaciones y referencias geoestadísticas* (Instituto Nacional de Lenguas Indígenas, 2008) y las bases de datos de los museos participantes. En resumen, la suma de todos los listados de control terminológico da un total de 22,165 términos para la base de datos; la taxonomía derivada de este trabajo se puede ver en la Figura 3.

En general, los controles terminológicos del MDM son catálogos cerrados⁶, asociados a algunos de los elementos de información del sistema, desplegables, que evitan las posibles ambigüedades conceptuales, ortográficas y de captura. Por ejemplo, en el caso del elemento de información que remite al estado de conservación, el catálogo desplegable incluye los 33 términos siguientes:

⁶ Por último, si se quisiera saber con más detalle las relaciones directas existentes entre cada una de las terminologías y las propiedades del MDM con la que mapean, se recomienda revisar el Anexo 1. Mapeo entre el MDM y los controles terminológicos.

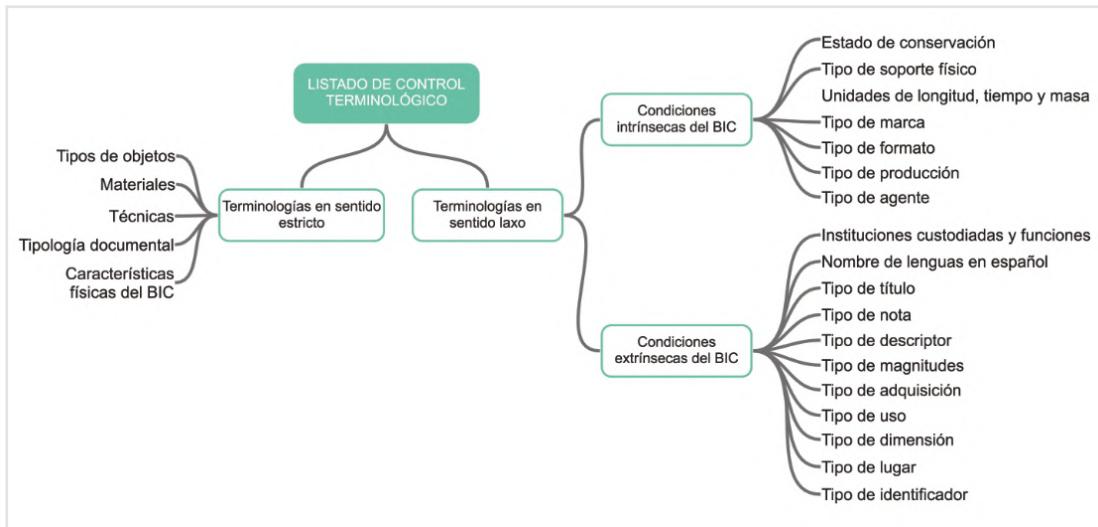


Figura 3.

- buen estado,
- bueno
- bueno-estable
- completo
- completo-estable
- con despontilladuras
- con fractura
- con huellas de exposición al fuego
- con un orificio
- con una fractura
- conserva flexibilidad
- conservado
- desgastado
- deshilvanado
- despostillado
- erosionado
- estable
- estado regular
- excelente
- exfoliado
- fijado de calcificación
- fisurado
- fracturado
- fragmentado
- incompleto
- mal estado
- malo
- rajado
- regular
- requiere intervención
- restaurado
- roido
- semicompleto

Naturalmente, es posible que un catalogador requiera de un concepto adicional para este elemento de información, por lo tanto, administrativamente se considera la condición de que los catalogadores recomiendan terminología que, luego de ser documentados, tal y como que se ha descrito, se incluyan en estos catálogos. De esa forma se garantizará la cobertura terminológica del sistema.

5. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN DE FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

Aproximarse desde cualquier perspectiva a los datos del patrimonio cultural en México implica una tarea de proporciones extraordinarias, ya que cualquier proyecto en ese sentido advertirá pronto la inmensa heterogeneidad que la forma y, con ello, el desigual estado de la documentación de las instituciones del patrimonio; incluso, de cómo estas tienen débitos y grandes desafíos ante la implementación de tecnologías existentes para ofrecer servicios de reuso o interoperabilidad de su información.

Este aspecto técnico resulta de gran importancia, pero jamás ha de olvidarse que la descripción de objetos culturales desde la tradición local ofrece todavía más retos que no necesariamente son técnicos, sino de orden práctico, por ejemplo: la profesionalización, el fortalecimiento de las prácticas de catalogación, la integración de sistemas de información, entre otros. Considerando lo anterior, resulta

necesario comprender de manera profunda la naturaleza de la documentación y la descripción de los objetos culturales desde las tradiciones locales, esto, para aprovecharla y proyectarla a su integración con las tecnologías de la información.

En cuanto al trabajo realizado, podemos asegurar que la primera estandarización ha de ser la implementación de buenas prácticas, pero también la creación de consensos y mejoras en la disciplina y sus actores, tanto como el reconocimiento e incorporación del trabajo ya elaborado desde las instituciones mexicanas de su sector cultural.

Por otra parte, queremos señalar y poner énfasis en el hecho de que la mejor información siempre tendrá su origen en los especialistas, catalogadores o curadores que trabajan directamente con los objetos patrimoniales. Con base en ello, nos permitimos afirmar que con el MDM el esfuerzo favorece la integración de datos desde la pauta de un sistema de proveedores y agregador de datos y, por lo mismo, también plantea una mirada académica contemplando la capacitación y ventana de oportunidades que significa “poner la casa en orden” y, aprovechar

desde la web, los contenidos que la documentación y descripción del patrimonio cultural mexicano pueden ofrecer.

Hay que señalar que el proyecto de repositorio es una empresa en proceso de consolidación y que hay líneas de trabajo futuro que se deben considerar, por ejemplo: la implementación de una árbol de dominio que ordene sistemáticamente los vocabularios, la evaluación del MDM y la transición de este modelo a datos *ad hoc* hacia un CIDOC-CRM puro, la consolidación de programa de formación de catalogadores de alto nivel que provean información de calidad para el agregador, entre otros, para que esta iniciativa se constituya como una oportunidad para enriquecer la web con acciones positivas que reafirmen la cultura en el mundo digital, beneficiando audiencias, compartiendo el conocimiento y transformando el mundo a través de colaboraciones creativas e innovadoras referidas a la cultura.

En resumen, toca “apretar el paso”, es decir: avanzar firmemente hacia un patrimonio cultural mejor descrito, mejor aprovechado y, por lo tanto, mejor distribuido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arano, S. (2005). Los tesauros y ontologías en la Biblioteconomía y la documentación [Artículo en línea]. *Hipertext.net. Revista Académica sobre Documentación y Comunicación Interactiva*, 3. Recuperado de <https://www.upf.edu/hipertextnet/numero-3/tesauros.html> [Consultado el 1 de enero de 2019].
- Cardero García, A. M. (2003). *Terminología y procesamiento*. México: UNAM/FES Acatlán.
- Centro Español de Metrología (2016). *Resumen del Sistema Internacional de Unidades, el SI* [Documento en línea, producido por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad/Centro Español de Metrología]. Recuperado de http://www.cem.es/sites/default/files/files/resumen%20del%20sistema_internacional_de_unidades.pdf [Consultado el 1 de enero de 2019].
- Crofts, N., Doerr, M. Gill, T. Stead, S. Stiff, M., (Eds.). (2006). *Definition of the CIDOC Conceptual Reference Model, October 2006. Version 4.2.1*. ICOM-CIDOC.
- Instituto Nacional de Lenguas Indígenas. (2008). Catálogo de las lenguas indígenas nacionales: Variantes lingüísticas de México con sus autodenominaciones y referencias geoestadísticas. *Diario Oficial del 14 de enero de 2008*, Recuperado de http://www.inali.gob.mx/pdf/CLIN_completo.pdf [Consultado el 1 de enero de 2019].
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2018a). *Diccionario de denominaciones de bienes culturales*. Recuperado del sitio de internet Tesauros del Patrimonio Cultural de España <http://tesauros.mecd.es/tesauros/bienesculturales.html> [Consultado el 1 de enero de 2019].
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2018b). *Diccionario de materias*. Recuperado del sitio de internet Tesauros del patrimonio Cultural de España <http://tesauros.mecd.es/tesauros/tecnicas.htm> [Consultado el 1 de enero de 2019].
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2018c). *Diccionario de técnicas*. Recuperado del sitio de internet Tesauros del patrimonio Cultural de España <http://tesauros.mecd.es/tesauros/tecnicas.html> [Consultado el 1 de enero de 2019].
- Naumis Peña, C. (2007). *Los tesauros documentales y su aplicación en la información impresa, digital y multimedia*, primera edición. México: UNAM/Alfagrama Ediciones.
- RAE y ASALE (2017). *Diccionario de la lengua española*, 23.^a edición [Versión electrónica]. Recuperado de <http://dle.rae.es/?w=diccionario> [Consultado el 1 de enero de 2019].
- Secretaría de Cultura. (2016). Reglamento Interior de la Secretaría de Cultura. *Diario Oficial de la Federación*, 08 de noviembre de 2016, Recuperado de http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5460041&fecha=08/11/2016
- Secretaría de Cultura. (s/f). Sistema de Información Cultural de México [Archivo de datos y libro de códigos]. Recuperado de <https://sic.cultura.gob.mx/datos.php> [Consultado el 1 de enero de 2019].
- W3CWorking Group (2009). *Manual de SKOS (Simple Knowledge Organization System, Sistema Simple de Organización del Conocimiento)* [Documento en línea del 18 de agosto de 2009, traducción al español del 20 de noviembre de 2009]. Recuperado del sitio de internet W3CWorking Group Notes <http://skos.um.es/TR/skos-primer/> [Consultado el 1 de enero de 2019].

Anexo 1. Mapeo entre el MDM y los controles terminológicos

<i>Terminología</i>	<i>Mapea con la(s)</i>
Nombres de instituciones custodias	propiedad de datos "valor de identificador" con tipo de identificador igual a "ID del sistema", la propiedad de datos "nombre de institución", la propiedad de datos "identificador web" y la propiedad de datos "tipo de institución".
Nombres de lenguas en español	propiedad de datos "valor de identificador" con "tipo de identificador" igual a ID del sistema, la propiedad de datos "valor de identificador" con tipo de identificador igual a código "ISO lengua", en la clase idioma, propiedad de datos tiene la etiqueta "preferente", en la clase idioma y "no preferente".
Nombres de unidades	propiedad de datos "unidad".
Países y localizaciones de las instituciones custodias	los códigos mapean con la propiedad de datos "valor de identificador" de la clase "identificador" y los nombres mapean con la propiedad de datos "tiene nombre de lugar" de la clase "nombre de lugar".
Técnicas	propiedad de datos "valor de identificador" con "tipo de identificador" igual a ID del sistema y con "tiene etiqueta preferente" de la clase "técnica".
Materiales	propiedad de datos "valor de identificador" con "tipo de identificador" igual a ID del sistema y con la propiedad de datos "tiene etiqueta preferente" de la clase "material".
Tipos de objetos	propiedad de datos "valor de identificador" con "tipo de identificador" igual a ID del sistema y con "tiene etiqueta preferente" de la clase "tipo de objeto cultural".
Características físicas del BIC	propiedades de esta forma: la propiedad de datos "valor de identificador" con "tipo de identificador" igual a ID del sistema y la propiedad de datos "tiene etiqueta preferente" de la clase "tipo de características físicas".
Tipos de adquisición	mapea con propiedad "tiene tipo de adquisición".
Modo de uso	propiedades de esta forma: la propiedad de datos "valor de identificador" con "tipo de identificador" igual a ID del sistema y la propiedad de datos "tiene etiqueta preferente" de la clase "modo de uso".
Tipo de formato	propiedad de datos "tipo de formato" de las clases "imagen" y "documento".
Soporte físico	propiedad de datos "tiene soporte" de las clases "imagen" y "documento".
Tipo de título	propiedad "tiene tipo de título" de la clase "título".
Estado de conservación	propiedad "tiene estado de conservación" de la clase "estado de conservación".
Tipo de dimensión	propiedad de datos "tipo de dimensión", de la clase "dimensión".
Tipo de descriptor	propiedad "tipo de descriptor" de la clase "descriptor".
Tipo de marca	propiedad "tipo de marca" de la clase "marca".
Tipo de nota	propiedad "tipo de nota" de la clase "nota".
Tipo de lugar	propiedad "tipo de lugar" de la clase "lugar".
Tipología documental	propiedad "tiene tipología documental" de la clase "documento".

Cambio de paradigma: Museos de México

Vania S. Ramírez Islas

SECRETARÍA DE CULTURA, MÉXICO

Ernesto Miranda Trigueros

SECRETARÍA DE CULTURA, MÉXICO

Resumen: En 2018, la Agenda Digital de Cultura lanzó el proyecto Museos de México, un desarrollo digital que aplica buenas prácticas internacionales para renovar las colecciones digitales de siete importantes museos gestionados por la Secretaría de Cultura. A través de la aplicación de herramientas digitales, estos museos han transformado sus procesos de documentación física y de difusión en el espacio digital. Este proyecto ha permitido mejorar el manejo de las colecciones a través de un sistema digital de gestión que vincula las áreas de documentación, curaduría, conservación, servicios educativos y difusión. La base del sistema es un manejador de colecciones que utiliza los principios del sistema de catalogación *Collective Access*. El manejador funciona con una arquitectura de datos común para homologar la información creada por las instituciones. Además de los beneficios internos que ofrece el proyecto, también permite una mejor experiencia, a través de una interfaz gráfica atractiva, ágil, dinámica y diferente para cada museo, la cual responde a los tipos de contenidos y curadurías creados por los gestores e investigadores de los recintos.

Palabras clave: museos de México; museos abiertos; colecciones digitales; web; nuevos públicos; museos en la web; ux; collective access; open glam; humanidades digitales; patrimonio digital

Abstract: In 2018, the Digital Strategy Office of the Mexican Ministry of Culture launched the Museos de México project, a set of webpages for National Mexican museums, renewing their collections and applying the highest international standards. Through the application of digital tools, these museums have transformed their physical documentation and dissemination processes in the digital space. This project has made it possible to improve the management of collections through a digital management system that links the areas of documentation, curatorship, conservation, educational services and dissemination. The basis of the system is a collection manager that uses the principles of the *Collective Access* cataloguing system. The manager works with a common data architecture to standardize the information created by the institutions. In addition to the internal benefits offered by the project, it also allows a better experience, through an attractive, agile, dynamic and different graphic interface for each museum, which responds to the types of content and curatorships created by the managers and researchers of the museums.

Keywords: museums of Mexico; open museums; digital collections; web; new audiences; museums on the web; ux; collective access; open glam; digital humanities; digital heritage

1. INTRODUCCIÓN

El uso de las tecnologías digitales en los espacios museísticos ha modificado algunos de los procesos intrínsecos a estas instituciones de la memoria, como el registro de obra, la mediación con los públicos y la forma en la que se representan las colecciones en la Web. Como señalan Bertachini y Morando (2013: 6), este último campo quizá sea uno de los que ofrece mayores posibilidades y que, por ende, exige mayor reflexión; la diseminación digital de las colecciones conlleva una nueva forma de concebir su organización, acceso y principalmente una nueva forma de trabajar para estas organizaciones, que no necesariamente se encuentra considerada en sus mandatos, organigramas y presupuestos.

Dotar de herramientas digitales a estos espacios es un complemento óptimo para la interpretación de las colecciones; éstas aportan información relevante para los investigadores y educadores, permiten un acercamiento directo con públicos que no pueden acceder físicamente a los recintos y extienden la promoción de las colecciones que albergan. Así, permiten acceder a lo mejor de dos mundos (Clough, 2013), y nunca un tiempo más pertinente para ello que la pandemia global que atraviesa el mundo en el 2020.

Por tal motivo, ha sido necesario y fundamental proponer un cambio de paradigma en la manera como visualizamos y exponemos la información de los recintos museísticos mexicanos; ya no basta ni es relevante tener en la Web información básica sobre los museos, los recintos deben ofrecer experiencias que enriquezcan el enorme y diverso patrimonio arqueológico, histórico y artístico de México. Si bien este cambio de paradigma se viene dando desde la década de los noventas en otras partes del mundo, en México es apenas ahora que se trabaja de manera más estructurada en integrar estos procesos a las instituciones de la memoria.

Este artículo describe los procesos, estructuras de información y diseño de interfaces de usuario del proyecto Museos de México, el cual plantea la reestructuración de siete sistemas gestores de colecciones pertenecientes a las siguientes instituciones: Museo Nacional de Antropología, Museo Nacional de Historia, Museo Nacional del Virreinato, Museo de Arte Moderno, Museo Nacional de San Carlos, Museo Nacional de la Estampa y Museo Nacional de Culturas Populares.

Para el desarrollo del proyecto se contemplaron tres ejes fundamentales implementados a través de módulos de trabajo:

1. Gestión de la información y normalización de bases de datos.
2. Desarrollo del sistema gestor de colecciones y modelado de datos.
3. Desarrollo de la interfaz gráfica y experiencia de usuario.
4. Pruebas de uso y puesta en marcha.

El objetivo general del proyecto *Museos México* es poner a disposición del público el patrimonio digital de los museos mencionados a través de una plataforma web práctica, intuitiva y centrada, por un lado, en las colecciones digitales, y por otro, en los usuarios. Entre los objetivos específicos se encuentran:

- Conectar la colección y el conocimiento en torno a ella con el usuario.
- Ofrecer información en torno a la obra de forma enriquecida y contextualizada (generación de contenidos y registros).
- Reestructurar la información con una nueva arquitectura de datos.
- Generar sistemas gestores por módulos de trabajo que correspondan a las funciones de los departamentos dentro del museo.
- Crear sitios web multiplataforma con una interfaz gráfica bajo las necesidades de cada museo y exhibir acervos que nunca antes habían estado en la web en alta resolución.
- Desarrollar un sistema libre, abierto y universal que permita no sólo visualizar información sino reutilizar el capital de datos en otros contextos centrados en educación e investigación.
- Desarrollar funciones que permitan a los usuarios finales participar activamente e interactuar con las obras.
- Ofrecer a los museos mexicanos una herramienta tecnológica replicable para la implementación de nuevas colecciones digitales.

Cabe destacar que los siete sistemas serán interoperables mediante el *Méxicana: Repositorio Nacional del Patrimonio Cultural Mexicano*¹, y que, aunque los esquemas de datos son diferentes, se crearon una serie de correspondencias a través del uso de protocolos estandarizados de catalogación basados en la ontología del *Modelo de Datos México*², el cual permitirá aprovechar integralmente el capital de datos de los museos, para enlazar los objetos y realizar búsquedas que recuperen información estructurada. (ver el artículo de Morales-del-Castillo et al., en este

¹ <https://mexicana.cultura.gob.mx/>

² <http://mexicana.cultura.gob.mx:8080/tree.jsp>

mismo volumen). Con este proyecto, algunos de los museos mexicanos más importantes, contarán con una web a la altura de su relevancia y que represente dignamente las colecciones que resguardan.

2. EJES DEL PROYECTO

Al iniciar el proyecto, una de las principales necesidades era establecer una comunicación ágil y directa con los proveedores de datos para generar un análisis previo que tomara en cuenta el estado de los registros, los objetos digitales y las necesidades de cada recinto museístico. De acuerdo al análisis realizado acerca del estado de las colecciones digitales y el uso de sistemas gestores, encontramos lo siguiente: el 100% de los museos cuentan con una página web pública, el 70% cuentan con un sistema gestor (no interoperable), 0% tiene acceso para administrar su colección, 0% exhibe en la web su obra, 0% maneja información estructurada o usa modelos de datos y el 40% usa vocabularios o cuenta con catálogos controlados.

Con base en este análisis, decidimos iniciar el proyecto con el módulo de gestión de la información y normalización de bases de datos (módulo 1), pues, aunque la carencia de reglas o estándares conllevaría un proceso delicado y lento de normalización de datos, la estandarización permitiría tener como resultado información estructurada y recuperable en todos los sistemas del repositorio.

De manera paralela, se trabajó en el segundo módulo, es decir, el desarrollo del sistema gestor de colecciones y modelado de datos. Esto permitió recuperar la información entregada por las instituciones, sin perder o cambiar datos esenciales, además de implementar un gestor de colecciones con los protocolos ofrecidos por el software *Collective Access*³ para la introducción y edición de registros y objetos bajo un modelo estandarizado de datos. También permitió generar una interfaz intermedia para la gestión de las áreas de documentación, movimiento de obra, digitalización y conservación, y finalmente habilitar la exposición de metadatos, mediante

el protocolo OAI-PMH, un estándar para la gestión de metadatos, creado por la organización *Open Archives Initiative*.⁴

Posteriormente, se trabajó en el tercer módulo, es decir, el desarrollo de la interfaz gráfica y experiencia de usuario, para que, en conjunto con el personal de los museos, explorar las necesidades de diseño y funcionalidad, tanto para los usuarios administradores de colecciones como para el usuario final. En esta fase se incluye el desarrollo de prototipos de navegación y usabilidad.

2.1 Gestión de la información y normalización de bases de datos

Actualmente, la documentación de las colecciones que se resguardan en los museos se ha convertido en un eje importante para la preservación de objetos patrimoniales, así como un generador de conocimiento para los especialistas y ciudadanos. Para otorgar mayor visibilidad a la documentación en la Web, los primeros pasos que realizamos fueron: una revisión detallada de los estándares y estructuras utilizadas; generar una correspondencia homologada de datos para la ingesta al nuevo sistema y normalizar los campos, sin perder la esencia descrita.

En el caso del proyecto *Museos de México*, la proveniencia de la información de las colecciones se dividió en varios agentes de datos: para los museos que dependen del Instituto Nacional de Bellas Artes la información fue entregada por el Centro Nacional de Conservación y Registro del Patrimonio Artístico Mueble (CENCROPAM); en el caso de los museos adscritos al Instituto Nacional de Antropología e Historia, los proveedores de datos fueron los propios museos (Museo Nacional de Antropología, Museo Nacional de Historia y el Museo Nacional del Virreinato).

Durante la primera etapa, uno de los aciertos de este proyecto fue incluir en todas las etapas de desarrollo a todo el personal de los museos que trabajan con colecciones. Posteriormente, en las fases de desarrollo del sistema y diseño de la interfaz gráfica, se involucra también a las áreas que están directamente relacionadas con la atención al público visi-

³ Sistema de gestión de acervos de libre acceso especializado en museos. <https://www.collectiveaccess.org/>

⁴ <https://www.openarchives.org/pmh/>

Tabla 1. Número de registros y objetos digitales

Base de datos	Número total de registros	Número de objetos digitales
Museo Nacional de Antropología	65,095	12,800
Museo Nacional de Historia	1,862	308
Museo Nacional del Virreinato	2,029	850
Museo Nacional de San Carlos	2,157	948
Museo de Arte Moderno	2,869	94
Museo Nacional de la Estampa	12,351	1,065
Museo Nacional de Culturas Populares	14,674	272
TOTAL	101,037 registros	16,337 objetos digitales

Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

tante. Una de las ventajas colaterales dentro de este proyecto, ha sido no sólo abrir los acervos públicamente en la Web, sino transformar los procesos internos de los museos para hacer más eficientes las tareas cotidianas, así como fortalecer los procesos documentales y de gestión para generar conocimiento. Recordemos que este tipo de procesos enfocados a las salidas digitales no se encuentran establecidos en ninguno de los museos con los que se trabajó.

En una siguiente fase, se integraron las bases de datos y objetos digitales (Tabla 1) de siete museos. A partir de un detallado análisis se constató que ninguno de los museos contaba con esquemas de datos y/o información estructurada. Cabe destacar que la definición de objetos digitales integrados se determinó en base a objetos digitalizados y libres de cualquier propiedad intelectual.

Con base en el análisis realizado, se determinó que la normalización de registros debería incluir las siguientes acciones:

- Revisar la correcta ortografía y sintaxis de los registros, lo cual incluye el apropiado uso de altas y bajas en los textos, por ejemplo: secretaría de cultura -> Secretaría de Cultura; FABRICA DE CHAPULTE -> Fábrica de Chapultepec.
- Revisar la correspondencia del objeto con la descripción realizada, porque podrían existir erratas de clasificación, registros duplicados por la forma de la obra o información repetida en distintas bases de datos.
- Agregar el vocabulario especializado para la descripción del objeto, lo que incluye dar pre-

ferencia al singular masculino para facilitar la recuperación de agentes creadores, además de verificar el campo de objeto para que éste sea acorde al objeto presentado. Por ejemplo: Objeto: Arma/Utensilio; Forma: Sello; cms -> cm.

- Revisión y vinculación del número identificador con el objeto digital. Los identificadores de un gran porcentaje de los objetos digitales no tienen correspondencia con la base de datos. Ejemplo: LasDosFridas.jpg -> 14503.jpg.
- Normalización de los objetos digitales, lo que incluye edición y retoque de imagen, en algunos casos. Se encontraron algunas inconsistencias como imágenes en formato distinto, formatos heterogéneos y paletas de colores incrustadas.

Además de lo mencionado, se revisaron las excepciones en la catalogación, ejemplo de esto son las notas que aparecen dentro de los distintos campos, u obras clasificadas con el mismo número, pero divididas en varias partes.

Para elaborar la base de datos se tomaron las recomendaciones del *Modelo de Datos México*⁵, con la finalidad de que los registros sean incorporados a la plataforma digital de cada museo y posteriormente al *Repositorio Digital del Patrimonio Cultural de México: Mexicana*. Siguiendo dicho modelo, se enfatizó la normalización de los campos requeridos y recomendados.⁶

⁵ Modelo de datos desarrollado por la Secretaría de Cultura para la catalogación de los acervos patrimoniales de México.

⁶ Campos que de acuerdo al Modelos de Datos de México deben estar en las bases de datos que garantizan el mínimo de

Tabla 2. Campos principales y correspondencias

<i>Nombre del campo</i>	<i>Descripción</i>	<i>Correspondencia con el Modelo de Datos México</i>
Identificador	Incluye todos los identificadores de la pieza, estos son los números con los que se identifica a la obra dentro del catálogo del museo, del catálogo de sala y del catálogo de bodega.	Clase: Objeto cultural Propiedad: tiene identificador
Título de la obra	Nombre con el que se tituló o conoce a la obra.	Clase: Objeto cultural Propiedad: tiene título
Agente creador de la obra	Persona-individuo, artista-, grupo -maya mexica, chol, etcétera, o institución creadora del objeto.	Clase: Proceso de producción Propiedad: desarrollado por
Tipo	Campo que describe la tipología del objeto.	Clase: Objeto cultural Propiedad: tiene tipo de objeto
Técnica	Método o procedimiento por el cual se construye un objeto.	Clase: Usa técnica. Propiedad: especifica la técnica utilizada para producir un objeto cultural
Material	Elementos o conjuntos de elementos utilizados para la creación de un objeto.	Clase: Tiene tipo de material. Propiedad: vincula un proceso de modificación o producción con los materiales utilizados
Dimensión	En este campo se incluyen las medidas de la ficha en alto, largo, ancho, fondo, diámetro, espesor, etcétera.	Clase: Tiene dimensión Propiedad: permite definir las diferentes dimensiones medibles en una entidad definida en el modelo.
Data	Indica la fecha, rango (inicio fin) o período en el que fue creada la obra.	Clase: Proceso de producción Propiedad: tiene data
Curaduría/Colección	Selección de obras que conforman un grupo y poseen elementos comunes.	Clase: Forma parte de Propiedad: define la relación de pertenencia entre un objeto y sus partes componentes o entre una colección y los objetos que la componen.
Institución	Describe la ubicación física de obra y qué museo lo custodia.	Clase: Nombre de la institución. Propiedad: Nombre oficial de una institución determinada.
Objeto	Indica el tipo de objeto descrito en el registro.	Dependiendo de si es una imagen o un documento: Clase: Imagen Propiedad: identificador web, o Clase: Documento Propiedad: identificador Web
Derechos sobre el Bien de Interés Cultural	Descripción de la propiedad intelectual o patrimonial del bien cultural.	Clase: Derechos Propiedad: es titular de
Declaración de uso		Clase: Tiene licencia Propiedad: permite especificar los permisos de uso y/o explotación de un bien de interés cultural (físico o digital). Su valor puede ser una cadena de caracteres o la URL a un documento donde se especifique la licencia.
Otros campos complementarios (éstos dependen de cada uno de los museos), sin embargo, algunos de ellos tienen normalización	-----	-----

Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

Para llevar a cabo la normalización de la información se realizó una tabla maestra en SQL con las fichas y los datos estáticos que contienen los campos antes mencionados. Al interior de esta tabla se elaboraron varios catálogos que por medio del ID pueden ser consultados.

2.2 Desarrollo del sistema gestor de colecciones y modelado de datos

Existe una gran cantidad de sistemas para gestionar colecciones digitales y crear repositorios y portales para difundir el patrimonio cultural de archivos, museos y bibliotecas. Destacan Dspace, Eprints e Invenio en el ámbito de los repositorios institucionales, ICA-AtoM y Archon para fondos y colecciones de archivo, Fedora Commons y sus derivados (Islandora e Hydra), para repositorios que requieren un alto grado de exigencia y personalizaciones y un conjunto de aplicaciones centradas especialmente en la gestión de colecciones, entre las que se encuentran *Collective Access* y Omeka.

Los sistemas gestores de colecciones realizados para el proyecto *Museos de México* están desarrollados en *Collective Access*, sistema de gestión y difusión de colecciones para museos, archivos y bibliotecas, pero también utilizable por cualquier otro tipo de información.

Se eligió utilizar el sistema mencionado debido a sus características, entre las que se encuentran: Soporte para relaciones entre objetos, entidades, lugares, colecciones y vocabularios; esquema de metadatos configurable; interfaz de catalogación configurable; creación de lenguajes controlados; posibilidad de cargar perfiles predefinidos por otras entidades; motor de búsqueda configurable (búsqueda por palabra clave, búsquedas facetadas a partir de cualquier campo del sistema), puede utilizar el MySQL o se puede configurar el Apache Solr; configuración de herramientas administrativas orientadas a la gestión de colecciones; y recolección y exposición de metadatos mediante el protocolo OAI-PMH.

metadatos para describir una obra.

Definido el sistema, se desarrolló una estructura de base de datos relacional para el mejor funcionamiento y recuperación de la información, se generó un modelo básico con una tabla general de registros que contiene referencias hacia catálogos con valores únicos.

Con base en un análisis de los campos utilizados por el modelo de datos, se definieron los siguientes catálogos:

Data: Catálogo para estructurar la información referente al tiempo de origen de la pieza (Figura 1).

- **cat_data.** Contiene el catálogo de los diferentes tipos de orígenes respecto al tiempo: períodos, corrientes históricas etcétera.
- **data.** Concentra la información del tiempo y la relaciona con su respectivo descriptor y proporciona el identificador de la pieza a la que se refiere la información.

Dimensiones: Catálogo para estructurar y almacenar los datos referentes a dimensiones (Figura 2).

- **cat_unidades.** Contiene las diferentes unidades en las que pueden ser representadas las dimensiones de una obra.
- **cat_dimensiones.** Se conforma de los tipos de dimensiones como largo, ancho, diámetro, espesor, etcétera.
- **dimensiones.** Contiene el registro completo de los valores correspondientes a las dimensiones de cada pieza.

Otros: Para los casos de **hiperónimos, objetos, autor, derecho, institución, base y colección** se requirió un catálogo con la información de los diferentes casos relacionados a una obra (Figura 3).

Cabe destacar que una de las instrucciones de los proveedores de datos era no cambiar la información esencial de las bases, por lo que, al realizar el análisis para la construcción de catálogos, se encontró que varios de los campos contenían información duplicada, lo que dio como resultado que hubiese catálogos más grandes sin información normalizada. Sin embargo, en colaboración con expertos lingüistas se desarrolló un nuevo campo llamado Hiperónimo (Tabla 3), vocablo que puede emplearse para aludir

cat_data		data				
id	descripcion	id	id_pieza	id_data	valor	descripcion
1	Periodo	1	4320	1	Posclásico Tardío	Posclásico Tardío (1200-1521 d.C.)
2	Año	2	5019	2	1825	1825

Figura 1. Estructura de información para la descripción del tiempo
Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

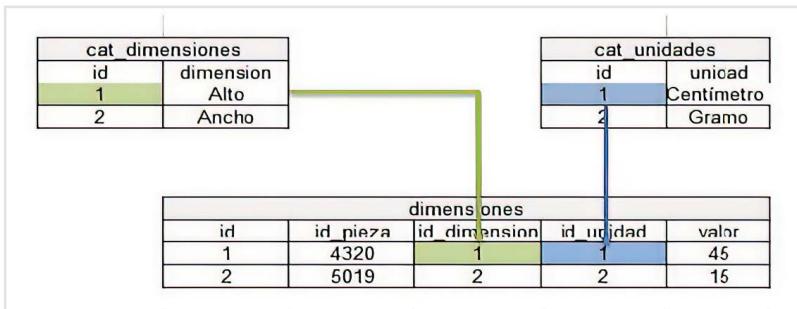


Figura 2. Estructura de información para la descripción de dimensiones
Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

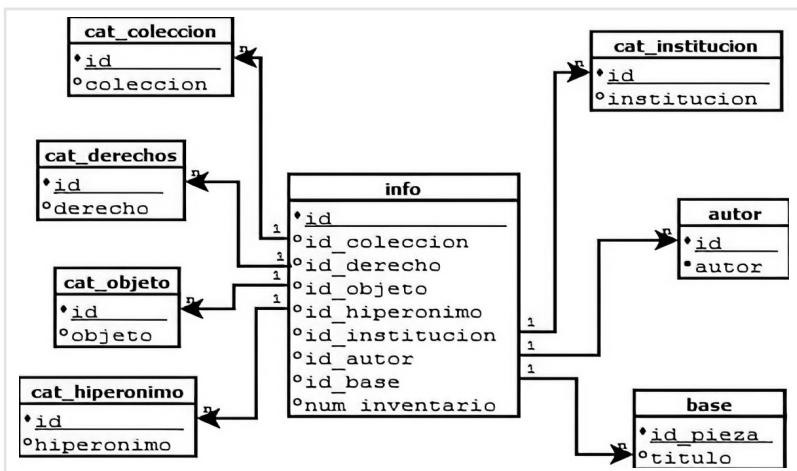


Figura 3. Estructura de información para hiperónimos, objetos, autor, derecho, institución, base y colección
 Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

a la realidad que nombra otro concepto más específico. Algunos ejemplos pueden verse en la Tabla 3.

Con el uso de estos análisis, se desarrolló la siguiente estructura de información, que responde a la necesidad de normalizar la información sin transformar datos esenciales. Cabe destacar que el sistema permite continuar ampliando los catálogos de manera continua (Figura 4).

2.3 Desarrollo de la interfaz gráfica y experiencia de usuario

Reconocemos que para expandir la experiencia de la visita al museo y reconocer la importancia de la materialidad de la obra es necesario desarrollar una experiencia de usuario cercana a los usuarios finales,

y el diseño debería de estar al nivel de importancia de los recintos culturales. Para el desarrollo gráfico del proyecto *Museos de México*, se destacó la relevancia de crear interfaces heterogéneas que respetaran la identidad, estilo y valores de cada museo (Figura 5).

De acuerdo a los valores de usabilidad del proyecto, se establecieron los siguientes objetivos para lograr una experiencia de usuario óptima:

1. Conociendo las fortalezas de la Web y reconociendo implícitamente sus límites, estos sistemas deberán aspirar a crear experiencias digitales que permitan a los usuarios finales aproximarse al objeto digital de la manera más cercana a lo que sería una experiencia física; por lo tanto,

Tabla 3. Ejemplos de hiperónimos

Término (información sin normalizar)	Hiperónimo (preferido)	Otros hiperónimos
Pintura (colección)	Pintura	obra pictórica, cuadro, cuadros
Obra textil	Textiles	arte textil, obra textil, telas
Instrumento de cocina	utensilio de cocina	
Instrumento de trabajo	Herramientas	herramientas agrícolas

Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

la premisa es exponer objetos digitales en alta resolución para su mejor visualización.

2. Proporcionar al usuario contenido en línea de calidad, que permita a los museos convertirse en importantes difusores digitales de información para investigación, educación y difusión.
 3. Ingesta de contenido y objetos digitales de alta calidad bajo un esquema de derechos abiertos, que permita difundir el patrimonio en diversas comunidades, siempre que no se violen los derechos de propiedad intelectual.

- Oferir una experiencia 100% adaptable a los dispositivos móviles. Los valores centrales de responsividad son primordiales para este tipo de dispositivos que en México representa un 80% de las visitas a los sitios web.
 - Generar analíticas e indicadores que permitan a los museos enfocar los intereses de los usuarios para una mejor toma de decisiones.

Comenzamos el proyecto con una fase de comprensión y definición (Tabla 4) con cada una de las áreas

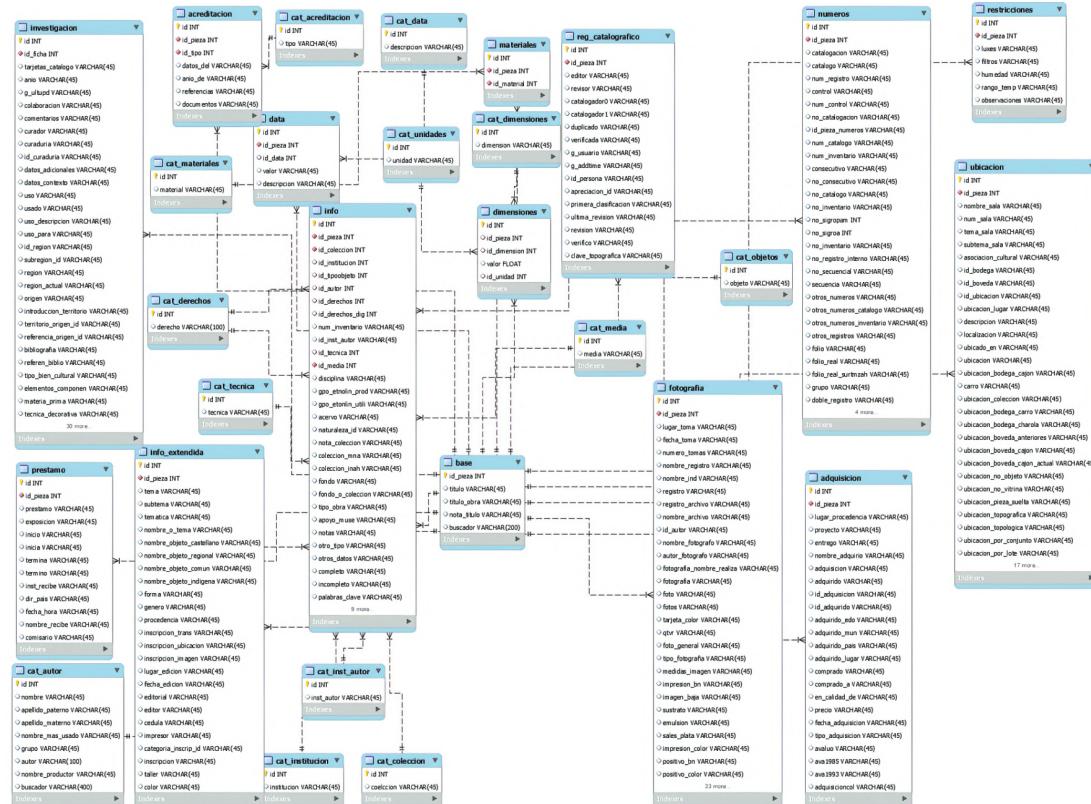


Figura 4. Estructura de información con instancias
Fuente: Investigación del proyecto Museos de México.

de los museos. Una de las fases primordiales era vincular las necesidades de las áreas de investigación con las de difusión y/o promoción, que en muchas formas trabajan de manera independiente, esto permitiría tener un censo entre las necesidades, intereses y funcionalidades. Con relación a esto, se realizó un análisis de las secciones y funcionalidades que no deberían de tener un espacio en el sitio web, ya que no forman parte de los proyectos o programas del museo.

El eje rector del desarrollo de la navegación para usuarios finales, como para los administradores, se basó en desarrollar el mapa de navegación y del levantamiento de requerimientos. Cada una de las secciones están concebidas para llevar al usuario final a conocer la colección, ya sea a través de la sección colección o por los menús, *banners*, *footers* o actividades; en el caso de los usuarios administradores la vinculación de todos los catálogos y bases

de datos es a través del ID único y por la ficha básica, lo que constata la importancia de girar la experiencia de usuario y la administración en las obras.

Como ya se mencionó, uno de los objetivos principales de estos nuevos sitios, es ampliar y enriquecer la experiencia de los usuarios previamente a su visita al museo, durante la visita y posteriormente a la misma, ofreciendo una plataforma web sencilla, ágil e intuitiva, que permita atraer nuevos públicos, acercarlos a las obras y ofrecer el amplio panorama de actividades paralelas a las exposiciones permanentes y temporales (Figura 6).

Debido a los restrictivos esquemas legales, muchas de las obras no pudieron ser mostradas en la Web, sin embargo, sí se encuentran disponibles para los usuarios administradores. Para realmente cambiar el paradigma de cómo se deben visualizar las obras del patrimonio mexicano, fue necesario sensibilizar a las instituciones de la importancia de

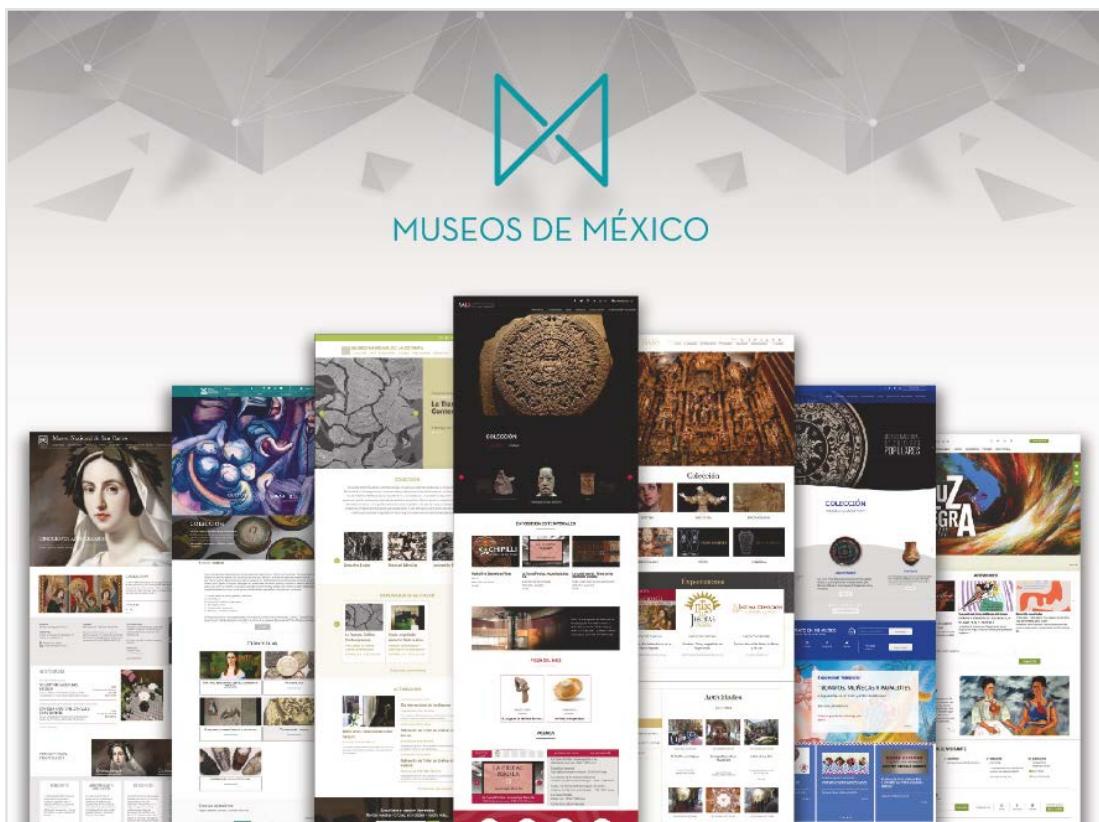


Figura 5. Estructura de información con instancias
Fuente: Investigación del proyecto Museos de México



Figura 6. Interacción de los repositorios de Museos de México
Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

Tabla 4. Interfaz gráfica de los repositorios de Museos de México

Áreas	Factible	Segunda etapa	Descartado
Difusión y Divulgación	Creación de un CMS amigable para ser usado por personal sin conocimientos técnicos. Generación de calendarios para actividades y exposiciones.	Creación de nuevas secciones que necesiten maquetaciones diferentes.	Automatizar procesos de autorización. Cambiar los sistemas de búsquedas y facetadores.
Investigación	Creación de un sistema de control de acervos. Vinculación de las fichas básicas de registro con otras áreas. Generar procesos de validación entre los usuarios administradores.	Generación de listados de obra. Llenado automatizado de formatos en word.	Bitácora de consultas.
Conservación	Generación de una base de datos con el material digitalizado en alta resolución y metadatos especializados. Consulta de datos básicos para otras áreas.	Incrementar valores en los catálogos. Llenado automatizado de formatos en word.	Agregar nuevos catálogos.
Digitalización	Generación de una base de datos consultable con el material digitalizado en alta resolución y metadatos especializados. Consulta de datos básicos para otras áreas.	Vinculación de los objetos digitales de los servidores locales.	
Movimiento de colecciones	Sistema de control de exposiciones y piezas en viaje. Generación de un catálogo de seguridad. Control de obras por agenda para préstamos en comodato.		

Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

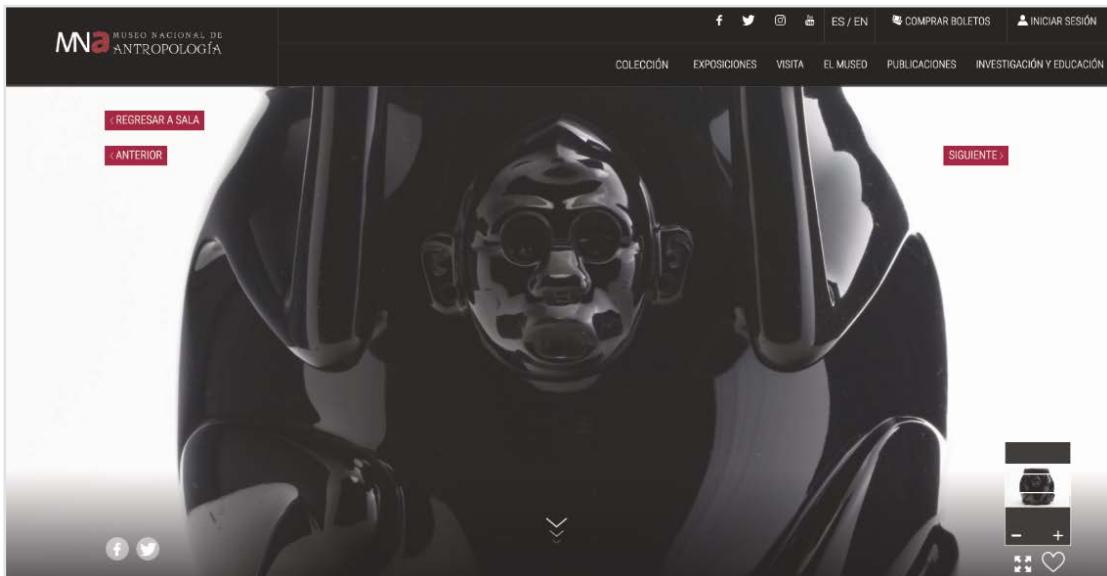


Figura 7. Interacción de los repositorios de Museos de México
Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

exhibir imágenes en alta resolución y de que el acceso gratuito al patrimonio cultural, aun a través de medios digitales, es un derecho de todos los ciudadanos (Figura 7).

Algunas de las funcionalidades relevantes en la interfaz gráfica final son: 1) creación de sesiones de usuario que permitiera guardar los objetos favoritos y compartirlos en redes sociales; 2) visualización de objetos digitales en alta calidad, con la finalidad de ampliar la experiencia de la obra, en algunos casos, incluso mejor que en las salas de los museos; 3) creación de secciones dinámicas como calendarización de eventos, histórico de las exposiciones pasadas, presentes y futuras, glosarios de términos, descarga de publicaciones y aplicativos educativos; 4) generación de buscadores por palabra y facetadores de búsqueda, 5) y visualización de obras que no se encuentran entre los acervos expuestos, o son piezas que están en préstamo en otros recintos (Figura 8).

Finalmente, se creó una interfaz gráfica intermedia para que fuera la puerta de entrada a las páginas que integran el proyecto, y que pudiera aportar un panorama general sobre *Museos de México* y en una segunda etapa vincular la documentación técnica y conceptual para ampliar el uso del desarrollo realizado (Figura 9).

2.4 Puesta en marcha

En mayo de 2018, se lanzó el proyecto *Museos de México* de forma pública, el recibimiento dentro de la comunidad académica y cultural fue positivo, pero una de las demostraciones más importantes del impacto de los sitios web es que, con sólo un mes en línea se han incrementado del 100 al 200% las visitas de usuarios virtuales. Las gráficas de la Figura 10 muestran los resultados de la medición de datos a partir del lanzamiento, es notorio el incremento de usuarios, particularmente en el Museo Nacional de Antropología, Culturas Populares y Virreinato, sin embargo debido a los cierres de los museos resultado de la pandemia por COVID-19, los usuarios han disminuido notoriamente, lo que refleja que los museos deben implementar estrategias para activar sus espacios virtuales mediante una estrategia continua, sostenida por contenidos.

Otro hallazgo relevante posterior a la puesta en marcha, es el resultado de uso de repositorios digitales de código abierto. *Collective Access* es una herramienta poderosa, pero con muy escasa documentación, lo que dificulta su implementación y mantenimiento. Para instituciones pequeñas y sin personal técnico especializado, no se recomienda su uso.

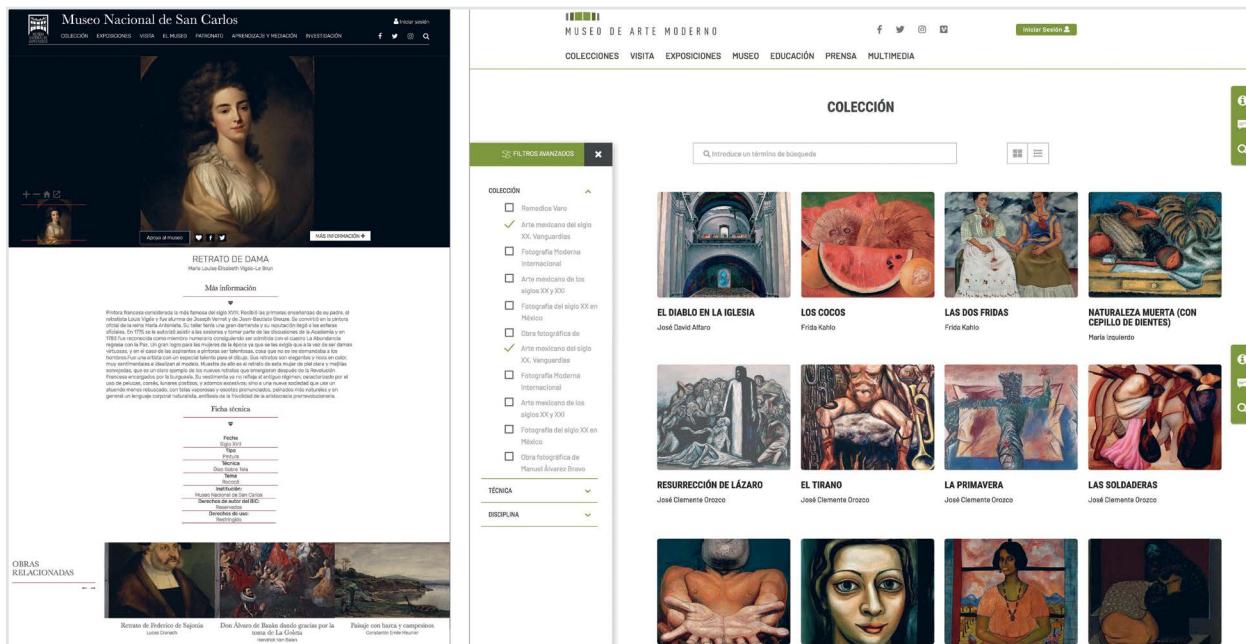


Figura 8. Detalle de las colecciones digitales del Museo Nacional de San Carlos y Museo de Arte Moderno

Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

3. PROSPECCIONES Y CONCLUSIONES

Conscientes de que reestructurar las colecciones digitales de los museos es una tarea de largo alcance y conociendo que los museos incluidos en esta fase del proyecto en su conjunto cuentan con más de 230,000 objetos patrimoniales, el proyecto de *Museos de México* contempla la integración de la totalidad del acervo museístico en 5 años, tomando en cuenta que aún restan por digitalizar y normalizar alrededor de 190,000 objetos. El proyecto actual incluye más de 100,000 registros y alrededor de 18,000 objetos digitales, como primer esfuerzo para incentivar la creación de proyectos digitales con objetos del patrimonio cultural, abiertos para el uso educativo y académico.

Para la continuidad del proyecto se propuso:

- Generar un programa nacional de digitalización permanente de acervos patrimoniales, que permita acrecentar los materiales digitales, comenzando con los objetos en mal estado de conservación, los relevantes para la institución y los libres de derechos autorales (con la finalidad de escalar las colecciones libres de derechos de uso).

- Generar un programa de capacitación para el personal que labora en los museos y que está encargado del registro de obra, e incentivar la estandarización de los metadatos usados.
- Estimular la creación de nuevos perfiles profesionales en museos, necesarios para la sustentabilidad técnica de los sistemas gestores. Cabe destacar que el proyecto es replicable en otros museos, siempre que se cuente con el personal capacitado para llevar a cabo las acciones de implementación.
- Concientizar a la institución sobre la importancia de la inversión financiera permanente en la preservación digital.

Constituir museos más abiertos y accesibles, en los que el usuario pueda tener acceso a todo el conocimiento generado por la institución, debe ser prioridad para las instituciones mexicanas. *Museos de México* abre el camino para nuevas perspectivas y oportunidades en este campo, bajos las mejores prácticas internacionales y con la posibilidad de hacerlo extensivo en todo el territorio nacional.



Figura 9. Punto de acceso web de la plataforma de Museos de México
Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

A través de *Museos de México*, los recintos mexicanos incrementarán la posibilidad de acceso a públicos tanto nacionales como internacionales, mediante la digitalización y oferta pública de sus colecciones a través de la Web. Esta universalización del acceso permitirá, además, complementar la visita física.

Una de las virtudes y beneficios que de manera colateral ha arrojado el proyecto, más allá de los ya descritos ampliamente en estas líneas, es la comunicación que los sistemas permitieron entre áreas de los museos no necesariamente vinculadas. Preservación con difusión o curaduría con registro, por ejemplo. Proveer un espacio común de convergencia puede permitir, a la larga, una mayor integración y optimización de las colecciones, y una gobernanza más horizontal en torno a las mismas.

Dicho lo anterior, es necesario tener en cuenta que las limitaciones presupuestales agudas en las que trabajan los museos en México, en especial los públicos, hacen muy difícil establecer procesos a largo plazo y generar las plazas de trabajo mínimas para poder darle continuidad a estos proyectos. Al mismo tiempo, proyectos como los descritos aquí normalmente dependen de la voluntad política de algunos actores, y en escasas ocasiones logran trascender los seis años que duran los gobiernos en México.

BIBLIOGRAFÍA

- Bertacchini, E., y Morando, F. (2013). The future of museums in the digital age: new models of access and use of digital collections. *International Journal of Arts Management*, 15(2): 60-72.
- Cashmore, P. (2012). Why 2013 is the year of responsive web design. Artículo publicado en línea el 11 de diciembre de 2012. Disponible en <https://mashable.com/2012/12/11/responsive-web-design/>
- Clough, G. W. (2013) *Best of both worlds: Museums, libraries, and archives in a Digital Age*. Washington. DC: Smithsonian Institution.
- Gorgels, P. (2013). Rijksstudio: Make Your Own Masterpiece! En *Museums and the Web 2013*, N. Proctor y R. Cherry (eds.). Silver Spring, MD: Museums and the Web. Publicado el 28 de enero de 2013. Disponible en: <http://mw2013.museumsandtheweb.com/paper/rijksstudio-make-your-own-masterpiece/>
- John Stack (2013) "Tate Digital Strategy 2013–15: Digital as a Dimension of Everything", *Tate Papers*, no.19. Disponible en: <http://www.tate.org.uk/research/publications/tate-papers/19/tate-digital-strategy-2013-15-digital-as-a-dimension-of-everything>
- Pantoja, Javier (2016). "The new Prado Museum website: A (semantic) challenge." MW2016: Museums and the Web 2016. Publicado el 28 de junio de 2016. Disponible en: <http://mw2016.museumsandtheweb.com/paper/the-new-prado-museum-website-a-semantic-challenge/>
- ICOM/CIDOC Documentation Standards Group. "CIDOC Conceptual Reference Model". Version 6.2.3, 2018. Disponible en: <http://www.cidoc-crm.org/Version/version-6.2.3-0>



Figura 10. Medición de datos a partir del lanzamiento de Museos de México
Fuente: Investigación del proyecto Museos de México

Difusión del patrimonio cultural en la era digital: experiencias en la aplicación de las tecnologías de información para difundir el patrimonio material e inmaterial de México

Maurits Omar Montañez Vázquez

MANUVO Y THE NEW SCHOOL - PARSONS SCHOOL OF DESIGN

Resumen: El artículo examina tres proyectos culturales que usan tecnologías de la información para la preservación y la difusión de la poesía, los documentos históricos y las lenguas indígenas. A través de estas experiencias, se plantean aprendizajes específicos que pueden ser de utilidad en otros esfuerzos para difundir el patrimonio cultural.

Palabras clave: difusión del patrimonio cultural; contenido digital; aplicaciones móviles; documentos históricos; lenguas indígenas; tecnologías exponenciales

Abstract: This article examines three cultural projects that use information technologies for the preservation and dissemination of poetry, historical documents and indigenous languages. Through these experiences, specific takeaways are proposed that can be useful in other efforts to disseminate a nation's cultural heritage.

Keywords: dissemination of cultural heritage; digital content; mobile applications; historical documents; indigenous languages; exponential technologies

1. INTRODUCCIÓN

Desde la poesía hasta la literatura infantil, pasando por los objetos y la tradición oral, la difusión del patrimonio cultural está en los inicios de una revolución digital gracias a una transformación fundamental de las tecnologías de información y comunicación, como son los dispositivos móviles, las pantallas táctiles, la transmisión de video por Internet (i.e. streaming), la ludificación y la narrativa interactiva, que no solo permiten encontrar nuevas formas de distribuir masivamente los contenidos culturales a audiencias más numerosas, sino que también permiten a organizaciones públicas y privadas encontrar nuevas formas de crear, distribuir y capturar el valor cultural, contar historias y valorar las artes, así como preservar, enriquecer y difundir la cultura en todas sus expresiones.

Este artículo explora algunos proyectos en los que, desde la empresa Manuvo (manuvo.com), he tenido el privilegio de colaborar de la mano de innovadoras instituciones culturales que buscan aprovechar novedosos enfoques, métodos y técnicas dentro de las tecnologías de la información para documentar y difundir el patrimonio cultural de México. En las páginas que siguen, propongo algunos aprendizajes específicos que se pueden extraer de estas experiencias para su futura aplicación, adaptación o reproducción en otros contextos. Los proyectos que se abordan son: Blanco de Octavio Paz (Consejo Nacional para la Cultura y las Artes, México 2011), Códice Mendoza (Instituto Nacional de Antropología e Historia, México 2015), Vamos a aprender Mixteco, Purépecha y Náhuatl (Centro Cultural de España, México 2014), así como nuestro proyecto Kernaia (Manuvo, México 2018).

El artículo concluye con algunas reflexiones sobre las lecciones aprendidas y el futuro de la difusión del patrimonio cultural.

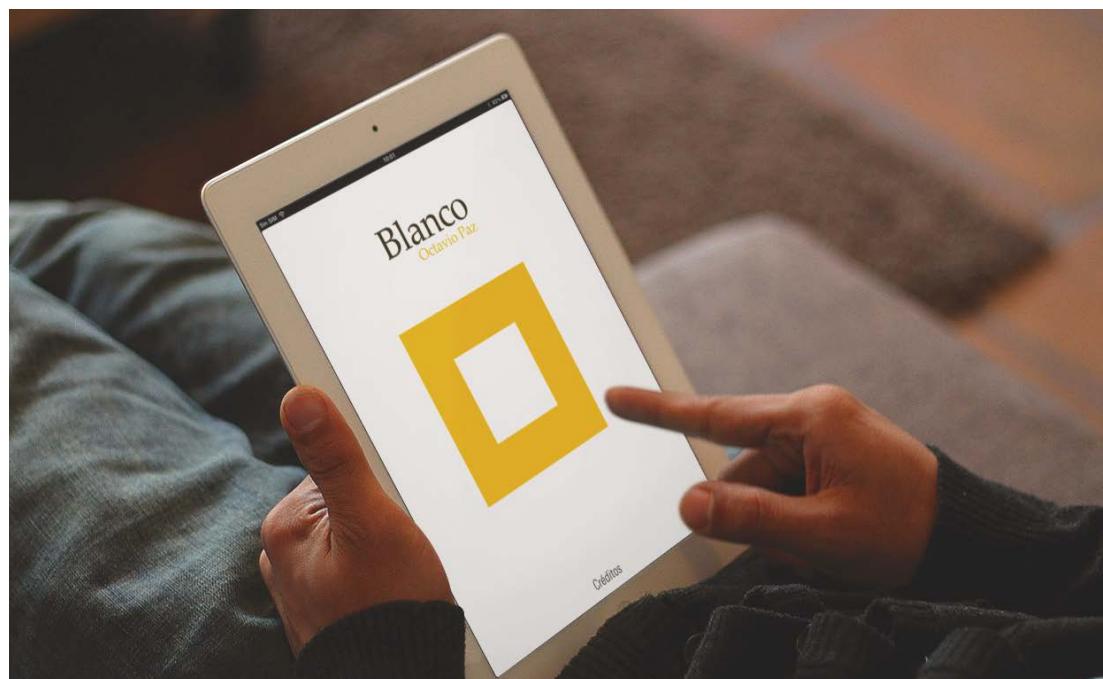
2. POEMA BLANCO DE OCTAVIO PAZ

En 2011, como parte del Proyecto Cultural del Siglo XXI Mexicano, el Consejo Nacional para la Cultura y las Artes de México (antes CONACULTA y ahora Secretaría de Cultura) presentó una serie de proyectos de digitalización del acervo literario mexicano para acercar este patrimonio a las nuevas generaciones, especialmente a los poetas y bibliófilos más importantes del país. Además, la iniciativa buscó crear versiones electrónicas de los documentos en soporte de papel, las imágenes y los sonidos para evitar que desaparecieran, y como un objetivo muy relevante, facilitar su acceso al público de hoy. El primero de estos proyectos fue la digitalización del poema Blanco de Octavio Paz.

Blanco es uno de los poemas más ambiciosos en su concepción; en esta obra Octavio Paz experimentó con diversos conceptos tanto gráficos como tipográficos con la ayuda del artista plástico Vicente Rojo. Escrito en 1966, después de la estancia de Octavio Paz en la India, el poema Blanco es un libro

objeto que tiene varias secciones, ofrece diversas formas de lectura y requirió, en su primera edición impresa, de una hechura en forma de acordeón de tipo japonés. La historia de este poema está relacionada con las posibilidades que da la tecnología. Octavio Paz siempre lo concibió como una obra visual y auditiva que mientras fuera leída se acompañara con sensaciones visuales. La concepción original de este poeta Nobel fue crear: "una sucesión de signos sobre una página única; a medida que avanza la lectura, la página se desdobra: un espacio que en su movimiento deja aparecer el texto y que en cierto modo, lo produce" (Paz, 1969). Así, este poema representó la oportunidad perfecta para realizar la primera incursión tecnológica de un poema en idioma español con el propósito explícito de interactividad.

El proyecto de conceptualización, diseño, desarrollo tecnológico y selección de contenido se realizó en colaboración con Manuvo durante siete meses. Durante ese tiempo, debieron definirse la plataforma tecnológica a utilizar, los dispositivos para los que estaría disponible, los contenidos y su organización, el diseño de la experiencia de usuario, la experiencia de navegación y lectura, el diseño gráfico, la defini-



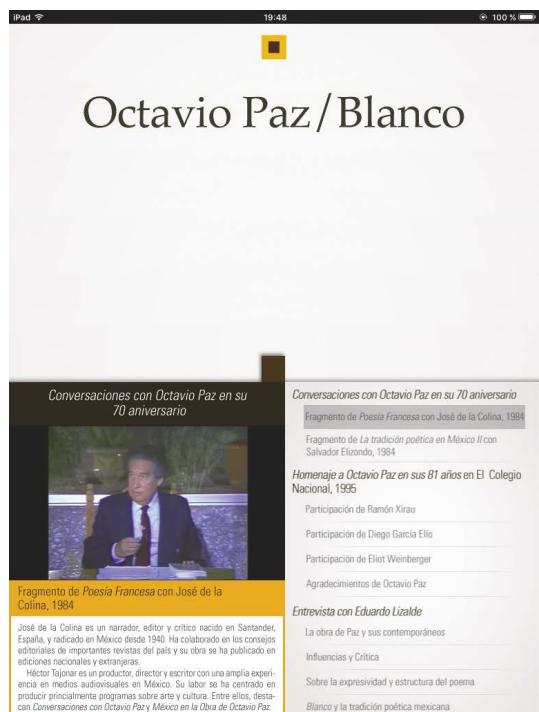
ción de las interacciones y funcionalidades que se propondrían al usuario, así como la estrategia para distribuir y difundir el producto resultante.

Teniendo en cuenta la audiencia objetivo, las posibilidades tecnológicas, la comodidad de lectura, la familiaridad de uso y la conveniencia de acceso, se decidió desarrollar una aplicación móvil para tabletas iPad, aunque después vendrían versiones disponibles para Android y Web. De esta manera, fue posible aprovechar distintas tecnologías como la pantalla multi-táctil, la reproducción *streaming* de audio y video, galerías de imágenes, la animación digital, las bases de datos y la conexión a Internet, para crear una experiencia de lectura sin precedentes.

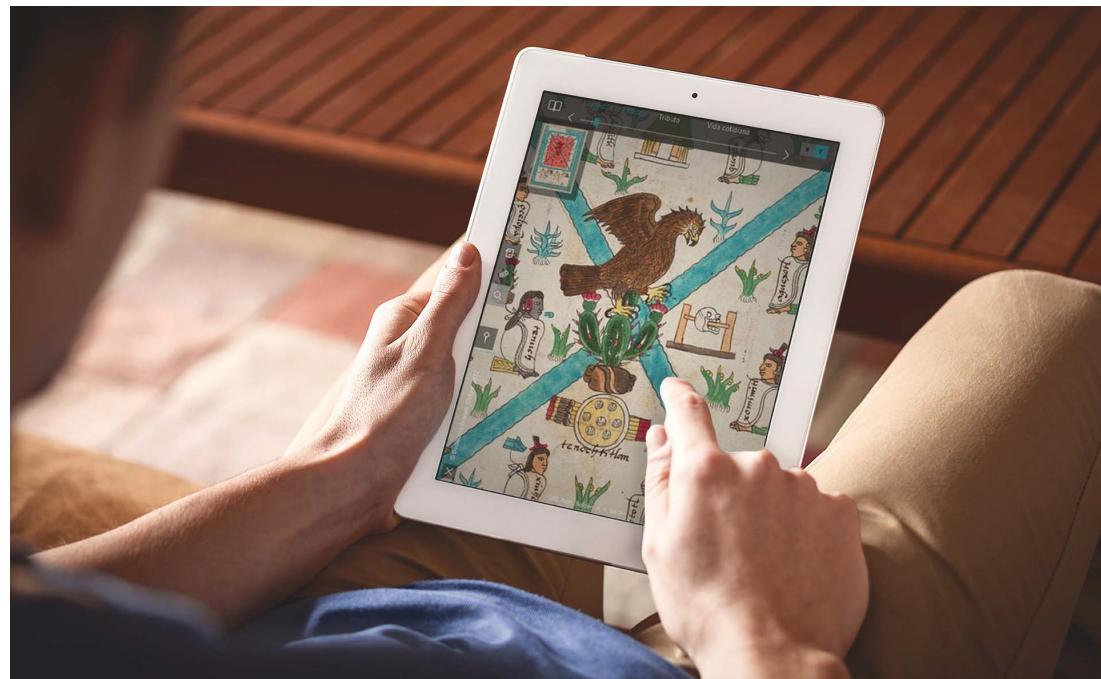
Esta edición digital cuenta con tres lecturas del poema en las voces de Octavio Paz, Eduardo Lizalde y Guillermo Sheridan. Se propone la lectura del texto con audio sincronizado para ofrecer a los lectores una suerte de experiencia karaoke que permite seguir y disfrutar la poesía en voz alta. También ofrece la posibilidad de cuatro distintas formas de lectura indicadas en la aplicación: "la versión completa", "el poema erótico", "el contrapunto", "el tránsito de la palabra" y muchas variantes que el

propio lector podrá descubrir. Además, en una propuesta de navegación estilo museográfico, la aplicación incluye:

- El concepto audiovisual que el propio Octavio Paz concibió para su poema.
- La *Biblioteca Blanco*, donde se encuentran los *Discos Visuales y Topoemas*, obras creadas por Octavio Paz y Vicente Rojo, contemporáneas a la intención estética de *Blanco*; *Un golpe de dados jamás abolirá el azar*, de Stéphane Mallarmé, poema en el cual Octavio Paz se inspiró para la creación de *Blanco*, y varios ensayos del Nobel sobre el tantrismo y la experiencia poética.
- El facsímil de *Illuminations* del pintor abstracto norteamericano, Adja Yunkers; un fragmento de la sinfonía inédita escrita por el compositor norteamericano Richard Cornell, así como las traducciones del poema al inglés y al portugués a cargo de Eliot Weinberger y Haroldo de Campos, respectivamente. Además, se cuenta con la representación audiovisual creada por el artista multidisciplinario Frederic Amat.
- Comentarios en video de especialistas como Eduardo Lizalde y Adolfo Castañón, así como fragmentos del homenaje por los 81 años del poeta Octavio Paz realizado en El Colegio Nacional con la participación de Ramón Xirau, Eliot Weinberger y Diego García Elío.
- En la sección "Estudios" se encuentran importantes reflexiones y perspectivas para ampliar la comprensión del poema a cargo de Enrico Mario Santí, Eliot Weinberger y Haroldo De Campos.
- En "Facsímiles" el usuario puede ver las correcciones que hizo el propio Paz al crear el poema.



Este matrimonio entre cultura, arte y tecnología creó a la vez un producto atractivo y fácil de usar. Tras su publicación y lanzamiento, la respuesta del público, la prensa y los críticos fue notable. En tan solo unos días, Blanco logró más de 100,000 descargas, alcanzando el lugar número uno de descargas en la tienda de aplicación de Apple, superando incluso a las aplicaciones de redes sociales y juego móviles más



populares. Permaneció en ese puesto siete meses consecutivos (Manuovo, 2018). Además de los diversos artículos escritos por la prensa nacional, Blanco también captó la atención de la prensa internacional. La revista holandesa *The Next Web* galardonó a Blanco con el premio al Mejor Diseño de 2012, y afirmaron que “Blanco no sólo nos da una idea sobre el futuro del contenido editorial, sino que nos demuestra que México tiene talento cuando se trata de crear aplicaciones hermosas” (Heim, 2011).

El rotundo éxito de Blanco no solo inauguró un nuevo género de narración interactiva, sino que abrió una importante vía para una mayor innovación en la industria cultural de todo América Latina, demostrando que una nueva manera de difundir el patrimonio cultural era factible. Y con ello, la emocionante oportunidad de dar el siguiente paso en la labor de enriquecer la vida de las personas a través la cultura.

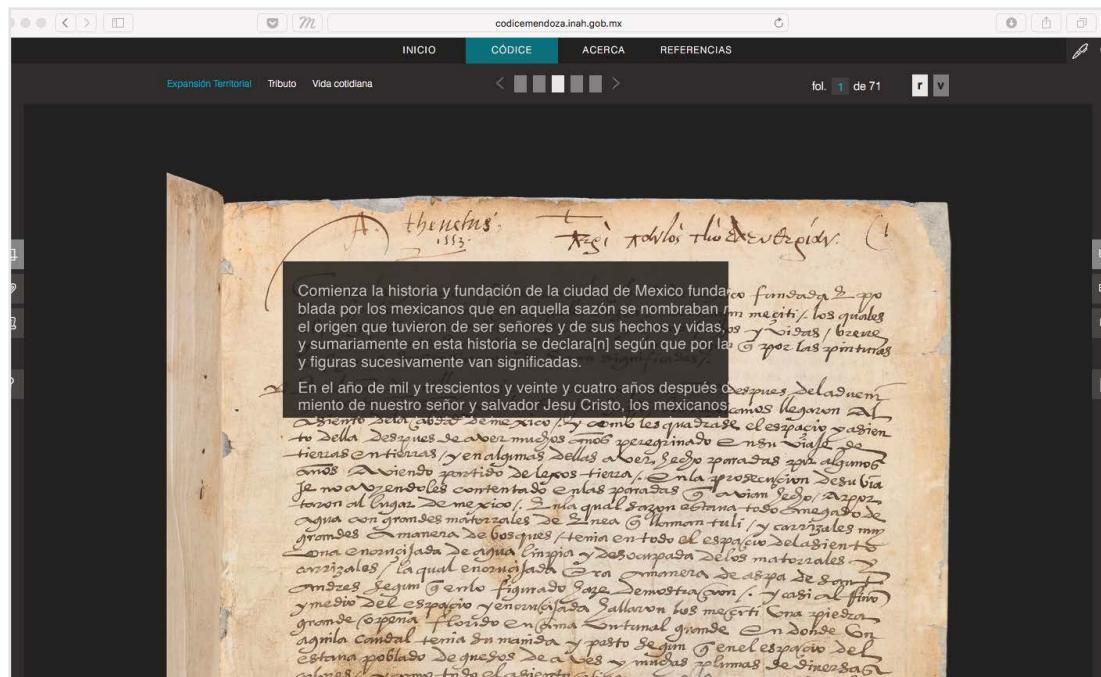
3. CÓDICE MENDOZA

El Códice Mendoza es el documento más relevante e icónico que describe el imperio Mexica controlado por el huey tlatoani Moctezuma Xocoyotzin en vísporas del arribo de los españoles. El momento preciso de la creación del Códice Mendoza está

abierto a debate, pero una hipótesis viable propone que fue producido entre 1541 y 1542 por órdenes del virrey Antonio de Mendoza para obtener un panorama económico, político y social de la tierra recién conquistada. Es considerado una de las fuentes primordiales para el estudio del México prehispánico y se puede decir que el estudio de la estructura del imperio es sólo posible gracias a la existencia de este códice y sus documentos asociados.

Tras la creación del Códice Mendoza, la flota española zarpó de Veracruz a Cuba, y de Cuba a España. Pero fue atacada por corsarios franceses, y en lugar de llegar a España, el Códice Mendoza llegó a Francia. Ahí formó parte de la colección del cosmógrafo del rey Enrique II. Pero en 1587 fue comprado por el embajador de Inglaterra. Fue entonces cuando pasó por diferentes manos, hasta que en 1664 llegó como donación a la biblioteca Bodleiana de la Universidad de Oxford, en donde aún permanece alojado.

En 2014 el Instituto Nacional de Antropología e Historia de México (INAH), a través de su dirección de innovación académica, se planteó el enorme reto de repatriar digitalmente este documento y acercarlo al público para permitir su estudio y apreciación a distancia de la riqueza, color e invaluable información que nos proporciona el Códice Mendoza.



En colaboración con la Biblioteca Bodleiana de Oxford, el King's College de Londres y Manuvo, bajo la curaduría de Frances Berdan y Baltazar Brito, el INAH buscó la mejor manera de abordar la necesidad de encontrar nuevas formas de representación para sistemas tan complejos de conocimientos que, por un lado, permitieran el estudio profundo del documento por parte de investigadores especializados, como historiadores, paleógrafos, filósofos, etnógrafos y antropólogos, quienes seguramente podrán encontrar en la edición digital del Códice Mendoza una potente herramienta de investigación; y por el otro, un producto de divulgación del patrimonio cultural de los mexicanos que le resultara atractivo y fácil de usar al público en general.

Con estos objetivos en mente, se decidió realizar dos ediciones, una disponible para tabletas que estaría dirigida a los usuarios no especializados, y otra disponible para navegadores web que estaría dirigida a los expertos y académicos estudiosos de este documento, en la que tendrían la posibilidad de explorar a mayor profundidad el códice, sus documentos y estudios anexos, así como colaborar en tiempo real con investigadores de otras partes del mundo compartiendo notas, apuntes y comentarios sobre el documento. Es decir, se buscó aprovechar

las mejores cualidades de cada dispositivo: el uso intuitivo, la movilidad y conveniencia de descarga de un lado, y la potencia de un entorno de trabajo y colaboración más robusto y más cómodo para el usuario, por el otro.

Dentro de ambas versiones se presentan a detalle los 72 folios ilustrados y anotados en náhuatl y los 63 folios correspondientes con la glosa en español. La navegación se organizó en las mismas tres secciones en las que se divide el códice: la expansión territorial del imperio Mexica, la matrícula de tributos y la crónica de la vida cotidiana en esos momentos. En su interior se presentan las portadas exteriores e interiores, folios añadidos, firmas, sellos, anotaciones, marcas y cualquier detalle que nos permita la experiencia de hojear digitalmente el documento.

A nivel funcional, la aplicación propone diversas innovaciones, entre ellas: la posibilidad de explorar in situ la transcripción del documento en las versiones normalizada, diplomática y en inglés, así como la exploración en detalle de anotaciones realizadas; una sección de Hypermedia que vincula información y material multimedia directamente a los elementos que lo integran y así conocer más acerca cada folio, sus pictogramas y notas relacionadas; una sección de "Materialidad" que permite estudiar a detalle las



características físicas del Códice Mendoza por medio de un potente zoom a cada una de las partes de los folios completos, acercándose de forma íntima al documento; y una sección "Mapas y Calendario" que permite posicionar geográficamente la línea de tiempo de la expansión territorial y el tributo.

En su conjunto, esta edición permite que el lector se acerque de manera más completa al contenido del Códice Mendoza. Asimismo, siendo los códices sistemas de conocimiento que funcionaban en diferentes niveles de comunicación, resulta casi natural echar mano de elementos interactivos y multimedia para representarlos.

Tras su publicación en 2015, la edición digital del Códice Mendoza obtuvo distintos elogios y reconocimientos a nivel nacional e internacional. Entre los que destacan el premio al Mejor Uso de las Humanidades Digitales para el Involucramiento de la Audiencia por los prestigiosos *Digital Humanities Awards*, así como la publicación de una nota destacada por parte del *New York Times*. Pero resulta aún más importante que la investigación, realización y elaboración de este proyecto amplía las ventanas de exposición del patrimonio cultural de los mexicanos, y lo acerca a las aulas, bibliotecas, centros de investigación y hogares de todo el país y del extranjero.

Este valioso ejemplo de colaboración multidisciplinaria logró unir la ciencia, la tecnología y las humanidades para construir la vanguardia de la recuperación y la difusión del pasado.

4. KERNAIA: COLECCIÓN DE APLICACIONES MÓVILES PARA PRESERVAR Y DIFUNDIR LAS LENGUAS ORIGINARIAS

México es una nación multilingüe: además del español, el Instituto Nacional de Lenguas Indígenas de México estima que se hablan 68 lenguas indígenas. Sus valores, tradiciones, costumbres, conocimientos, gastronomía, oralidad y todas sus expresiones artísticas y culturales, constituyen una parte fundamental del patrimonio intangible de México.

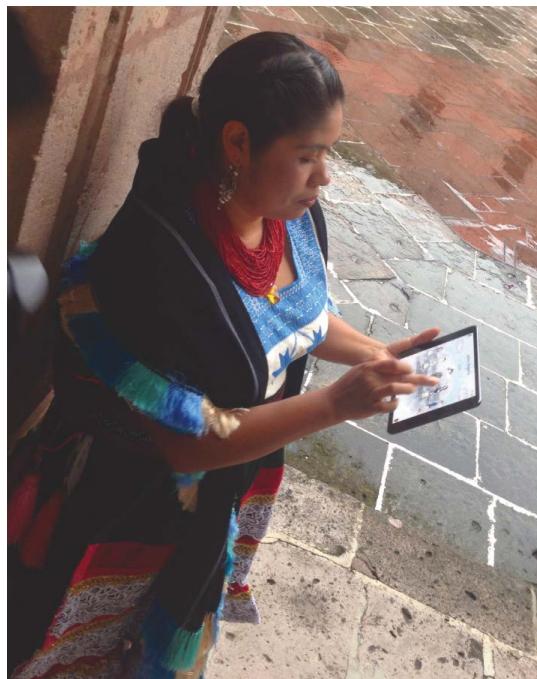
Acercarse a estas lenguas es una oportunidad de conocer una sociedad e historia diferentes, formas distintas de pensar, de trabajar, de celebrar, de creer. En los últimos años se ha avanzado en romper con la idea de que las lenguas originarias deben guardarse para los museos, porque ellas, al igual que las personas que las hablan, se han transformado y se constituyen en una parte viva del mundo actual.

En ese sentido, el Centro Cultural de España en México (CCEMx), a través de su Laboratorio de Ciudadanía Digital, tuvo la iniciativa de desarrollar la

primera aplicación móvil para preservar, difundir y enseñar la lengua mixteca. En particular la variante del mixteco que se habla en la región de Santa Inés de Zaragoza, en el estado de Oaxaca. La cultura mixteca es una de las más antiguas de Mesoamérica; hoy en día, los mixteco-parlantes constituyen la cuarta comunidad lingüística en México. Por la migración de estas comunidades se habla prácticamente en todo el país, y en la diáspora en Estados Unidos.

El precursor del proyecto fue el profesor Donato García, proveniente de Nochixtlán, Oaxaca, quien desarrolló una metodología para la enseñanza de la lengua mixteca. El proyecto digital *Vamos a aprender Mixteco* nace de la relación entre el CCEMx con Donato García en donde, fortaleciendo el proceso que se había iniciado, se acordó dar mayor difusión a esta metodología desarrollando una aplicación móvil. A este proyecto se suma Manuovo, y en 2014 se iniciaron las labores de conceptualización, diseño y producción. La tesis era la siguiente: al tratarse de un pueblo migrante, y teniendo en cuenta sobre todo las nuevas generaciones, se debía crear una aplicación que pudiera descargarse desde un teléfono celular y así garantizar el acceso en el lugar donde estuvieran.

La aplicación plantea un recorrido por la vida del pueblo mixteco en un viaje en el que las palabras adquieren sentido junto a las actividades cotidianas y al espacio en el que se realizan: la familia, la comunidad, la cocina, el campo, la fiesta y otros elementos que forman parte del quehacer diario de personas que representan la identidad de un pueblo y enriquecen nuestra diversidad cultural. Haciendo uso de una mecánica de juego, en un proceso de ludificación del contenido, así como de diversos recursos multimedia como lo son las animaciones, la música, la narración en voz alta, transiciones e interacciones multi-táctil, se proponen diez lecciones, entre las que destacan los números, las frases para saludar más comunes y diversas palabras cotidianas. La idea es que, al tiempo que se conocen la cotidianidad, los paisajes y las costumbres, el usuario adquiera un conocimiento básico del uso de la lengua. Preservación, difusión y aprendizaje del patrimonio cultural en una misma experiencia.



La respuesta de los usuarios fue increíble. La cantidad de descargas rebasó por completo todas las expectativas. Con 30 mil descargas (Manuovo, 2018), *Vamos a aprender Mixteco* se posicionó en tan solo dos días como una de las aplicaciones educativas más destacadas en las tiendas de aplicaciones de Apple y Google. Esto despertó mucho el interés de instituciones públicas que buscaban vincular y realizar proyectos de inclusión digital; y por el otro, también de personas dedicadas a fortalecer el uso de las lenguas indígenas. Eso fue lo más significativo.

A este piloto le siguieron las aplicaciones *Vamos a aprender Purépecha* y *Vamos a aprender Náhuatl*, proyectos a los que se sumó el Instituto Nacional de Lenguas Indígenas de México (INALI). Colectivamente, el proyecto de aplicaciones en lenguas indígenas del CCEMx ha rebasado las 100,000 descargas (Manuovo, 2018).

Esta nueva realidad resulta contra-intuitiva. La creencia general es que las comunidades indígenas son personas que viven al margen de las tecnologías de información. Y sin embargo, existe un mercado de más de 20 millones de personas en América Latina que hablan una lengua originaria y que además, también tienen acceso a Internet, un teléfono inteligente o una tableta (Manuovo, 2016). Lo que demuestra

el éxito de estas aplicaciones es que la marginalización no necesariamente viene del acceso a la infraestructura, sino de la pobre producción de contenidos dirigidos a este público.

La brecha digital real proviene del hecho que las comunidades indígenas no están del todo representadas en el entorno digital: valores, personificación, cosmovisión y lengua, entre otros elementos que le dan sentido a su cultura, quedan relegados o, cuando bien les va, se presentan de forma estereotipada.

En un afán de contribuir a iniciativas que reviertan esta tendencia, en Manuvo planteamos el proyecto Kernaia (Kernaia.com), el cual propone un modelo de innovación abierta que permite escalar la producción y distribución de contenidos en lenguas originarias. Para que esto sea posible, Kernaia promueve un ecosistema en el que se invita a músicos, artistas, escritores, lingüistas y profesores provenientes de comunidades indígenas a participar en la creación de sus propios contenidos digitales. En colaboración con fundaciones, universidades y diversas organizaciones públicas y privadas, se generan talleres de formación en tecnologías de la información y producción de contenido digital. En estos talleres se dota a los hablantes de conocimiento y herramientas tecnológicas que les permitan crear, distribuir y comercializar los productos digitales que su comunidad demanda. Por nuestra parte, Manuvo pone a disposición una plataforma de distribución de contenidos digitales, así como diversas campañas de comunicación y mercadotecnia. Este modelo resulta rentable y replicable porque detona una economía virtual donde productores y consumidores capturan simultáneamente valor económico, social y cultural, convirtiéndola en una plataforma autosustentable.

Esta iniciativa no solo contribuye a la preservación, difusión y fortalecimiento de las lenguas originarias, sino que permite también a los hablantes nativos crear, distribuir y comercializar sus propios productos digitales. De esta manera, es la comunidad quien decide qué es relevante para ellos, qué se fabrica y qué consume, evitando así puntos de vista estereotipados. Asimismo, la transferencia de tecnología y de conocimiento, el proceso de innovación abierta y el modelo económico de reparto de ingresos

generan un círculo virtuoso de inclusión social, generación de nuevos empleos e incentivos para la actividad económica.

En abril de 2016, Kernaia fue seleccionada como una de las iniciativas más innovadoras de América Latina y el Caribe por el Banco Interamericano de Desarrollo. Y aunque aún se encuentra en una temprana etapa de desarrollo, creemos que Kernaia puede contribuir significativamente a la creación de riqueza, la transformación social y el desarrollo humano de nuestra región.

5. CONCLUSIONES

Como hemos visto en este breve recorrido, las experiencias digitales están transformando la forma en que las audiencias interactúan con la cultura. A medida que la tecnología avanza, también lo hace el comportamiento de las audiencias, especialmente las audiencias más jóvenes. Ya no somos receptores pasivos de la cultura; cada vez más, esperamos acceso instantáneo a todas las formas de contenido digital, para interactuar y dar una respuesta rápida. Podemos mirar una pintura, leer una novela, descubrir el patrimonio, o escuchar música en cualquier momento, en múltiples plataformas y en cualquier lugar del mundo. Las audiencias están creando, adaptando y manipulando la forma de apreciar el arte y la cultura. De ahí que resulta extremadamente importante que las historias que cuentan todas las ramas de las humanidades se comiencen a contar en formatos mucho más accesibles y que ahonden en la manera transmedia en la que estamos consumiendo hoy día.

Las organizaciones culturales están empezando a aprovechar el potencial de la tecnología digital para atraer al público a través de nuevos formatos y medios y diversificar sus canales de distribución. Están comenzando a comprender que, al utilizar las nuevas tecnologías, existe la posibilidad de llegar a audiencias nuevas y existentes, incluidas aquellas que anteriormente se habían desconectado o desinteresado, y proporcionar un entorno para que las audiencias experimenten la cultura en formas nuevas.

En México, las instituciones culturales han tenido un grave problema para transmitir el conocimiento que resguardan. Resultado de la complejidad buro-

crática con la que operan, han omitido la fase importante de cómo acercarse a nuevas audiencias y por tanto, no han podido ampliar sus públicos. Y sin embargo, el mundo avanza más rápido que nunca. No solo pasamos más de 8 horas al día frente a una pantalla (Asociación Mexicana de Internet, 2018), sino que rápidamente están surgiendo las llamadas tecnologías exponenciales que están acelerando y redefiniendo a las principales industrias y a muchos aspectos de nuestra vida cotidiana. Estas incluyen la inteligencia artificial (AI), la realidad aumentada y virtual (AR, VR), la ciencia de los datos, la biología digital y la biotecnología, la nanotecnología y la fabricación digital, las redes y sistemas informáticos, la robótica y los vehículos autónomos. Dado este contexto, pensemos por un momento el reto que esto representa para las instituciones del conocimiento.

Si bien existen hoy en día diversos ejemplos como los descritos en esta publicación en donde las tecnologías exponenciales se utilizan como apoyo a procesos de investigación, restauración, preservación, clasificación y análisis del patrimonio cultural, lo cierto es que en la labor de la divulgación aún falta mucho por hacer.

Los retos los conocemos todos: mayores fondos, mayor apertura por parte de las instituciones, mayor infraestructura. Sin embargo, pienso que es de vital importancia darle prioridad a la innovación y a la colaboración. El tema transversal que emana de los ejemplos que se describen en este artículo no es la tecnología, sino el proceso. Como nos lo ha demostrado la experiencia propia, comprender el funcionamiento técnico de las tecnologías exponenciales

no es suficiente. Para poder competir con la inmensa oferta de contenidos digitales que están en el mercado es necesario, también, adoptar un proceso abierto, iterativo y multidisciplinario.

Es primordial que las instituciones del conocimiento comprendan mejor la era tecnológica en la que vivimos y, en lugar de resistirla, se alien a ella para ofrecer experiencias atractivas que logren seducir a sus públicos actuales y a la nueva generación de consumidores. Si realmente queremos que nuestro patrimonio no sea relegado a las bodegas de un museo, debemos promover y fomentar el potencial que tenemos a nuestro alcance.

En los próximos años las bibliotecas, los museos, los monumentos, las zonas arqueológicas, las galerías de arte, las esculturas, el cine, la literatura, y todas las expresiones del patrimonio cultural tendrán a su disposición un conjunto de herramientas tecnológicas que podrían generar experiencias de difusión sin precedente. Pensemos, por ejemplo, en los vehículos autónomos. ¿Qué harán las personas cuando, al trasladarse, ya no tengan que conducir? ¿No sería una oportunidad ideal para difundir el patrimonio cultural a través de las pantallas del vehículo? ¿Y si esto se realizara por medio de experiencias de *mapping* o de realidad aumentada y virtual? ¿Qué pasaría si, utilizando la inteligencia artificial, pudiéramos personalizar la experiencia de viaje a través de contenidos culturales? ¿Sería pertinente crear hologramas que sincronicen el momento de pasar por un monumento y mostrar su versión restaurada? Las posibilidades son infinitas. La nueva economía de las experiencias nos incluye a todos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Mexicana de Internet (2018). *Estudio sobre los hábitos de los usuarios de internet en México*. Disponible en: <https://soy.marketing/resultados-del-estudio-amipci-2018/> [Consultado el 01 enero de 2019].
- Centro Cultural de España en México (2015). *Vamos a aprender Mixteco versión para iPad*. Disponible en: <https://itunes.apple.com/mx/app/vamos-a-aprender-mixteco/id993892453?mt=8> [Descargado el 10 de enero de 2019].
- Consejo Nacional para la Cultura y las Artes (2011). *Blanco de Octavio Paz, versión para iPad*. Disponible en: <https://itunes.apple.com/mx/app/octavio-paz-blanco/id484285852?mt=8> [Descargado el 10 de enero de 2019].
- Diamandis, P. H. y Kotler, S. (2012). *Abundance: The future is better than you think*. EEUU: Free Press.
- Digital Humanities Award. (2015). *Best use of Digital Humanities for public engagement para el Códice Mendoza*. Disponible en: <http://dhawards.org/dhawards2015/results/> [Consultado el 10 de enero de 2019].
- Heim, A. (2011) *Top Mexican iPad app showcases poems by Nobel Prize for Literature Octavio Paz*. Disponible en: <https://thenextweb.com/apps/2011/12/08/top-mexican-ipad-app-showcases-poems-by-nobel-prize-for-literature-octavio-paz/> [Consultado el 10 de enero de 2019].
- Instituto Nacional de Antropología e Historia. (2015). *Códice Mendoza versión para iPad*. Obtenido de: <https://itunes.apple.com/mx/app/código-mendoza/id916271921?mt=8> [Descargada el 10 de enero de 2019].
- Instituto Nacional de Antropología e Historia (2015). *Códice Mendoza, versión web*. Disponible en: www.codicemendoza.inah.gob.mx [Consultado el 10 de enero de 2019].
- Luzardo, A., De Jesús, D. y Pérez, M. (2017) *Economía naranja: Innovaciones que no sabías que eran de América Latina y el Caribe*. EEUU: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Manuovo de México S.A de C.V. (2016). *Estudio de mercado para Kernaia. Documento interno*. México.
- Manuovo de México S.A de C.V. (2018). *Reporte de descargas. Documento interno*. México.
- Paz, O. (1969). *Ladera Este*. México: Editorial Círculo de Lectores.
- Pine II, B. J. y Korn, K. C. (2011). *Infinite possibility: Creating customer value on the digital frontier*. EEUU: Berrett-Koehler Publishers.
- The New York Times (2015). *Aztec App brings historic Mexico codex into the Digital Age*. Disponible en: <https://www.nytimes.com/aponline/2015/01/15/world/americas/ap-lt-mexico-aztec-app.html> [Consultado el 10 de enero de 2019].
- Usi, E. (2017). *Kernaia, apps para lenguas indígenas*. Disponible en: <http://p.dw.com/p/2irDF> [Consultad el 10 de enero de 2019].

Verba volant, scripta manent? Digital bases for the study and preservation of the Galician Roman Epigraphy

David Espinosa-Espinosa
UNIVERSITY OF OVIEDO, SPAIN

Miguel Carrero-Pazos
UCL INSTITUTE OF ARCHAEOLOGY, UNITED KINGDOM

Resumen: Este trabajo da a conocer una serie de bases digitales para el registro, estudio y divulgación de inscripciones romanas, centrándose particularmente en el *corpus* epigráfico de la provincia de Ourense (noroeste de la Península Ibérica). Este corpus plantea significativos problemas metodológicos, de preservación y de legibilidad, relacionados con la ubicación y accesibilidad de las inscripciones, y con la degradación del material sobre el que fueron hechas. El proyecto *Epigráfica 3.0* pretende aplicar y compartir un conjunto de prácticas digitales para resolver dichos problemas, caso de la fotogrametría SfM (Structure from Motion) y el modelado de imágenes. Además, se está desarrollando una plataforma interactiva que incluye una base de datos relacional y un visualizador de modelos 3D, contribuyendo a que el estudio de la epigrafía de época romana de Galicia sea más preciso y accesible.

Palabras clave: epigrafía romana; galicia; tecnologías digitales; fotogrametría sfm; modelado en 3d; base de datos relacional; web 3.0

Abstract: This paper describes the creation of digital databases for the recording, study and dissemination of Roman inscriptions focusing on a particular case study of Galician epigraphy: the epigraphic corpus of Ourense province (NW Iberian Peninsula). This corpus shows significant methodological, preservation and readability problems related to the location and accessibility of the inscriptions and the degradation of the material in which they were made. In this regard, the project *Epigraphica 3.0* aims to share some experiences to face and overcome these problems, by applying digital technologies such as SfM photogrammetry and digital image modelling. Also, the creation of an interactive platform with a relational database and an embedded 3D viewer will make easier and more accurate the study of the Galician Roman epigraphy.

Keywords: roman epigraphy; galicia; digital technologies; sfm photogrammetry; 3d modelling; relational database; web 3.0

1. INTRODUCTION

The epigraphy is one of the main sources for the study of Ancient Rome. Roman inscriptions give information on a broad range of issues, such as legal-administrative institutions, religious beliefs, socio-economic relations, local identities, military service and communication routes, among others (Bodel, 2001; Brunn & Edmonson, 2014). However, their recording, study and dissemination show a number of methodological, preservation and readability problems. This creates important obstacles to the restitution of epigraphic texts (many inscriptions are considered illegible or unintelligible) and, therefore, affects the historical research and its socialization, which seems to refute the Latin proverb *verba volant, scripta manent* (i.e. "spoken words fly away, written words remain").

This way, epigraphists have used different techniques to overcome the aforementioned difficulties: analysis of sets of photographs with raking light (illuminating from one side only, at an oblique angle in relation to the surface), squeezes (paper cast impressions from inscribed surfaces), or tracings by frottage (placing a piece of paper over and rubbing with a soft pencil or crayon). However, these do not successfully resolve the problems with readings, and often the text restoration depends on the expertise of the epigraphists (Mittica, Pellegrino & Rocco, 2014; Pires, Martínez & Elorza, 2015).

In this respect, such methods and techniques have been enriched and complemented with new ones, based on digital tools. At the same time the concept and practice of Epigraphy have evolved and broadened (Santiago, 2004; Ramírez, 2005; Orlandi et al., 2017). In fact, Epigraphy has been one of the research fields that has most benefited the application of digital technologies. Over the last decade, the possibilities opened by laser scanning and SfM photogrammetry in 3D modelling have provided new methods of research and tools, such as Polynomial Texture Mapping (PTM), Reflectance Transformation Imaging (RTI), Morphological Residual Model (MRM) or Algebraic Point Set Surfaces (APSS) (Bevan, Lehoux & Talbert, 2013; Earl et al., 2010; Earl, Martínez & Malzbender, 2010; Malzbender et al., 2000; Malzbender et al., 2001; Malzbender et al., 2006; Pires et al., 2014; Vilas-Estévez, Vázquez-Martínez & Carrero-Pazos, 2017). The application of such methods has been helped by the competitive prices of commercial software such as Agisoft Photoscan or Adobe Photoshop, and the use of open source software such as MeshLab, Blender, or GIMP.

Applied to archaeological objects (in particular inscriptions), these non-invasive techniques offer a wide range of possibilities for the study and preservation of Roman epigraphy (Mittica, Pellegrino & Rocco, 2014: 401-403), mainly for two reasons: 1) greater accuracy and objectivity obtained in the recording process compared to regular bidimensional photographs and handmade tracings, 2) wide dissemination of the information by means of online, open access, corpora with relational

epigraphic databases. In addition, a good deal of these corpora is developed through encoding guidelines and tools specifically designed to annotate ancient inscriptions for web dissemination, such as EpiDoc TEI XML (<https://sourceforge.net/p/epidoc/wiki/Home/>). It enables a holistic digital description of an inscription and the semantic mark-up of its text, and all of this in a flexible, machine-readable exchangeable format (Casarosa et al., 2014; Babeu, 2011: 96-115).

In line with the aforementioned progress, the project *Epigraphica 3.0: Towards a Digital Corpus of Roman Inscriptions from Ourense Province* is establishing novel digital bases for the recording, study and dissemination of Roman inscriptions, based on a particular case study from Galician epigraphy: the epigraphic corpus of Ourense province (NW Iberian Peninsula). To do this, *Epigraphica 3.0* is taking into account the outputs and strengths of projects such as *EAGLE* (Orlandi, Giberti & Santucci, 2014), *I.Sicily* (Prag, Chartrand & Cummings, 2017), *Ashmolean Latin Inscriptions Project* (Masséglia, 2014), *Digital Epigraphy Toolbox* (Bozia, Barmpoutis & Wagman, 2014), and *Epigraphia 3D* (Ramírez, García & Giralt, 2015), among others. In all of them, the use of relational epigraphic databases and 3D modelling play a key role in the recording and dissemination processes of the inscriptions, and this is extending the cognitive capabilities as large datasets can now be processed, distributed, and interactively engaged. As we will see later, apart from that, *Epigraphica 3.0* introduces new methods to improve the readability of the inscriptions by means of several post-processing analyses which extract the textual information, using different lights, shades and line drawings over 3D models (Carrero-Pazos & Espinosa-Espinosa, 2018a, 2018b; Espinosa-Espinosa & Carrero-Pazos, 2018; Espinosa-Espinosa, Paz Rodríguez and Carrero-Pazos, 2021).

2. GALICIAN ROMAN EPIGRAPHY

2.1. Background research

Located in the Northwest of the Iberian Peninsula, Galicia offers an interesting and extraordinarily rich collection of Roman inscriptions, which have been



Figure 1. Votive inscription from Pias (AF I², 95: Castro Escudro, Maceda), currently located on the roof of San Pedro chapel.

studied and published in scientific journals, book chapters and epigraphic corpora. Regarding the latter, following the publications of Arias, Le Roux & Tranoy (1979), Pereira (1991), Baños (1994), Rodríguez Colmenero (1997), and Rodríguez Colmenero, Ferrer & Álvarez (2004), the systematization and classification of the inscriptions have pursued thematic and modern administrative criteria (i.e. the current Galician provinces: A Coruña, Lugo, Pontevedra, and Ourense). This task is crucial as our knowledge of Roman history is closely dependent on the accuracy, thoroughness and soundness of these works. In general, the state of epigraphic research in Galicia is satisfactory, above all by the effort and updating work achieved by journals such as *Hispania Epigraphica*, *L'Année Épigraphique* o *Ficheiro Epigráfico*. However, the time elapsed since the publication of these corpora and the possibilities offered by the expansion of digital technologies throughout Epigraphy are reasons enough to revise and update the Galician epigraphic evidence for the Roman period.

2.2. Research challenges and study problems

As mentioned above, the epigraphic research in Galicia raises important challenges which can be grouped in three main fields: 1) location and accessibility, 2) degradation and readability problems, 3) issues concerning the dissemination. Regarding the former, the epigraphic knowledge in this region is

affected by a dispersed settlement pattern, which makes really difficult the archaeological prospection in terms of time and efficiency. As well, it is frequent that there are no precise geographical coordinates concerning the location of the inscriptions (just a few words about the town and the specific place where it is currently preserved), a problem worsened by uninhabited environments in which it is not possible to have the collaboration and information from local residents. In this context, a lot of inscriptions are untraceable. In other cases, when the inscriptions are found, it is not possible to examine them as they are reused in modern buildings, located at great heights or in hardly accessible private properties (Figure 1).

On the other hand, uninhabited and outdoor environments do not contribute to the preservation of the inscriptions. In some cases, this is due to thefts or acts of vandalism; in others, due to the degradation by extreme weather conditions or the mere passage of time. These factors make difficult the recording and on-site study of the inscriptions. We should also add the gradual erosion of the granite stone on which they were engraved. Natural processes take part here, such as the mechanical and biological weathering (Vicente, Delgado & Acevedo, 1996; Rivas et al., 2002; Zambell et al., 2012). These natural processes often cause a very eroded or pitted epigraphic field, which makes the original inscriptions difficult to read (Figure 2).

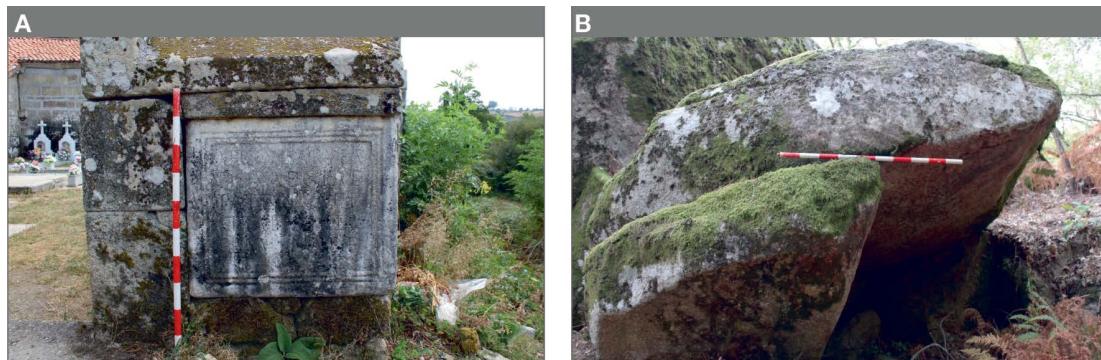


Figure 2. A: Funerary plaque from Escudero (AF I², 207: Castro Escudo, Maceda). B: Rock inscription from San Salvador (AF I², 620: Santa Cristina de Vilariño, O Pereiro de Aguiar), colonized by lichens and mosses.

Furthermore, in many cases, natural fractures and marks are mixed with the grooves of the letters, and the result is a wide range of possible readings. Also, some specific peculiarities of Galician Roman epigraphy increase the problems: the low level of expertise of the stone-cutters that carved the inscriptions and the unconventional epigraphic habit concerning personal names and deities (a large number of them are unparalleled in the rest of the Roman world, introducing an important source of uncertainty in the epigraphic restoration). These problems are very well known and have already been pointed out by scholars such as Le Roux and Tranoy (1973: 221).

3. EPIGRAPHICA 3.0 PROJECT

The project *Epigraphica 3.0: Towards a Digital Corpus of Latin Inscriptions from Ourense Province* is being developed to face and overcome the research challenges and the study problems mentioned. Funded by the Regional Government of Galicia between 2017 and 2019, and supported by the Council for Galician Culture and the Epigraphic Archive of Hispania, and the Supercomputing Centre of Galicia, it is focused on the application of digital technologies for the study of Roman epigraphy, concerning three tasks: the recording process, the epigraphic analysis and the dissemination of the results. Thus, the stimulus behind *Epigraphica 3.0* is to enhance the study of Galician Roman epigraphy among the epigraphists and historians, but also to familiarize the general public with this kind of archaeological objects and the information which they can provide

on the Roman period of Galicia. Therefore, any electronic device with internet access becomes a source of information and knowledge on this cultural heritage, contributing to better access and dissemination.

3.1. Study area and objectives

Epigraphica 3.0 focuses on the province of Ourense, which is (jointly with Pontevedra) the region with greatest number of Roman inscriptions in Galicia (Figure 3).

Given that this territory is extremely rural and is suffering out-migration and aging population, it raises important problems concerning the location, accessibility and preservation of the inscriptions. These factors have caused the disappearance of a large number of them, either by erosive agents or

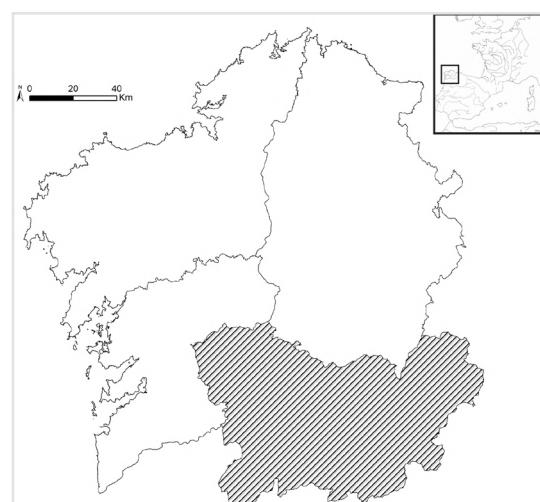


Figure 3. Ourense province, located in the south of Galicia.

several acts of vandalism. In this context, *Epigraphica 3.0* was mainly defined to find every known Roman inscription (but also those unknown), taking geographical references (UTM coordinates) and recording the information through on-site autopsy and SfM photogrammetry, thus facing oblivion and the passage of time. More specifically, *Epigraphica 3.0* seeks:

1. To carry out a SfM photogrammetric survey of the Roman inscriptions from Ourense province, creating 3D models of all of them. This region has also a certain amount of Roman milestones, i.e. numbered markers located along roads at intervals of one Roman mile (1481 m) in order to indicate the distance between two places. However, due to time constraints, these have been discarded in our survey.
2. To undertake an on-site autopsy, epigraphic text restoration and critical edition of each digitised inscription, especially in case of hard-to-read ones.
3. To design and create an online, open access, corpus for the dissemination and socialization of this specific cultural heritage. This corpus will be available on the *Epigraphica 3.0* web (<http://www.epigraphica30.com>).

3.2. Methodology

The workflow of the project comprises the following four methodological stages:

1. Data collection. A pre-fieldwork stage was performed at the Epigraphic Archive of Hispania in Madrid and the Archaeological Museum of Ourense. Literature and databases were queried in order to know the current number and location of the inscriptions, particularly via the analysis of the corpus compiled by Rodríguez Colmenero (1997).
2. Field work. On-site data acquisition through autopsy and SfM photogrammetric recording. This task followed the standard principles of image overlapping as suggested by specialised publications (Agisoft, 2012; Verhoeven, 2011: 71;

Remondino, 2014). A survey sheet and camera with tripod were used in the whole process.

3. Analytical work: The images taken during the fieldwork were first subjected to an initial analysis in order to select the best ones. The blurry ones or those with reflections were removed at this stage in order to create the sharpest 3D model as possible. Next, scaled 3D models were created using the commercial software Agisoft Photoscan, following stereo matching principles already published (Plets et al., 2012) (Figure 4). Once the 3D models were created, digital imaging analyses were applied to all the inscriptions using MeshLab and Xshade software (Cigoni et al., 2008; Rusinkiewicz, Burns & DeCarlo, 2006), in order to enhance their carvings and read the texts. Current methods include artificial lighting, radiance scaling, colorizing the curvature of the mesh, comparison between meshes, or exaggerated shading (Figure 5), all of them well-known in literature and already applied in other archaeological objects (Carrero-Pazos, Vilas-Estévez & Vázquez-Martínez, 2017; Carrero-Pazos & Espinosa-Espinosa, 2018a, 2018b) (see illustrated appendix for further information).
4. Final work. After the collection and processing of the archaeological data, the epigraphic analysis, text restoration and critical edition of each inscription were performed, as well as the creation of a relational database with the MariaDB Manager (<https://mariadb.com/>), which includes more than 40 fields of information about the inscriptions. The critical edition is based on Leiden conventions and *EAGLE* consortium recommendations on vocabulary (<https://www.eagle-network.eu/resources/vocabularies/>) and place names (<https://www.eagle-network.eu/eagle-project/documents-deliverables/>). A second phase concerned the creation of an online, open access, corpus on the *Epigraphica 3.0* webpage, carried out with Angular (<https://angular.io/>) and Symfony (<https://symfony.com/>) frameworks (Espinosa-Espinosa, Paz-Rodríguez & Carrero-Pazos, 2021).

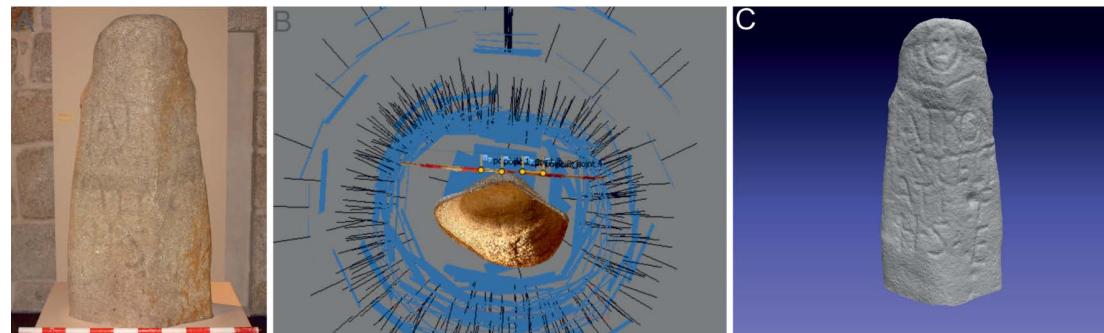


Figure 4. A: Funerary inscription from Muíño de San Pedro (AF I2, 298; Oímbra-Verín), currently stored at the Archaeological Museum of Ourense. B: The photogrammetric survey carried out. C: The final 3D model.

3.3. Contributions and results

As noted above, one of the main purposes of this project is contributing to a better study of Galician Roman inscriptions and, therefore, to better documenting the presence of Rome in this region, integrating the benefits of digital technologies into the epigraphic analysis of the Ourense province. In general, the contributions and results from *Epigraphica 3.0* can be grouped in four areas:

1. The geolocation of the inscriptions using UTM coordinates. Bearing in mind the mentioned location and accessibility problems, *Epigraphica 3.0* seeks to provide geographical references for each inscription. This information is offered through a mapping viewer created with the Google Maps API. In addition, where possible, the original findspot and the current location (both the ancient and modern place name) are given. Following *EAGLE*'s best practice suggestions, Pleiades (<https://pleiades.stoa.org/>), Trismegistos (<https://www.trismegistos.org/>) and Geo Names (<https://www.geonames.org/>) databases are checked to harmonise and avoid ambiguity between homonyms.
2. The application of non-invasive digital techniques for the recording and epigraphic reading. As said before, digital recording methods are used to create scaled 3D models of the inscriptions. The method chosen is SfM photogrammetry, with further digital image analyses in order to improve the readability of the texts. Where necessary, such methods are complemented with traditional techniques but trying to perform the less intervention on the inscriptions as possible. Apart from the benefits of such non-invasive techniques, 3D recording has many advantages over traditional methods, such as for instance "the ability to virtually measure, rotate, zoom or illuminate the object, thus replicating all possible points of view; the convenience of data storage on a digital support, that does not need space and is not subjected to degradation; the ease of duplicating and sharing" (Mittica, Pellegrino & Rocco, 2014: 402).
3. The creation of an online epigraphic corpus. It is being developed as a textual and graphic database according to the concept of digital library (Babeu, 2011: 8; Carloni & Guercio, 2014; Bozia, 2017), which will give public access to the epigraphic information. It will be initially available in Spanish and Galician, but a medium-term goal is to create an English version. This website will offer the textual and graphic information from a Web 3.0 perspective, being interactive and adaptable to the needs of the users. *Epigraphica 3.0* includes cross-referencing and links to online databases such as Hispania Epigraphica Online (<http://eda-bea.es/>). Thus, it intends to facilitate the retrieval of information by minimizing the search time from a single source. Finally, unlike other databases, *Epigraphica 3.0* corpus will provide translation of each inscription into Spanish, Galician and English, making the infor-

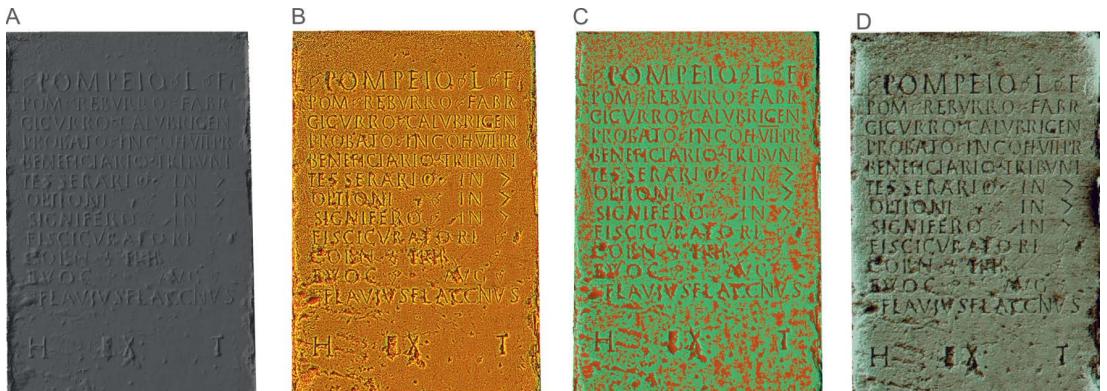


Figure 5. Some of the digital imaging analyses carried out in *Epigraphica 3.0*, applied over the funerary inscription of Lucius Pompeius Reburrus Faber (AF I², 209: Santo Estevo da Rúa, A Rúa). A: Bare 3D model with artificial lights. B: Radiance scaling double sphered. C: Mesh comparison. D: Exaggerated shading.

mation more accessible to wider audiences and not only to epigraphists and historians. This is an important issue extensively discussed by scholars (Bigi, 2014) and a major aim that similar projects, such as *I.Sicily*, are facing (Prag, Chartrand & Cummings, 2017: 91).

4. The dissemination through a website with user-friendly interface and a 3D model presenter. The corpus provides the user with the possibility of intuitively and interactively exploring the information. It offers graphic information consisting of 3D models and 2D images. Regarding 2D images, an orthoimage of each inscription and several post-processing results are provided. In the case of 3D materials, their enquiry and handling is performed through a 3D viewer, in particular the 3D Heritage Online Presenter (3DHOP) developed by Isti-CNR of Pisa (Potenziani et al., 2015) (<http://vcg.isti.cnr.it/3dhop/>). This tool gives the users the ability to see them from many different angles and lighting conditions, allowing direct engagement. The information will be downloadable via epigraphic sheets, 3D models in PLY format and 3D PDF-files, contributing to open science.

4. CONCLUSIONS

Epigraphica 3.0 aims to establish the first digital bases for the study, preservation and dissemination of the Galician Roman inscriptions in order to face and overcome a variety of methodological, degrada-

tion and readability problems. The outcomes of the project can be summarized in a series of experiences and practices which benefit from computing technologies. Specifically, *Epigraphica 3.0* builds on the creation of 3D models through SfM photogrammetry with further analytical approaches related to digital imaging analysis. All these information is stored in a relational database, as a part of an online, open-access, corpus, publicly shared in a website, making the study of Galician Roman epigraphy easier and more accurate. The digital methods applied within this project do no substitute the use of traditional techniques such as sets of photographs with raking light, tracings by frottage or squeezes, being the epigraphists the final responsible for proposing the epigraphic reading. In this respect, it is clear that digital technologies assist epigraphists by promoting the quantity and the quality of their research. Therefore, *Epigraphica 3.0* leads the technological action against the physical and material limitations of the epigraphists, broadening their skills and improving the epigraphic knowledge from Galicia (Figure 6).

Finally, *Epigraphica 3.0* also sets stronger bases for a broader dissemination of the epigraphic heritage and the history of Ancient Rome. Specific measures such as the 3D model viewer and the translation of the inscriptions will contribute to increase the accessibility and knowledge of Roman epigraphy among non-specialized public, raising awareness, appreciation and responsibility on

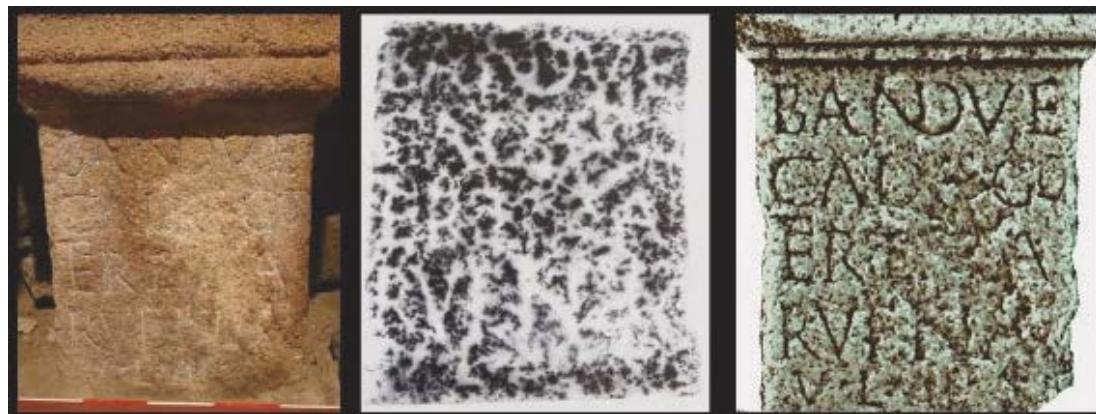


Figure 6. Votive altar from Santa María de Mixós (AF I², 121: Estevesiños, Monterrei): greater accuracy of digital techniques such as exaggerated shading (on the right) compared with a tracing by frottage published by Rodríguez Colmenero (1997: 143) (in the middle).

Roman cultural heritage. In this respect, the accessibility is one of the most important challenges that cultural heritage has at present. While initial efforts were primarily focused on improving the physical accessibility, today there is a clear emphasis on the need of improving the social, cultural and intellectual accessibility of archaeological sites and objects. Although the accessibility to heritage is rarely considered, it is an integral part in the process of safeguarding. It seems necessary to know and appreciate it, in order to preserve it. In this respect, and given the aforementioned epigraphic and structural problems of Galicia, it is essential to involve population and public administrations for a sustainable management. In this respect, the digital corpus resulting from this project, as well as seeking to contribute to ensuring that "written words remain", aims to become a powerful tool for scientific and heritage management decision-making.

APPENDIX: DIGITAL IMAGING TECHNIQUES TO ENHANCE THE EPIGRAPHIC READING OF 3D INSCRIPTIONS

Epigraphica 3.0 has designed a set of analytical approaches to provide more accurate readings of the inscriptions, all of them applied with open source software MeshLab and Xshade (Cigoni et al., 2008; Rusinkiewicz, Burns & DeCarlo, 2006). Based on our previous works (Carrero-Pazos & Espinosa-Espinosa, 2018b; Espinosa-Espinosa & Carrero Pazos, 2018;

Espinosa-Espinosa, Paz-Rodríguez & Carrero Pazos, 2021), this illustrated appendix will present the basis of the techniques used in the project over the votive altar from Santa María de Mixós (AF I², 121: Estevesiños, Monterrei) (see Figure 6 for comparison):

4.1. Bare 3D model with artificial lights

A preliminary analysis of the untextured 3D model with artificial lights is used to check the different parts of the inscriptions, which can show some interesting results at first glance. Such approach has long tradition in Archaeology and in epigraphic works (e.g. Fernández Díaz, Major González & Penedo Cobo, 2016) (Figure 7).

4.2. Radiance Scaling

This analysis is focused on the adjustment of the reflected light intensities of the 3D model in a way that is dependent on both surface curvature and material characteristics. As a result, diffuse shading or highlight variations become correlated with surface feature variations, enhancing surface concavities and convexities instantaneously (Vergne et al., 2010). Radiance scaling can be applied in MeshLab as a shader, with different options. Basing on previous works (Carrero-Pazos & Espinosa-Espinosa, 2018b; Espinosa-Espinosa & Carrero Pazos, 2018; Espinosa-Espinosa, Paz-Rodríguez & Carrero Pazos, 2021), in *Epigraphica 3.0* we decided to carry out the following implementations:

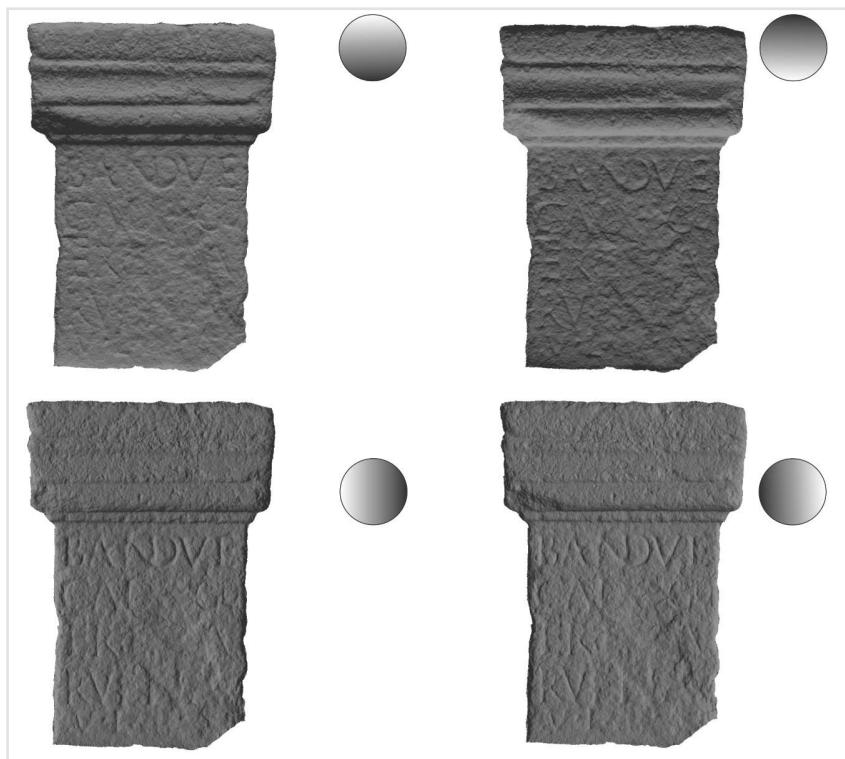


Figura 7. Artificial Lights



Figura 8. Radiance Scaling

- a) Radiance Scaling Lambertian: this analysis highlights the cavities of the 3D model in grey tones.
- b) Radiance Scaling Lit Sphere: in this case, a lit sphere encodes the lighting environment and its reflective properties into an image of a sphere (predetermined).
- c) Radiance Scaling Lit Sphere (with 2 spheres): similar to previous ones, but with different spheres for convex and concave regions (Granier et al., 2012). Following the work of Vilas-Estévez, Vázquez-Martínez & Carrero-Pazos (2017), we use a red and yellow sphere which allows a better visualisation of the inscriptions.
- d) Radiance Scaling Lit Sphere (with 2 spheres) + Laplacian Smooth (x 30): the previous approach can be complemented by the comparison of a two sphered radiance scaling model with a duplicated pre-smoothed version of the initial model. The results allow us to better detail the grooves of the 3D model.

4.3. Colorising the curvature (Algebraic Point Set Surfaces - APSS)

This technique defines a smooth surface from a set of points using local moving least-squares (MLS) fitting of algebraic spheres. The key idea of APSS is to locally approximate the point cloud by a fitted algebraic sphere that moves continuously in space (Guennebaud, Germann & Gross, 2008). The applica-



Figure 9. Colorising the curvature (APSS)

tion of this filter allows the colorization of the vertices of a mesh or point set using the curvature of the underlying surface. As Vilas-Estévez, Vázquez-Martínez & Carrero-Pazos (2017: 181) point out, the implementation of this technique with a proper use of MeshLab's quality mapper (a tool that enables colorising the model or describing the quality value of a vertex) allows the enhancement of the surface microstructures (Figure 9).

4.4. Mesh comparison

An alternative to common radiance scaling shader and APSS filter is the use of a comparative approach between two meshes, approach that can also be achieved in MeshLab (Cigoni, Rocchini & Scopigno, 1998) and which has already been applied in other archaeological contexts (Cassen et al., 2014; Pires et al., 2014; Pires, Martínez & Elorza, 2015). It is focused on the comparison between the original mesh and a decimated pre-smoothed one, which avoid small details of the 3D model allowing a better enhancement of the carvings. Following the work of Pires et al. (2014), we used the edge collapse decimation filter with a 90% of reduction factor to produce a coarse decimation model similar to the original one, applying in a second step the Laplacian smoothing filter to get a smoothed surface of the inscriptions which substantially reduced the noise. This resulting trend mesh was then subtracted from the original one, getting the carvings enhanced. This approximation usually allows an interesting highlight of the details of the 3D model (Figure 10).

4.5. Exaggerated shading

This technique is based on dynamically adjusting the effective light position for different areas of the 3D model's surface allowing a deeper enhancement of its features (Rusinkiewicz, Burns & DeCarlo, 2006), and its application is available through the use of Xshade open source software (<https://gfx.cs.princeton.edu/proj/xshade/>). It has been revealed as a crucial technique on the documentation of prehistoric rock art panels (Carrero-Pazos, Vilas-Estévez, Vázquez-Martínez, 2018), as it can get a really detailed picture of the engravings (Figure 11).



Figura 10. Different combinations of the mesh comparison approach



Figure 11. Exaggerated shading

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to all institutions and persons which have made *Epigraphica 3.0* possible, especially the Regional Government of Galicia, the University of Santiago de Compostela, the Epigraphic Archive of Hispania and the Council for Galician Culture.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Agisoft LLC. (2012). *Agisoft PhotoScan user manual: Professional Edition, Version 0.8.3*, Moscow: AgiSoft LLC.
- Arias, F., Le Roux, P., & Tranoy, A. (1979). *Inscriptiones Romaines de la Province de Lugo*. Paris: De Boccard.
- Babeu, A. (2011). "Rome Wasn't Digitized in a Day": Building a Cyberinfrastructure for Digital Classics. Washington: Council on Library and Information Resources.
- Baños, G. (1994). *Corpus de inscripciones romanas de Galicia. Vol. II: Provincia de Pontevedra*. Santiago de Compostela: Consello da Cultura Galega.
- Bevan, G., Lehoux, D., & Talbert, R. (2013). Reflectance Transformation Imaging of a 'Byzantine' portable sundial. *Zeitschrift für papyrologie und epigraphik*, 187, 221-229.
- Bigi, F. (2014): Towards an EAGLE standard in translating inscriptions. In S. Orlandi, R. Santucci, V. Casarosa & P. M. Liuzzo (Eds.), *Information technologies for epigraphy and cultural heritage. Proceedings of the First EAGLE International Conference*, (pp. 167-178). Rome: Sapienza Università Editrice.
- Bodel, J. (Ed.) (2001). *Epigraphic evidence: Ancient history from inscriptions*. London: Routledge.
- Bozia, E. (2017). Assessing the role of digital libraries of squeezes in epigraphic studies. Digitization, visualization, and metadata. In S. Orlandi, R. Santucci, F. Mambrini & P. M. Liuzzo (Eds.), *Digital and traditional epigraphy in context. Proceedings of the EAGLE 2016 International Conference*, (pp. 405-409). Rome, Sapienza Università Editrice.
- Bozia, E., Barmoutis, A., & Wagman, R. S. (2014). Open-access epigraphy. Electronic dissemination of 3D-digitized archaeological material. In S. Orlandi, R. Santucci, V. Casarosa & P. M. Liuzzo (Eds.), *Information technologies for epigraphy and cultural heritage. Proceedings of the First EAGLE International Conference*, (pp. 421-435). Rome, Sapienza Università Editrice.
- Brunn, Chr., & Edmondson, J. (2014). *The Oxford handbook of Roman epigraphy*. Oxford: Oxford University Press.
- Carloni, C., & Guercio, M. (2014). Livelli descrittivi, relazioni e contesti di produzione nella Sapienza Digital Library. In F. Ciotti (Ed.), *Digital humanities: progetti italiani ed esperienze di convergenza multidisciplinare*. Atti del convegno annuale dell'Associazione per l'Informatica Umanistica e la Cultura Digitale (AIUCD), Firenze, 13-14 dicembre 2012, (pp. 51-70). Rome: Sapienza Università Editrice.
- Carrero-Pazos, M., Vilas-Estevez, B., & Vázquez-Martínez, A. (2017). Making visible the Invisible: Low cost methodologies for the study of ancient carvings. In V. Mayoral Herrera, C. Parcerio-Oubiña & P. Fábregas-Álvarez (Eds.), *Archaeology & Geomatics. Harvesting the benefits of 10 years of training in the Iberian Peninsula (2006-2015)*, (pp. 73-90). Leiden: Sidestone Press.
- Carrero-Pazos, M., Vilas-Estevez, B., Vázquez-Martínez, A. (2018). Digital imaging techniques for recording and analysing prehistoric rock art panels in Galicia (NW Iberia). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 8, 35-45.
- Carrero-Pazos, M., & Espinosa-Espinosa, D. (2018a). Back to basics. A non-photorealistic rendering approach to the analysis of epigraphic texts from 3D Roman inscriptions. *Antiquity. A Review of World Archaeology*, 92(364), 1-7.
- Carrero-Pazos, M., & Espinosa-Espinosa, D. (2018b). Tailoring 3D modeling techniques for epigraphic texts restitution. Case studies in deteriorated Roman inscriptions. *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 10, 1-12.
- Casarosa, V., Manghi, P., Mannocci, A., Rivero, E. & Zoppi, F. (2014). A conceptual model for inscriptions. Harmonizing digital epigraphy data sources. In S. Orlandi, R. Santucci, V. Casarosa & P. M. Liuzzo (Eds.), *Information technologies for epigraphy and cultural heritage. Proceedings of the First EAGLE International Conference*, (pp. 23-40). Rome: Sapienza Università Editrice.
- Cassen, S., Lescop, L., Grimaud, V. & Robin, G. (2014). Complementarity of acquisition techniques for the documentation of Neolithic engravings: lasergrammetric and photographic recording in Gavrinis passage tomb (Brittany, France). *Journal of Archaeological Science*, 45, 126-140.
- Cignoni, P., Rocchini, C., & Scopigno, R. (1998). Metro: measuring error on simplified surfaces. *Computer Graphics Forum*, 17(2), 167-174.
- Cignoni, P., Callieri, M., Corsini, M., Dellepiane, M., Ganovelli, F., & Ranzuglia, G. (2008). MeshLab: an open-

- source mesh processing tool. En V. Scarano, R. De Chiara, & U. Erra (Eds.), *Proceedings of the Sixth Eurographics Italian Chapter Conference*, Salerno, Italy, pp. 129-136.
- Earl, G., Martínez, K., & Malzbender, T. (2010). Archaeological applications of polynomial texture mapping: Analysis, conservation and representation. *Journal of Archaeological Science*, 37, 2040-2050.
- Earl, G., Beale, G., Martinez, K., & Pagi, H. (2010). Polynomial texture mapping and related imaging technologies for the recording, analysis and presentation of archaeological materials. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(5), 218-223. Accessed from: <https://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/part5/papers/227.pdf> [Consultado el 6 de agosto de 2019].
- Fernández Díaz, M., Major González, M., & Penedo Cobo, E. (2016). Proceso de digitalización y análisis de una inscripción romana: el caso del contrapeso del torcularium de los Palacios (Villanueva del Pardillo, Madrid). *Revista Otarq*, 1, 285-299.
- Granier, X., Vergne, R., Pacanowsky, R., Barla, P., & Reuter, P. (2012). Enhancing surface features with the radiance scaling MeshLab plugin. In E. Graeme, T. Sly, A. Chrysanthi, P. Murrieta-Flores, C. Papadopoulos, I. Romanowska, & D. Wheatley (Eds.), *Archaeology in the digital era*, volume II, (pp. 417-422). Amsterdam University Press, Amsterdam.
- Guennebaud, G., Germann, M., & Gross, M. (2008). Dynamic sampling and rendering of algebraic point set surfaces. *Computer Graphics Forum*, 27(3), 653-662.
- Le Roux, P., & Tranoy, A. (1973). Notes d'épigraphie romaine de Galice. *Cuadernos de Estudios Gallegos*, 28(85), 221-234.
- Malzbender, T., Gelb, D., Wolters, H., & Zuckerman, B. (2000). *Enhancement of shape perception by Surface Reflectance Transformation* [Technical Report HPL- 2000-38R1]. Palo Alto, California: Hewlett-Packard Laboratories.
- Malzbender, T., Gelb, D., Wolters, H., & Zuckerman, B. (2001). Polynomial texture maps. In *SIGGRAPH '01: Proceedings of the 28 th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, New York, 2001, pp. 519-528. New York: ACM Press.
- Malzbender, T., Wilburn, B., Gelb, D., & Ambrisco, B. (2006). Surface enhancement using real-time photogrammetric stereo and reflectance transformation. *Proceedings of the Eurographics Symposium on Rendering Techniques*, Nicosia, Cyprus, pp. 245-250.
- Masséglia, J. (2014). The Ashmolean Latin Inscriptions Project (AshLi). Bringing epigraphic research to museum visitors and schools. In S. Orlandi, R. Santucci, V. Casarosa & P. M. Liuzzo (Eds.), *Information technologies for epigraphy and cultural heritage*. Proceedings of the First EAGLE International Conference, pp. 221-232. Rome: Sapienza Università Editrice.
- Mittica, D., Pellegrino, M., & Rocco, A. (2014). Low-cost Structure from Motion technology. In S. Orlandi, R. Santucci, V. Casarosa, & P. M. Liuzzo (Eds.), *Information Technologies for Epigraphy and Cultural Heritage*. Proceedings of the First EAGLE International Conference, pp. 401-420. Rome: Sapienza Università Editrice.
- Orlandi, S., Giberti, L., & Santucci, R. (2014). EAGLE – Europeana network of Ancient Greek and Latin Epigraphy: Making the ancient inscriptions accessible. *Lexicon Philosophicum. International Journal for the History of Texts and Ideas*, 2, 315-326.
- Orlandi, S., Santucci, R., Mambrini, F., & Liuzzo, P. M. (Eds.). (2017). *Digital and traditional epigraphy in context*. Proceedings of the EAGLE 2016 International Conference. Rome: Sapienza Università Editrice.
- Pereira, G. (1991). *Corpus de inscrições romanas de Galicia. Vol. I: Província de A Coruña*. Santiago de Compostela: Consello da Cultura Galega.
- Pires, H., Fonte, J., Gonçalves-Seco, L., Correia, M. J., & Sousa, O. (2014). Morphological Residual Model. A tool for enhancing epigraphic readings of highly eroded surfaces. In S. Orlandi, R. Santucci, V. Casarosa & P. M. Liuzzo (Eds.), *Information Technologies for Epigraphy and Cultural Heritage*. Proceedings of the First EAGLE International Conference, pp. 133-144. Rome: Sapienza Università Editrice.
- Pires, H., Martínez, J., & Elorza, A. (2015). Techniques for revealing 3D hidden archaeological features: Morphological Residual Models as Virtual-Polynomial Texture Maps. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-5/W4, 415-421.
- Plets, G., Verhoeven, G., Cheremisin, D., Plets, R., Bourgeois, J., Stichelbaut, B., Gheyle, W., & De Reu, J. (2012). The deteriorating preservation of the Altai rock art: assesing three dimensional image based modelling in rock art research and management. *Rock Art Research*, 29(2), 139-156.
- Potenziani, M., Callieri, M., Dellepiane, M., Corsini, M.,

- Ponchio, F., & Scopigno, R. (2015). 3DHOP: 3D Heritage Online Presenter. *Computers & Graphics*, 52, 129-141.
- Prag, J., Chartrand, J., & Cummings, J. (2017). I.Sicily. An EpiDoc Corpus of Ancient Sicily. In S. Orlandi, R. Santucci, F. Mambrini & P. M. Liuzzo (Eds.), *Digital and traditional epigraphy in context*. Proceedings of the EAGLE 2016 International Conference, pp. 83-86. Rome: Sapienza Università Editrice.
- Ramírez, M. (2005). El concepto de epigrafía: consideraciones sobre la necesidad de su ampliación, cincuenta años después. *Signo: Revista de Historia de Cultura Escrita*, 15, 47-76.
- Ramírez, M., García, M., & Giralt, S. (2015). Epigraphia 3D. Un proyecto de innovación científica en la divulgación del patrimonio epigráfico de Hispania. *Epigraphica. Periodico Internazionale di Epigrafia*, 77(1-2), 371-396.
- Remondino, F. (2014). Photogrammetry. Basic Theory. In F. Remondino & S. Campana (Eds.), *3D recording and modelling in archaeology and cultural heritage*, pp. 63-72. Oxford: BAR International Series 2598.
- Rivas, T., Prieto, B., Lantes, O., & Silva, B. (2002). Grado de meteorización y formas de alteración de las rocas de construcción de megalitos gallegos. *Nova Acta Científica Compostelana (Bioloxía)*, 12, 203-217.
- Rodríguez Colmenero, A. (1997). *Aquae Flaviae. I. Fontes epigráficas da Gallaecia meridional interior*. Chaves: Câmara Municipal de Chaves.
- Rodríguez Colmenero, A., Ferrer, S., & Álvarez, R. D. (2004). *Miliarios e outras inscricóns viarias romanas do noroeste hispánico (Conventos Bracarense, Lucense e Asturicense)*. Santiago de Compostela: Consello da Cultura Galega.
- Rusinkiewicz, S., Burns, M., & DeCarlo, D. (2006). Exaggerated shading for depicting shape and detail. *ACM Transactions on Graphics*, 25(3), 1-7.
- Santiago, J. de (2004). La epigrafía: evolución conceptual y metodológica. *Documenta & Instrumenta*, 1, 203-220.
- Vergne, R., Pacanowski, R., Barla, P., Granier, X., & Shlick, C. (2010). Radiance Scaling for versatile surface enhancement. In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH symposium on Interactive 3D Graphics and Games (I3D '10)*, pp 143–150. New York: ACM.
- Verhoeven, G. (2011). Taking computer vision aloft - archaeological three-dimensional reconstructions from aerial photographs with photoscan. *Archaeological Prospection*, 18, 67-73.
- Vicente, M. A., Delgado, J., & Acevedo, J. (Eds.). (1996). *Degradation and conservation of granitic rocks in monuments*. Proceedings of the EC workshop held in Santiago de Compostela (Spain) on 28-30 November 1994 [Protection and Conservation of the European Cultural Heritage. Research Report 5]. Brussels: European Commission.
- Vilas-Estévez, B., Vázquez-Martínez, A., & Carrero-Pazos, M. (2017). Going further: (Re)discovering rock art carvings with photogrammetric techniques in Galicia (North-West Iberian Peninsula). In A. Ippolito & M. Cigola (Eds.), *Handbook of research on emerging technologies for digital preservation and information modeling*, pp. 175-200. Hershey, PA: IGI Global.
- Zambell, C. B., Adams, J. M., Gorring, M. L., & Schwartzman, D.W. (2012). Effect of lichen colonization on chemical weathering of hornblende granite as estimated by aqueous elemental flux. *Chemical Geology*, 291, 166-174.

Los autores

Pedro Ángeles Jiménez. Doctor en Historia del Arte y profesor en el Posgrado de Historia del Arte de la UNAM. Autor de artículos y libros especializados tanto en el arte de la Nueva España como en la fotografía y la documentación del patrimonio cultural. Desde noviembre de 1986, labora en el Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM. Actualmente coordina la Unidad de Informática para las Artes (UNIARTE) del mismo Instituto.
pedroa@unam.mx

Denisse L. Argote. Se tituló de la Licenciatura en Arqueología en la ENAH. Posteriormente, realizó sus estudios de posgrado en el área de Exploración Geofísica dentro del programa de Ciencias de la Tierra del Instituto de Geofísica de la UNAM. Realizó un posdoctorado en Geoquímica aplicada a la Arqueología en el Instituto de Geología de la UNAM. Es autora y coautora de diversos artículos científicos publicados en revistas de prestigio a nivel nacional e internacional, en donde ha expuesto la aplicación de metodologías procedentes de las Ciencias de la Tierra, principalmente la geofísica y la geoquímica, para resolver problemáticas en contextos arqueológicos. Así mismo, ha hecho labor de divulgación de la ciencia a través de la presentación de conferencias y ponencias en eventos académicos nacionales e internacionales. Actualmente labora como investigadora en la Dirección de Estudios Arqueológicos del INAH. Su interés principal de investigación es el de incorporar nuevas tecnologías y metodologías para la investigación arqueométrica, como un

medio de obtener datos científicos confiables que puedan ser interpretados desde el punto de vista arqueológico y puedan auxiliar en la comprensión del comportamiento de las sociedades pasadas.
efenfi@gmail.com

Ignacio Arroyo-Fernández. Doctor en ciencia e ingeniería de la computación, con especialidad en Inteligencia artificial por la UNAM. Obtuvo la Maestría en Sistemas Inteligentes Aplicados por la Universidad Tecnológica de la Mixteca (UTM). Tiene grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica (UTM). Ha realizado investigaciones sobre los aspectos teóricos de diferentes modelos de representación de texto en el campo de Procesamiento de Lenguaje Natural, así como en Ciencia de Datos y Aprendizaje Automático con aplicaciones y modelado de problemas de desbalance de datos. *iaf@ciencias.unam.mx*

Katherine Bellamy es candidata al grado de Doctor por la Universidad de Lancaster en Gran Bretaña. Como parte de su tesis de Doctorado investiga los conceptos y representaciones indígenas del espacio y el paisaje, así como los cambios en el área central de México entre el período Posclásico Tardío (1325-1521) y la época colonial temprana (1521-1585), estudiando particularmente la unidad geopolítica del altepetl. De un modo más general, sus trabajos de investigación incluyen el uso de métodos de humanidades digitales, sobre todo aquellos que permiten elucidar geografías históricas. También se especializa en la digitalización de información espa-

cial para el análisis y agregación de datos arqueológicos, históricos y geográficos y su integración en Sistemas de Información Geográficas. Además, ha participado en varios proyectos académicos que abordan el análisis computacional de fuentes históricas textuales y pictográficas, utilizando diversas técnicas desde la lingüística de corpus a la anotación digital y el análisis de mapas históricos.

k.a.bellamy@lancaster.ac.uk

Edgar Beltrán-Alvarado es estudiante de ingeniería telemática en la UPIITA del Instituto Politécnico Nacional en México. Actualmente se desempeña como becario BEIFI desarrollando el diseño y programación de videojuegos educativos para la divulgación del patrimonio cultural.

edgarbeltran97@gmail.com

Mauricio Carrasco Ruiz. Estudiante de la carrera de Ciencias de la Computación en la Facultad de Ciencias de la UNAM; Técnico en computación graduado con mención honorífica en Estudios Técnicos Especializados por la UNAM. Ganador del segundo lugar en la Feria de Ciencias de la UNAM, así como del segundo lugar en el concurso de informes técnicos de estancias cortas de investigación en el área de informática y tecnología. Ganador del primer lugar en los Concursos Inter-preparatorianos de la UNAM en el tema de programación orientada a objetos. maucarrui@ciencias.unam.mx

Miguel Carrero-Pazos. PhD in Prehistory, University of Santiago de Compostela (2017), and Postdoctoral Researcher, University of Santiago de Compostela, GEPN-AAT (2018). Specialist in computationally-informed landscape archaeology, his research focuses on the application of GIS and spatial statistics to model monumental landscapes. He is also interested in 3D imaging techniques and the application of computer tools for the study and 3D analysis of rock art engravings and Roman inscriptions.

miguel.carrero.pazos@gmail.com

Eruvid Cortés Camacho. Es pasante de la Maestría en Medios Interactivos por la Universidad Tecnoló-

gica de la Mixteca (UTM) e Ingeniero en Diseño egresado de la misma Universidad. Actualmente es miembro del cuerpo académico UTMIX-CA-23 - Integración Multidisciplinaria del Diseño en México, participando en las líneas de investigación: Desarrollo y divulgación del diseño regional; Educación mediante diseño de material didáctico volumétrico, impreso y digital y Difusión de la cultura a través de aplicaciones interactivas por computadora. Ha participado en la creación de la Sala Multisensorial para el CAM 04 de Huajuapan de León y en el diseño de la estación interactiva de trabajo para niños de 6 a 15 años como parte del proyecto *Atención a niños con necesidades educativas especiales mediante el desarrollo de recursos didácticos con tecnologías interactivas*, Universidad Tecnológica de la Mixteca. eruvid@mixteco.utm.mx

David Espinosa-Espinosa. PhD in Ancient History, Complutense University of Madrid (2013). Postdoctoral Fellow, University of Santiago de Compostela (2014-2019). Principal Investigator of the research project *Epigraphica 3.0: Hacia la creación y diseño de un corpus digital de inscripciones latinas de la provincia de Ourense* (2017-2019). Member of the research groups Síncrisis. Investigación en Formas Culturais (University of Santiago de Compostela) and Ciudades Romanas (Complutense University of Madrid). Also, member of the research projects *Nuevas bases documentales para el estudio histórico de la Hispania romana de época republicana: onomástica y latinidad (siglos III-I a.C.)* and *Red digital para un milenio de documentación epigráfica en Museos y Archivos de la Comunidad de Madrid* (Complutense University of Madrid). Specialist in colonisation and municipalisation processes in Italy and the western Roman provinces during the Republic and under Augustus, is committed to the application of the digital technologies to study and disseminate Roman inscriptions. davidespinosaespinosa@gmail.com

Jacinto Estima es Profesor Asistente en el Departamento de Tecnología de la Universidade Europeia, en Portugal e investigador en el Laboratorio de Sistemas de Información y de Apoyo de Decisiones

del INESC-ID, en donde aborda problemas relacionados con Sistemas de Información Geográfica y gestión de información; se ocupa específicamente en la aplicación de aprendizaje de máquina para extraer información relevante de datos VGI y de medios sociales. También es Profesor Asistente invitado en la Escuela de Tecnología de Setúbal del Instituto Politécnico de Setúbal.

jacinto.estima@gmail.com

Mariana Favila Vázquez es arqueóloga egresada de la Escuela Nacional de Antropología e Historia y Doctora en Estudios Mesoamericanos por la UNAM. Los últimos diez años se ha dedicado a estudiar las tradiciones de navegación prehispánicas en lo que fuera la antigua Mesoamérica. Su investigación ha sido acreedora al Premio Alfonso Caso, otorgado por el Instituto Nacional de Antropología e Historia a las mejores investigaciones en el área de arqueología. Su tesis de maestría fue publicada por la UNAM como el libro titulado *Veredas de mar y río. Navegación prehispánica y colonial en Los Tuxtlas, Veracruz*. Actualmente es investigadora asociada del Museo del Templo Mayor, en el Instituto Nacional de Antropología e Historia como parte del proyecto *Explorando el México colonial temprano: un análisis computacional a gran escala de fuentes históricas del siglo XVI*, junto con la Universidad de Lancaster, Reino Unido y la Universidad de Lisboa, Portugal.

mariana.favila@gmail.com

Edmundo Arturo Figueroa Viruega. Arquitecto, con Maestría en Arquitectura y Doctorado en Arquitectura por la UNAM; ha colaborado en la restauración de algunos inmuebles de propiedad federal en México; ha centrado su labor profesional en la promoción, difusión y salvaguarda del patrimonio cultural material e inmaterial desarrollando diversos artículos que enfatizan su relevancia y trascendencia además de destacar el valor histórico del patrimonio, realiza una estancia posdoctoral en la Universidad de Guadalajara y actualmente labora en la Subdirección de Restauración de Bienes Históricos y Culturales de la DGSMPC de la Secretaría de Cultura.

eafv@hotmail.com

Manuel Gándara. Doctor en Diseño y Nuevas Tecnologías (UAM-A), y Doctor en Antropología (ENAH), con estudios doctorales en Antropología y Filosofía de la Ciencia en la Universidad de Michigan. Investigador de tiempo completo en el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) desde 1972. Arqueólogo de formación original, ha escrito artículos y libros sobre teoría arqueológica, epistemología y metodología de las ciencias sociales e interacción humano-computadora; y más recientemente, sobre la divulgación como herramienta de conservación del patrimonio arqueológico, en particular mediante el uso de nuevas tecnologías y estrategias de comunicación. Desarrolló más de tres docenas de programas interactivos multimedia para museos. Dirigió la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH) y el Centro de Tecnología y Medios Educativos de la Secretaría de Educación Pública. Adaptó la estrategia de educación patrimonial “interpretación temática” al contexto latinoamericano: la llamada “divulgación significativa”, aplicada en exposiciones y sitios arqueológicos. Asesor de proyectos nacionales en cuestiones de usabilidad y divulgación. Becario Fullbright y del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Recibió el Premio al Académico Distinguido, de la Universidad de Nueva Inglaterra, en Australia; es Miembro del Sistema Nacional de Investigadores CONACYT nivel 2. Actualmente, profesor del Posgrado en Museología de la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía del INAH.

manuel_gandara_v@encrym.edu.mx

Ian Gregory. Profesor de Humanidades Digitales en la Universidad de Lancaster. Ha utilizado los sistemas de información geográfica (SIG) en un amplio campo de las humanidades que va desde la mortalidad infantil en el siglo XIX hasta la literatura en el Lake District de Gran Bretaña. Entre sus libros se cuentan *Toward Spatial Humanities: Historical GIS and Spatial History* (con A. Geddes), *Troubled Geographies: A Spatial History of Religion and Society in Ireland* (con cuatro autores más), *Historical GIS: Technologies, Methodologies, Scholarship* (con P. Ell), *A Place in History: A Guide to Using GIS in Historical Research*,

The Routledge Companion to Spatial History (con D. DeBats y D. Lafreniere) y *Great War Lancaster: Remembering 1914-1918* (con tres autores más). También ha escrito numerosos artículos, así como capítulos de libros. De igual manera, instituciones como el Consejo Europeo de Investigación, el Fideicomiso Leverhulme, el Consejo Británico de Investigación sobre Artes y Humanidades, el Consejo Británico de Investigación Económica y Social, la Academia Británica y el Fondo Nacional para las Humanidades le han otorgado financiamiento. Es director adjunto del Concentrador (HUB) de Humanidades Digitales en Lancaster. *i.gregory@lancaster.ac.uk*

Erick Huitrón Ramírez. Maestro en Tecnología de Cómputo con especialidad en Realidad Virtual, egresado del Centro de Innovación y desarrollo Tecnológico en Cómputo del Instituto Politécnico Nacional, con el trabajo de tesis *Aplicación de Realidad Aumentada para la visualización del modelo reconstructivo de una zona arqueológica*. Ingeniero en Mecatrónica egresado de la Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas del Instituto Politécnico Nacional, donde actualmente es profesor de tiempo completo atendiendo las áreas de Visión Artificial, Instrumentación Virtual, Análisis de señales y sistemas, Graficación en 3D, Sistemas Neurodifusos y Realidad Virtual para las carreras de Ingeniería Mecatrónica, Biónica y Telemática.
ehuitronr@ipn.mx

Diego Jiménez-Badillo. Pionero en México de la arqueología computacional. Desarrolla tecnologías informáticas para el análisis y la difusión del patrimonio cultural aprovechando los avances más recientes en aprendizaje automatizado, visión por computadora, reconocimiento de patrones y minería de datos. Dirige la Red Temática Conacyt de Tecnologías Digitales para la Difusión del Patrimonio Cultural; codirector del capítulo mexicano de la asociación *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*. Autor y editor de libros y artículos sobre arqueología computacional. Doctor en Ciencias de la Información Geográfica (University College London); realizó estudios de maestría en

Ciencias de la Computación (Fundación Rosenblueth) y en Estudios de Asia y África (El Colegio de México). Dirige el proyecto *Desarrollo de Aplicaciones de Computación en Arqueología* en el Instituto Nacional de Antropología e Historia.
diego_jimeneza@nah.gob.mx
diego.jimenez16@gmail.com

Liana Ivette Jiménez Osorio. Actualmente es candidata a doctorado por la Facultad de Arqueología en el departamento de Herencia Cultural de los Pueblos Indígenas en la Universidad de Leiden, Países Bajos. Su trabajo de investigación se centra en la Herencia Viva del Pueblo Mixteco, específicamente en la percepción que los habitantes tienen del tiempo en relación a las actividades que llevan a cabo en el paisaje. Con esta investigación busca replantear el vínculo cultural entre presente y pasado para el quehacer arqueológico. Realizó sus estudios de Licenciatura en Arqueología en la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH). Como parte de su preparación profesional participó en diferentes proyectos arqueológicos a nivel nacional así como en Nicaragua y Perú. Del 2005 al 2011 trabajó como responsable en varios proyectos arqueológicos del Centro INAH, Oaxaca. En el 2016 fue codirectora del proyecto *Recorrido de Superficie en el área de San Miguel el Grande-Santa Catarina Yoso Notu, Oaxaca: la cabecera y el centro ceremonial de Nuu Ndaya (El lugar de la Muerte)*, Universidad de Leiden.
lianaji@hotmail.com

Raquel Liceras Garrido es investigadora postdoctoral del proyecto *Digging into Early Colonial Mexico* en la Universidad de Lancaster (Reino Unido). Estudió Arqueología en la Universidad Complutense de Madrid (España) donde se especializó en Prehistoria y Tecnologías de la Información Geográfica. En 2017, completó su doctorado en Arqueología de la Edad del Hierro en la misma universidad. Previamente, trabajó para el Equipo Arqueológico de Numancia y el Instituto de Arqueología de Mérida (CSIC). Su investigación se centra en la intersección entre las Humanidades y las Ciencias de la Computación, enfocándose especialmente en el desarrollo de

metodologías y creación de recursos digitales a partir de información arqueológica e histórica. También ha dirigido pequeños proyectos de investigación relacionados con aplicaciones de Inteligencia Artificial para la transcripción automática de texto manuscrito y el desarrollo de material didáctico para la difusión de la investigación en StoryMaps. Recientemente, su trabajo se ha enfocado a la arqueología de las mujeres y cómo las aplicaciones computacionales pueden contribuir a cerrar la brecha de género a través de la investigación. raquel.liceras@gmail.com

Jannu Lira Alatorre es arqueólogo egresado de la Escuela Nacional de Antropología e Historia; Profesor de la Licenciatura en Arqueología desde hace 20 años en donde ha impartido más de 55 cursos sobre introducción a la antropología, lítica, manejo de recursos e historia de México y materias optativas relacionadas con la arqueología clásica, Grecia, Roma y la cultura Celta. Cursó la Maestría en Geografía de la UNAM; es colaborador del Laboratorio de Análisis Lítico y Experimentación de la Litoteca de la Licenciatura en Arqueología desde 1997. Se ha especializado en el análisis de los materiales líticos arqueológicos y en la aplicación de técnicas de registro digital para su análisis. Ha trabajado los contextos de mineros relacionados a la extracción de la obsidiana y ha colaborado con el Departamento de Planeación Académica de la ENAH para los procesos de ingreso a las licenciaturas como coautor de la guía de estudio y exámenes de admisión. También ha participado en proyectos internacionales con el Precolumbian Art Research Institute para la excavación de los porta-incensarios de Palenque, asimismo colaboró en el taller *Subaltern Recogito: Annotating the sixteenth-century maps of the Geographic Reports of New Spain*, dentro del Proyecto *Digging into the Early Colonial Mexico* del INAH, la Universidad de Lánchester U.K y la Universidad de Lisboa.
jannu7710@gmail.com

Pedro López García. Licenciado en Arqueología por la ENAH y con Maestría y Doctorado en el área de Sensores Remotos dentro del programa de Ciencias de la Tierra del Instituto de Geofísica de la UNAM.

Autor y coautor de diversos artículos científicos publicados en revistas de prestigio a nivel nacional e internacional, abarcando temas como el procesamiento digital de imágenes, métodos multivariados y análisis estadístico, geofísica y la geoquímica para la resolución de problemas relacionados con la Arqueología. Actualmente labora como profesor-investigador titular en la Escuela Nacional de Antropología e Historia, en donde también es responsable del Laboratorio de Geoarqueología. Algunos de los proyectos en los que participa son: *Prospección geofísica en sitios arqueológicos como Teteles de Ocotitla, Xalasco y Teteles del Santo Nombre, Detección del Camino Real a través de sensores remotos, Análisis de procedencia de artefactos de obsidiana*, entre otros. Algunos de sus intereses principales son fomentar proyectos de investigación multidisciplinarios que permitan incluir a los alumnos e investigadores en el conocimiento y aplicación de nuevas metodologías y tecnologías de punta, necesarias para la explotación arqueológica. dplopez14@gmail.com

Bruno Martins es Profesor Asistente en el Departamento de Ciencias de la Computación e Ingeniería del Instituto Técnológico Superior de la Universidad de Lisboa (IST/UL). Además es investigador del Laboratorio de Sistemas de Información y Apoyo de Decisiones del INESC-ID, donde trabaja en problemas relacionados a la recuperación de información, minería de textos y ciencias de la información geográfica. Obtuvo su grados de Maestría y Doctorado en Ciencias de la Computación en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Lisboa. Ha participado en varios proyectos orientados al acceso y recuperación de información geoespacial, acumulando una sólida experiencia para resolver problemas que requieren de la combinación de tecnologías del lenguaje, aprendizaje de máquina y ciencias de la información geográfica.
bgmartins@gmail.com

Emiliano Melgar Tísoc es Licenciado en Arqueología por la Escuela Nacional de Antropología e Historia (México), Maestro y Doctor en Antropología por la Universidad Nacional Autónoma de México. Es

Profesor-Investigador del Museo del Templo Mayor desde 2004 y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Ha trabajado en proyectos de investigación en México, Estados Unidos, Guatemala, Costa Rica, Perú y Ecuador. Ha publicado más de 100 artículos científicos y tres libros. Por sus investigaciones ha sido distinguido con el Premio Alfonso Caso 2005 a la mejor tesis de Licenciatura en Arqueología y el Premio Teotihuacan 2011 a la mejor investigación sobre esa ciudad. En 2019 fue galardonado con el Premio de Investigación para Científicos Jóvenes en el Área de Humanidades de la Academia Mexicana de Ciencias.

emiliano_melgar@inah.gob.mx
anubismarino@gmail.com

Carlos Francisco Méndez-Cruz. Investigador Asociado C en el Programa de Genómica Computacional del Centro de Ciencias Genómicas (CCG) de la UNAM. El objetivo de su trabajo es la extracción de conocimiento de literatura biomédica mediante métodos de procesamiento de lenguaje natural y aprendizaje automático. cmendezc@ccg.unam.mx

Alma Itzel Méndez Lara es Licenciada en Diseño Gráfico egresada de la Universidad Nacional Autónoma de México con la tesis *Rediseño del cedulario y folleto del Sitio Arqueológico del Templo Mayor*. Asimismo, cuenta con la Especialidad en Museografía por la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía en donde desarrolló el proyecto *Propuesta Museográfica del Museo de Sitio de Castillo de Teayo del INAH*. Sus principales líneas de investigación son el patrimonio cultural y la aplicación de la tecnología para su divulgación, especialmente la realidad aumentada y virtual, así como entender su impacto en los usuarios. Ha impartido ponencias relacionadas con la realidad aumentada como herramienta de la divulgación cultural. Además es co-autora del artículo "Realidad aumentada: una herramienta de divulgación para la zona arqueológica de Tulum" en la Gaceta de Museos 2016-2017. En los últimos años trabajó en el desarrollo de la aplicación móvil Tulum RA de realidad aumentada para divulgar los trabajos de conservación realizados

por la Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural del INAH.
aml.cncpc@gmail.com

Edgar Israel Mendoza Cruz es Pasante en Arqueología por la Escuela Nacional de Antropología e Historia; estudió la Licenciatura en Sociología en la UNAM. Actualmente es encargado de la Litoteca del Departamento de Colecciones Arqueológicas Comparativas de la Dirección de Estudios Arqueológicos del INAH. Sus líneas de investigación son el análisis de artefactos líticos tallados, pulidos y lapidarios, resguardo y conservación preventiva del patrimonio arqueológico y los estudios sobre procesos de evangelización. Ha participado en diversos ciclos de ponencias a nivel nacional e internacional y es coautor en diversos artículos enfocados en las temáticas mencionadas. ei.mc.1227@gmail.com

Ernesto Miranda Trigueros. Licenciado en Lengua y Literaturas Hispánicas por la UNAM y Maestro en Humanidades Digitales por el King's College de Londres. Ha sido becario de la Getty Foundation y de la Fundación INBA-CONACYT. Es miembro fundador de la Red de Tecnologías Digitales para la Difusión del Patrimonio Cultural (Red TDPC) INAH-CONACYT, docente en la maestría en comunicación y humanidades digitales en la Universidad del Claustro de Sor Juana, del Diplomado de Patrimonio Cultural INAH-CNAN y mentor del programa TALENTUM del CIDE. Ha trabajado en diversas instituciones culturales mexicanas y extranjeras en puestos de alto nivel, en la creación de políticas públicas, proyectos y estrategias de investigación, divulgación y preservación cultural y artística a través de canales análogos y digitales.

emiranda@cultura.gob.mx
mirandatrigueros@gmail.com

Claudio Molina Salinas es doctor en lingüística por la Universidad Nacional Autónoma de México. Sus líneas de investigación son: el estudio y descripción de la terminología del patrimonio, la lexicografía especializada (terminografía) y los lenguajes documentales. Algunos de sus productos académicos

más representativos y que han sido publicados recientemente son: Aplicación de un método de normalización de frecuencias a la evaluación de la neologicidad del léxico hispánico en muestras primordiales (2020), Un modelo de definiciones terminográficas para un glosario de documentos litúrgicos virreinales de México (2020), Mexico's Tradition and Culture Entering the Digital Age: The Mexican Cultural Heritage Repository Project (2019) y Una metodología para la construcción de un sistema conceptual para un tesoro de las artes espaciales en México (2018). Actualmente, es investigador del Instituto de Investigaciones Estéticas de la UNAM. Su Orcid es el 0000-0001-5607-9924.
claudio.molina.salinas@gmail.com

Maurits Omar Montañez Vázquez es un emprendedor y educador que trabaja en la intersección de la cultura y la tecnología. Es ingeniero en Sistemas Computaciones por el Instituto Tecnológico de Morelia (Méjico) y Maestro en Ciencias en Innovación y Diseño Estratégico por la Parsons School of Design de Nueva York (EEUU). Se especializa en la creación de nuevos medios y experiencias digitales interactivas para la difusión de cultura. Es fundador y director de Manuvo, empresa mexicana que ayuda a las organizaciones culturales de América Latina y Europa a realizar el potencial de las tecnologías digitales para conectar con sus audiencias y atraer a otras nuevas. En 2016 la revista MIT Technology Review reconoció a Maurits como uno de sus Innovadores Menores de 35 años, la distinción más importante a nivel mundial para jóvenes innovadores que se encuentran a la vanguardia tecnológica, dando soluciones a problemas globales.
maurits@manuvo.com

José M. Morales del Castillo (Granada, España, 1974) es doctor en Documentación por la Universidad de Granada, donde desempeña tareas docentes y de investigación desde 2018. Ha desarrollado su carrera académica en diferentes universidades de España y Reino Unido, así como en El Colegio de México. También ha trabajado como asesor en el desarrollo del modelo de datos del portal Mexicana

de la Secretaría de Cultura. Sus líneas de investigación incluyen la aplicación de tecnologías de Web Semántica y técnicas de lógica difusa a sistemas de recomendación para su implementación en sistemas de información, o el uso de las TIC y la gamificación en el desarrollo de nuevas metodologías docentes en el ámbito de la educación superior universitaria.
jose.mordelca@ugr.es

Patricia Murrieta-Flores es co-directora del Centro de Humanidades Digitales de la Universidad de Lancaster en Gran Bretaña. Sus líneas principales de investigación son las humanidades espaciales y el desarrollo de teoría y métodos con sistemas de información geográfica, lingüística de corpus y procesamiento natural de lenguaje para la investigación de temas en arqueología, historia, literatura y lenguas modernas, entre otras disciplinas. Es directora de varios proyectos interdisciplinarios y colaboradora en múltiples iniciativas internacionales que tratan temas de arqueología computacional, mapeo de fuentes históricas y literarias, y desarrollo de técnicas computacionales para humanidades, entre otros. Es miembro de los comités científicos de diversas organizaciones internacionales y co-directora del capítulo mexicano de la conferencia internacional *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology*.
p.murrieta@lancaster.ac.uk

Emmanuel Posselt Santoyo. Actualmente se encuentra realizando su doctorado en la Universidad de Leiden, Facultad de Arqueología en el departamento de Herencia de los Pueblos Indígenas, en los Países Bajos. Su investigación se centra en el estudio del paisaje de la región Ñuu Savi (Mixteca) con especial enfoque en los vínculos entre el pasado precolonial y los conocimientos y percepciones contemporáneos. Es Licenciado en Arqueología por la Escuela Nacional de Antropología e Historia (ENAH), durante este tiempo tuvo experiencia de campo en varios proyectos arqueológicos nacionales y uno en Perú. Del 2004 hasta el 2011 trabajó en el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH) sede Oaxaca en donde fue el encargado de diferentes proyectos de recorrido y excavación arqueológica.

En el 2016 fue codirector del proyecto *Recorrido de superficie en el área de San Miguel el Grande - Santa Catarina Yosonotu, Oaxaca: La cabecera y el centro ceremonial de Nuu Ndaya (El lugar de la Muerte)*; Universidad de Leiden. eps537@hotmail.com

Angel Pretelín-Ricárdez es Doctor en Ciencias en Matemática Educativa por el Cinvestav IPN. Actualmente es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y Profesor Investigador Titular "C" en la UPIITA del Instituto Politécnico Nacional en México, donde se ha desempeñado como Jefe del Departamento de Tecnologías Avanzadas y Coordinador del Programa Institucional de Formación de Emprendedores. Su investigación se ha enfocado en el diseño de videojuegos educativos, aprendizaje basado en la construcción de videojuegos, el aprendizaje basado en videojuegos, modelación matemática y computacional y la creación de ambientes virtuales para el aprendizaje interdisciplinario de las ciencias.
apretelin@ipn.mx

Vania Ramírez Islas. Especialista en nuevos medios, ha trabajado en instituciones del sector público como la Universidad Nacional Autónoma de México, la Secretaría de Relaciones Exteriores, el Instituto Nacional de Antropología e Historia, la Secretaría de Cultura y el Museo Franz Mayer. Es Maestra en Diseño, Arte y Medios por la UNAM (línea de desarrollo de medios interactivos), Licenciatura en Diseño y Comunicación Visual y cuenta con una especialidad en Medios Audiovisuales y Multimedia. Ha desarrollado la gestión y conceptualización de proyectos (alrededor de 20 sistemas, repositorios, plataformas y aplicaciones) como Mexicana, Repositorio del Patrimonio Cultural de México, Museos de México, que incluye la transformación digital de 7 museos nacionales, el proyecto editorial de Códices de México, y la coordinación congresos sobre propiedad intelectual y protección del conocimiento tradicional indígena. vramirez@cultura.gob.mx
vaniasa.ramirez@gmail.com

Minerva Rodríguez Licea, Arquitecta por la UAM Xochimilco, Maestra en Arquitectura en el campo

de restauración de monumentos y Doctora en Arquitectura, ambas por la UNAM, cuenta con una maestría en Educación y Docencia; es Candidata a Investigadora por el Sistema Nacional de Investigadores del CONACyT, se desempeñó como Profesora Investigadora de Tiempo Completo y Coordinadora de la Maestría en la Universidad de Colima, realiza una estancia posdoctoral en la UAM Xochimilco y actualmente es Arquitecta Perito en el Centro INAH Querétaro. minelicea@gmail.com

Edgar Román-Rangel es investigador del Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM); se especializa en el campo de visión por computadora, recuperación de información y aprendizaje profundo para el reconocimiento automático de imágenes. Gran parte de su trabajo está enfocado a desarrollar soluciones ingenieriles para retos científicos surgidos en la arqueología y las artes digitales. En 2013, obtuvo el grado de Doctor en la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) y el grado de Maestría en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), Campus Cuernavaca en 2006. edgar.roman@itam.mx

Xavier Rubio-Campillo aplica su conocimiento en Ciencias de la Computación al estudio del pasado. Ha participado en diversos proyectos sobre simulación en arqueología como *SimulPast* o *EPNet* en calidad de líder del equipo de investigación en Humanidades del Barcelona Supercomputing Centre. Su trabajo se ha publicado en numerosas revistas de impacto internacional como *Journal of Archaeological Science*, *PLOS ONE* y *Antiquity*. En la actualidad es profesor de Arqueología Computacional en la universidad de Edimburgo dónde investiga campos tan diversos como el uso de simulación, la arqueología del conflicto, o el estudio de la evolución cultural. Combina esta actividad con la creación de videojuegos transformativos como miembro del estudio de desarrollo *Murphy's Toast Games*.
xavier.rubio@ed.ac.uk

Salvador Ruiz Correa es fundador y Director del Youth Innovation Laboratory (You-i Lab) en el Centro

Nacional de Supercómputo del Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICyT). Realiza investigaciones para crear nuevas metodologías de visión computacional, aprendizaje estadístico, computación ubicua, estadística aplicada y colaboración distribuida móvil, las cuales aplica en proyectos de investigación-acción con impacto social en México y América Latina. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores; co-director de la iniciativa *Center for Mobile Life* (CeMobili) que agrupa instituciones en México y Suiza. Obtuvo el grado de Doctor en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Washington en Seattle y realizó estudios de Maestría en Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Universidad Nacional Autónoma de México.

salvador.ruiz@ipicyt.edu.mx

Héctor Valverde Martínez. Licenciado en Comunicación y Gestión de la Cultura y las Artes por la Universidad de la Comunicación, con especialidad en Museografía por la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía "Manuel del Castillo Negrete" ENCRyM del INAH. Participó como ponente en el 6º Encuentro de Estudiantes de Arte y Patrimonio de la UACM, el XIX Foro Estudiantil Latinoamericano de Antropología y Arqueología de la UAM, el XII AIMAC International Arts and Cultural Management Conference, el 1er Encuentro Nacional

de Gestión Cultural, los Simposios Anuales ICOM 2016, 2017 y 2018, el 2º Coloquio Desarrollo Tecnológico al Servicio del Patrimonio Cultural, y en el II Congreso Internacional de Archivos Digitales. Presentación de Póster en el 40º Simposio ICOFOM y 25º Encuentro Regional de ICOFOM LAM. Actualmente colabora en el Centro de Investigación, Documentación e Información Museológica de la Coordinación Nacional de Museos y Exposiciones - INAH.

hector_valverde@inah.gob.mx

hecvalma@gmail.com

Miguel Won es investigador en el Instituto de Ingeniería de Sistemas y Computadoras (INESC-ID) de Portugal. Sus intereses académicos se concentran en el campo de la Ciencia Social Computacional, específicamente en la intersección del Procesamiento Natural del Lenguaje y los Estudios Sociales. Su trabajo se centra en la extracción de medidas inteligentes de datos sociales, tales como datos parlamentarios y medios sociales. Ha trabajado en instituciones políticas de Portugal en el análisis de discursos parlamentarios y actualmente está dedicado al estudio de las dinámicas de medios sociales en línea.

miguelwon@tecnico.ulisboa.pt

miguelwon@gmail.com

PATRIMONIO DIGITAL

Métodos computacionales y medios interactivos
para estudiar y divulgar el patrimonio cultural.

Este libro se terminó de imprimir en los talleres de Offset Santiago S.A. de C.V., ubicados en calle Salvador Velasco No. 102, Manzana 4, Lotes 2 y 3, Colonia Parque Industrial Exportec, Toluca, EDOMEX, en el mes de diciembre de 2021. Se empleó papel couché semimate de 150 gr para los interiores y cartulina sulfatada de 270 gr para la cubierta. También se utilizaron las familias tipográficas Myriad Pro y Adobe Casion Pro. El cuidado editorial estuvo a cargo de Diego Jiménez-Badillo, y el diseño estuvo a cargo de Juan Carlos Jiménez Abarca.

El tiraje fue de 1000 ejemplares.

Colección Arqueología

Serie Fundamentos

Este libro reúne la experiencia de 39 investigadores dedicados a desarrollar métodos, técnicas y herramientas digitales para facilitar el análisis, preservación y divulgación del patrimonio cultural. El contenido se organiza en 17 capítulos de temas muy diversos, entre los cuales se cuentan: el uso de visión por computadora para analizar la morfología tridimensional de objetos arqueológicos, la combinación de lingüística computacional con análisis espacial para identificar patrones de información en documentos históricos, la aplicación de Quimiometría para determinar la procedencia de objetos de obsidiana, y el análisis de imágenes por transformación de reflectancia para detectar huellas en objetos de piedra. A esos trabajos se suman artículos que discuten las ventajas de los videojuegos para el aprendizaje de la historia y la arqueología, el uso de la realidad virtual y aumentada en la reconstrucción de zonas arqueológicas y una discusión de los criterios de usabilidad que deben considerarse al diseñar aplicaciones digitales. El libro también incluye una descripción del Modelo de Datos México y un texto sobre el desarrollo de Mexicana, el concentrador de información en línea que reúne millones de datos del patrimonio cultural conservado en museos e instituciones culturales de México. Además, hay un artículo que describe aplicaciones en tres medios digitales para divulgar la poesía de Octavio Paz, preservar documentos históricos y conservar las lenguas indígenas. El lector también encontrará un artículo que describe la implementación de una base de datos de la epigrafía romana de Galicia.

Confiamos en que este libro, impulsado por la Red Conacyt de Tecnologías Digitales para la Difusión del Patrimonio Cultural (RedTDP) y el Instituto Nacional de Antropología e Historia, anime al lector a adoptar o mejorar las propuestas aquí publicadas con el fin de facilitar nuestro acercamiento al patrimonio cultural.



**GOBIERNO DE
MÉXICO**

CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA

