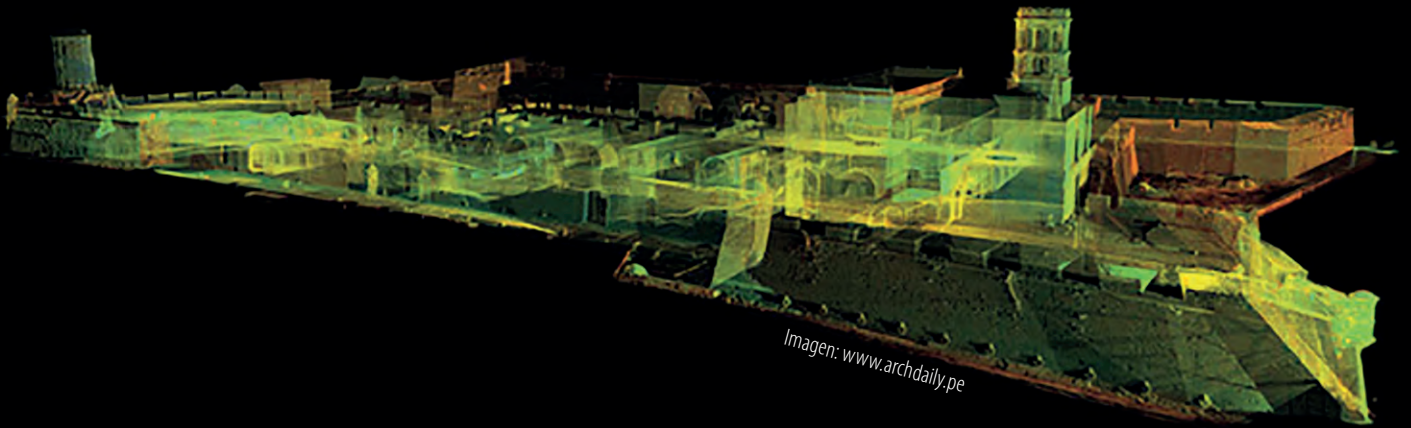


Recibido: 20.10.2021 • Aceptado: 20.11.2021

Palabras clave: Tecnología digital, registro y documentación, realidades digitales.



# Tecnología en la investigación del patrimonio arquitectónico y arqueológico

Para la investigación, conservación y difusión de los espacios arquitectónicos y arqueológicos es necesaria su documentación y registro. A continuación, se presentan propuestas para tal fin que involucran varios procedimientos y tecnología digital, lo cual se está empleando para el proyecto: “El patrimonio cultural-natural en las políticas y gestión del desarrollo urbano-territorial en ciudades mexicanas del siglo XXI (PC-N)”, el cual cuenta con recursos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y participan investigadores de las facultades del Hábitat de la UASLP, de Arquitectura de la UADY, de Arquitectura de la UMSNH, y el Instituto de Investigaciones Antropológicas, Centro Peninsular en Humanidades y Ciencias Sociales, así como el Instituto de Investigaciones Sociales, estos dos últimos de la UNAM.

GUADALUPE SALAZAR GONZÁLEZ

salazarg@fh.uaslp.mx

FACULTAD DEL HÁBITAT, UASLP

JOSEP LIGORRED PERRAMON

Jose.ligorred@correo.uady.mx

FACULTAD DE ARQUITECTURA, UADY

Exponemos primero lo concerniente al patrimonio arqueológico bajo tierra; después arquitectónico y el territorio, incluyendo el patrimonio natural; cerramos con las opciones para la investigación, difusión, conservación y educación a través de las representaciones en las realidades: virtual, aumentada, mixta y extendida.

### Registro espacial bajo tierra

El patrimonio arqueológico suele estar en ruinas sobre el suelo o con frecuencia se encuentra bajo las ciudades actuales o abandonadas. Para el patrimonio "invisible", cuando no se ha detectado su existencia o cuando hay sospechas de ello, se emplean estudios de prospección con técnicas de georadar, lo cual permite identificar la traza de las capas de ocupación de los pueblos originarios, del periodo virreinal, del siglo XIX y aun del

XX, como es el caso de la ciudad maya T'Hó, sobre la cual se edificó Mérida o de la ciudad de México sobre Tenochtitlán.

El radar de penetración terrestre (GPR) es una técnica geofísica superficial no destructiva y de exploración del subsuelo que hace recorridos lineales; su antena genera pulsos electromagnéticos de radiofrecuencia de 10-2500 Mhz y un odómetro cuenta los kilómetros, y una computadora muestra las alteraciones que se reflejan de vuelta a la superficie por la antena, sea elementos enterrados u horizontes de suelos con cambios que afecten la propagación de las ondas de los pulsos y distingue capas del subsuelo de la superficie del terreno con alta resolución. De este modo se obtienen perfiles continuos distancia/tiempo, llamados radargramas que registran de forma indirecta una imagen del perfil del subsuelo, revelando huellas constructivas. Es el caso

de los vestigios identificados de la antigua T'Hó (imagen 1).

### Espacios construidos sobre el suelo

En el caso de los espacios edificados y naturales sobre el suelo pueden hacerse levantamientos digitales topográficos para mapas con curvas de nivel o planimetría de la evidencia arqueológica, así como levantamientos arquitectónicos a través de varias técnicas e instrumental, como: el distanciómetro láser portátil, la estación total, el escáner 3D o con fotogrametría aérea digital por vehículos aéreos con técnicas TLS (*Transport Layer Security*, asegura la conexión a internet al transferir datos), la fotografía digital 3D y con drones e imágenes de detección y regeneración de imágenes láser (LiDAR). Estas opciones tienen diferentes niveles de tecnología y pueden usarse según la escala de los espacios, la representación que se requiera (planos arquitectónicos y topográficos o maquetas 3D) y la precisión que se desee.

El distanciómetro láser portátil obtiene de modo rápido y milimétricamente distancias en superficies que miden desde uno hasta 300 metros, sin riesgos para el operario. La medición es desde las esquinas, desde allí el puntero del distanciómetro lanza un rayo al límite a medir donde el sensor lo detecta y arroja la dimensión, lo que ha permitido medir la altura de la cúpula del templo del Carmen. También combina inclinación y medición, por lo que al triangularse puede conocerse la distancia horizontal o vertical, aun cuando haya obstáculos, como en las haciendas de beneficio minero de Monte Caldera invadidas de maleza.

El teodolito de estación total es electrónico y óptico, permite levantamientos topográficos y arquitectónicos; mide de modo electroóptico (señal infrarroja modulada) la

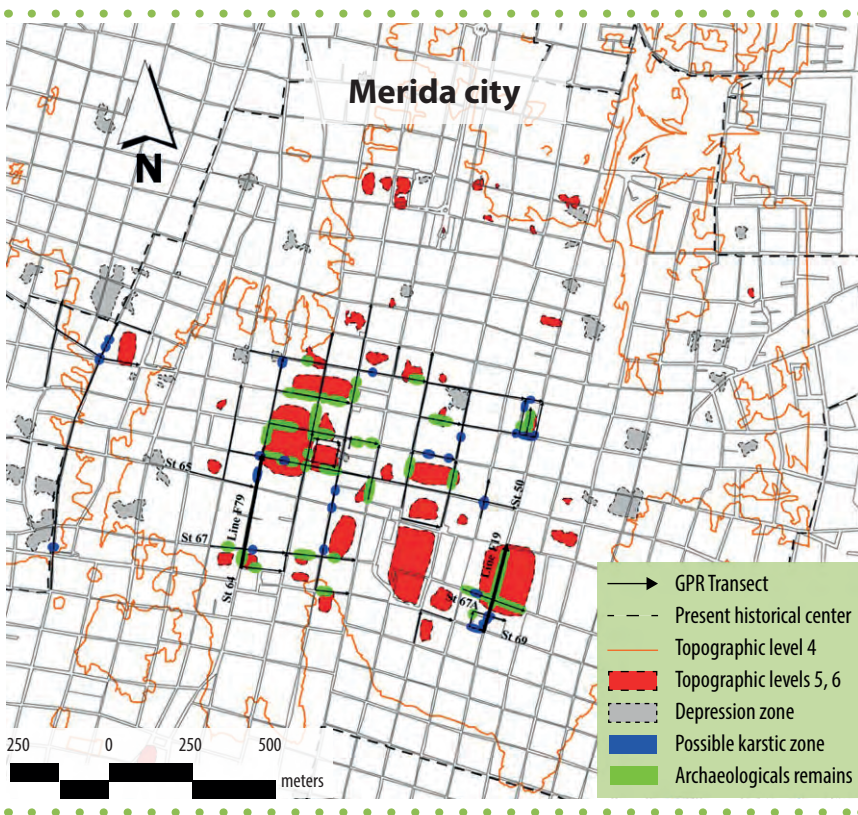


Imagen 1. Mapa de anomalías georadar del Centro histórico de Mérida



distancia y ángulos verticales y horizontales de 52 o 10 pulgadas de arco, así como la distancia inclinada entre el instrumento y un punto específico. La distancia se registra al emitir y recibir múltiples frecuencias a un punto sin obstáculo y dar la cantidad entera de longitudes de onda al objetivo para cada frecuencia. La computadora de la estación colecta los datos y hace el cálculo de triangulación y se muestra el mapa o plano en la pantalla táctil después de medir los puntos. La estación total mide distancias de hasta 1500 metros con una precisión de 1.5 milímetros  $\pm$  2 partes por millón. La estación total complementa el trabajo del escáner laser 3D al corroborar la posición georeferencial de las estaciones de escaneo 3D.

El escáner 3D laser es una técnica de escaneo láser terrestre; es un artefacto ligero (1 kg), pequeño y portátil que con sólo tocar un botón y con el apoyo de una tableta, registra automáticamente con gran precisión el mundo real en tres dimensiones, con una tasa de medición de hasta dos millones de puntos por segundo, por lo que en pocos minutos puede registrarse un recinto con una resolución de 3, 6 y 12 milímetros. Las tres cámaras del escaner 3D crean imágenes de alto rango dinámico y barre el espacio en los 360° en menos de tres minutos (en resolución estándar), de esta forma genera una nube de puntos 3D en color con base en tecnología espectrofotometría; además, ofrece una imagen térmica del volumen y sus espacios. Lo registrado en cada estación puede revisarse en sitio, en tiempo real y comprobar cómo toma forma los edificios en dos y tres dimensiones. Con un software, en la oficina, se integra el modelo 3D, que podrá comunicarse con CloudWorx u otro sistema de concepción asistida por computadora (CAO) o dibujo asistido por computadora (CAD) como autodesk recap, revit, autocad o archicad

para obtener los planos arquitectónicos, como se ha hecho para la columna de la plaza de San Juan de Dios, que además ha permitido medir su pérdida de verticalidad; la información apoya la investigación y las políticas de conservación del patrimonio cultural edificado y natural (imagen 2).

LiDAR es una técnica de teledetección óptica que, a partir de un foco emisor, lanza una luz láser infrarroja y de una lente receptora infrarroja que hace ver los haces láser al “rebotar” en los objetos, se obtiene el registro de la superficie de la tierra con mediciones exactas de x, y y z. LiDAR genera una nube de puntos del espacio que la computadora procesa para obtener una imagen tridimensional en tiempo real, donde cada punto registró con precisión su posición en el espacio y la distancia que hay hasta él desde el foco LiDAR y con el resto de los puntos. Algunos LiDAR giran a 360° y cubre

el espacio; con un software pueden quitarse capas superiores (como la masa arbórea) para dejar ver las inferiores (la topografía, lo arquitectónico, los caminos), es el caso para las zonas arqueológicas ocultas por la maleza y que el LiDAR desvela.

### Sistema de información geográfico

Los levantamientos fotográficos, información cartográfica del territorio, imágenes 3D de las ciudades, las edificaciones y su georreferenciación, se reúnen en un sistema de información geográfico (SIG), el cual genera capas de información para visualizarla, crear imágenes, consultarla, analizarla y cruzarla para identificar y prever problemas y situaciones; además de monitorear cambios, tendencias y patrones. El SIG del proyecto pc-n, en su primera etapa, es una base de datos del acervo documental y bibliográfico y de los primeros registros por esas tecnologías (imagen 3).



Imagen 2.

Plano del centro histórico de Mérida con SIG y en 3D con CAD de la ciudad maya T'Ho

## Medios para la difusión y educación

Las nuevas tecnologías digitales han superpuesto e insertado la realidad virtual en la física, por ello aquí exponemos unas opciones no invasivas, algunas de ellas inmersivas, que pueden apoyar o ampliar la capacidad mental (Carr, 2011) a favor del pensamiento visoespacial, sensitivo y crítico de las personas, así como proporcionar insumos para la investigación y difusión de los espacios natural y artificial.

Las nuevas tecnologías coadyuvan a que la información del mundo real (actual y del pasado) se presente con imágenes y sea interactiva; además, ahorra tiempo, recursos y facilita la comprensión de los espacios; permiten la representación vir-

tual o combinar objetos reales con otros virtuales o con elementos ficticios, con la ventaja de que se pueden manipular o simular otras realidades o condiciones. Su aplicación genera: simuladores gráficos, salas de realidad virtual, sistemas de visualización de zonas patrimoniales (naturales y edificados) virtuales (VR) o de realidad aumentada (AR), mixta (MR) o extendida (XR); lo cual a continuación exponemos brevemente.

La realidad virtual es la creación por computadora de una realidad digital, a la que se accede por medio de un visor que sumerge al usuario en un entorno digital artificial y lo aísla de su entorno físico real y ofrece una realidad simulada 100

por ciento virtual en la pantalla. El visor permite la inmersión y crea una realidad digital como si fuera real, que para la conservación sirve para hacer hipótesis de cómo pudo haber sido o es una edificación, un espacio urbano, una ciudad o un paisaje.

Para superar ver el mundo en una pantalla plana, una cámara de 360° registra los espacios físicos y, al crear videos, ofrece experiencias inmersivas del mundo real (imagen 4), permite experimentar el espacio en 3D y realizar recorridos empleando un visor de realidad virtual. A veces permite, a través de software, incluir en ellos elementos que quizá estuvieron, o descomponer sus elementos para

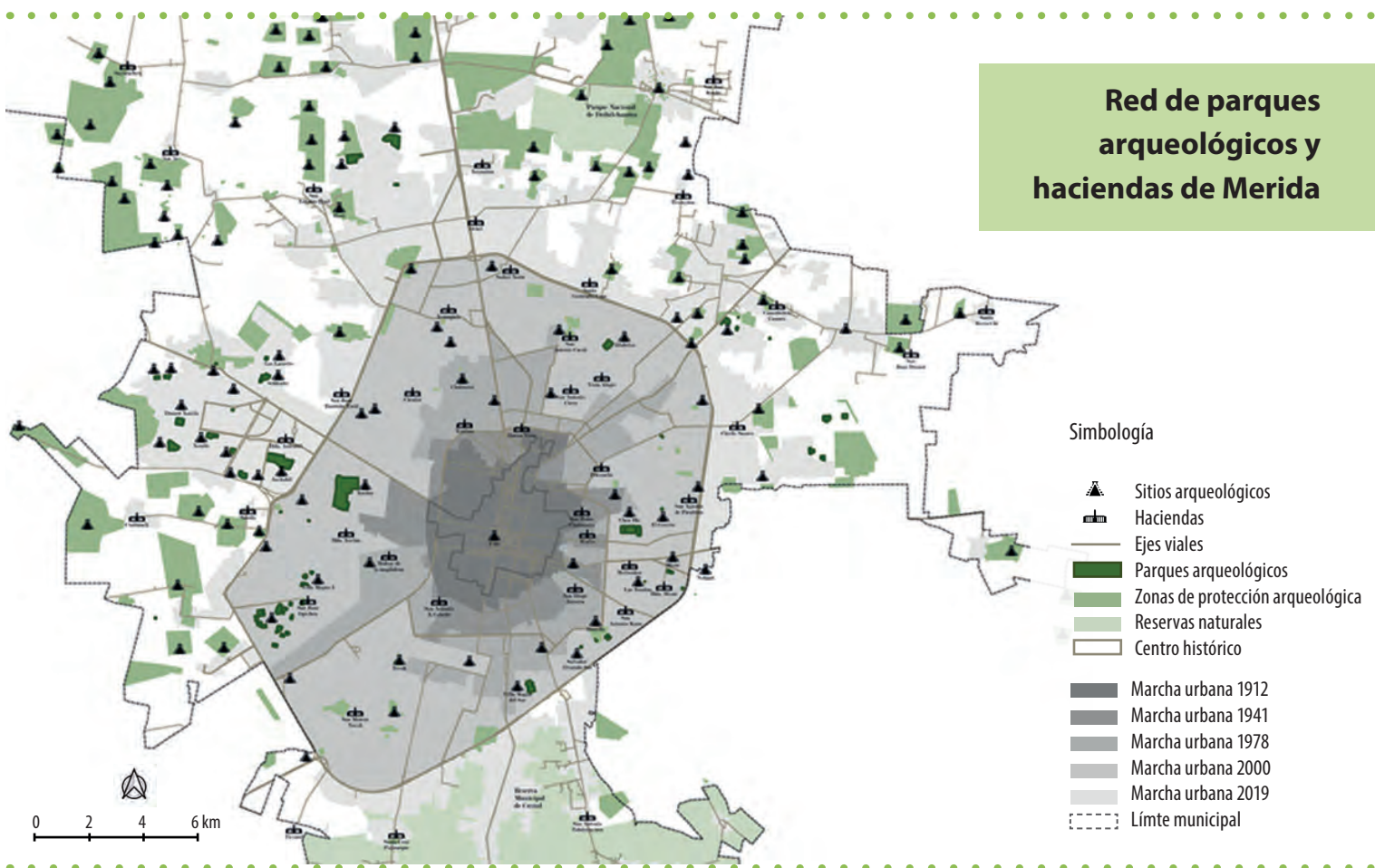


Imagen 3.  
SIG, plano del patrimonio arqueológico en Mérida



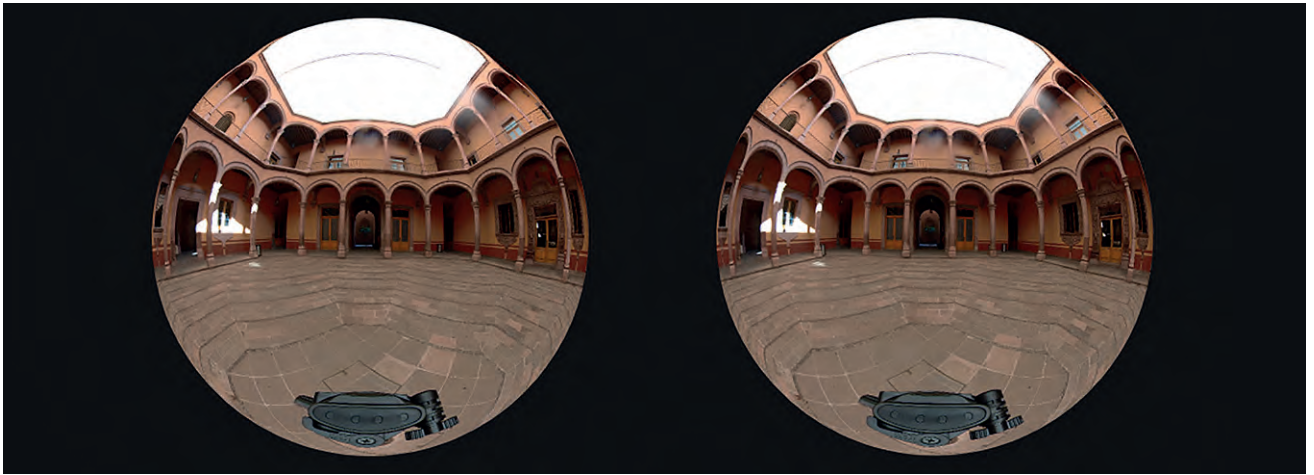


Imagen 4.  
Experiencia espacial con cámara 360° de la Caja Real, Centro Cultural Universitario, SLP.

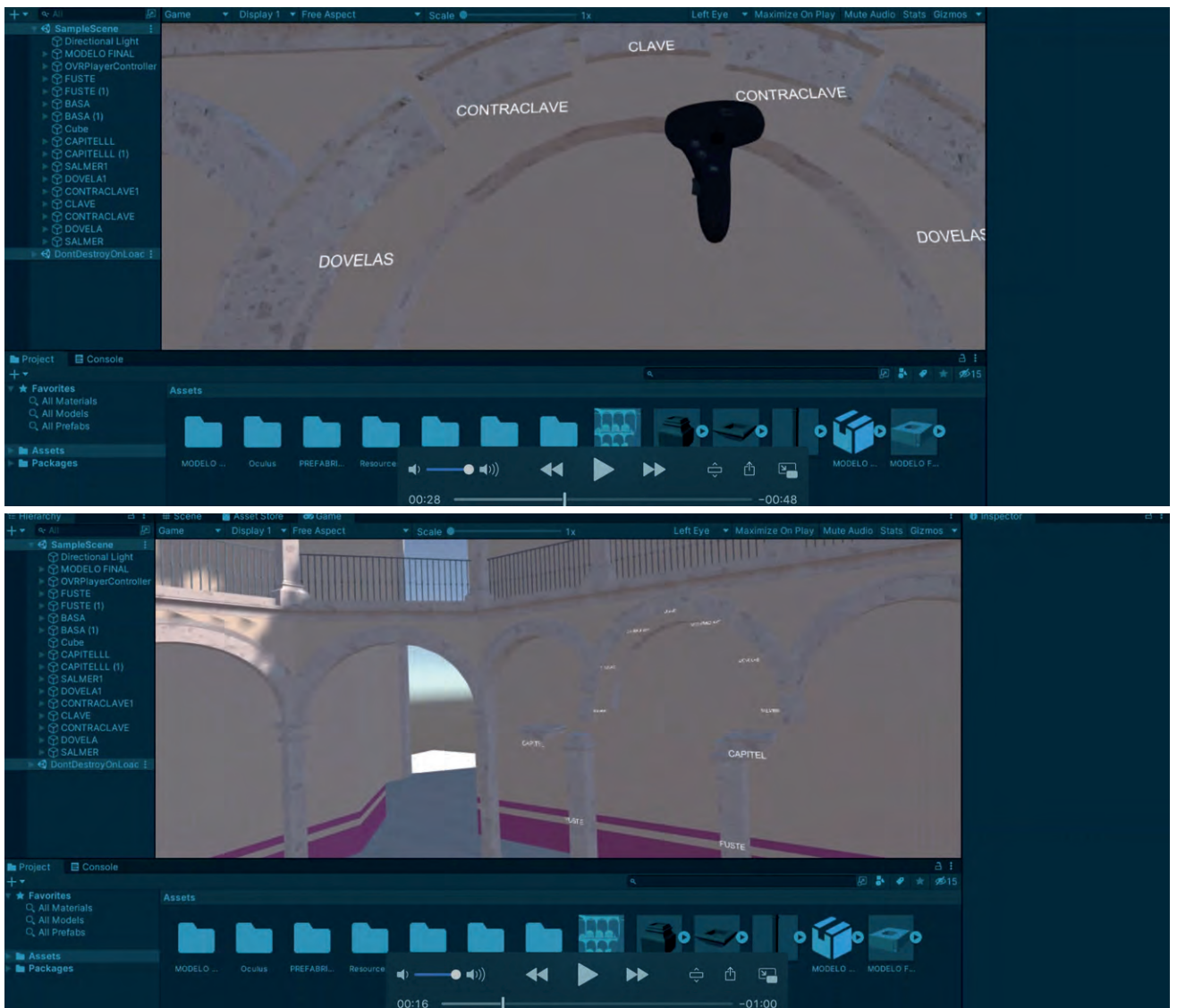


Imagen 5.  
Construcción digital de un arco, colocando las piezas correctamente.



## GUADALUPE SALAZAR GONZÁLEZ

Es doctora en arquitectura por la Universidad Nacional Autónoma de México y profesora investigadora en la Facultad del Hábitat de la UASLP, en donde trabaja en el proyecto "Historia urbana de la ciudad de San Luis Potosí".

mostrar la estereotomía (imagen 5), es decir, el diseño de los elementos de un aparejo de piedra tallada; o la estratigrafía de los espacios o capas históricas de su construcción; así como hacer anastilosis de ruinas para reconstituir estructural-formal los elementos desintegrados.

La realidad aumentada superpone información digital (datos, sonidos, imágenes fijas, videos, modelos 3D u hologramas) de elementos virtuales en el mundo real; por fotorealismo recrea espacios edificados, naturales o inexistentes y permite simular los espacios. Con el GPS se simula recorridos, muestra el camino y posición del desplazamiento sobre un plano, y en cada lugar puede dar información sobre él. Para sobreponer esa información digital se emplean dispositivos como las cámaras de teléfonos inteligentes, tabletas, gafas inteligentes o los cascos con pantallas (HoloLens por ejemplo). El juego Pokemon Go es un caso. Además, al emplear un casco (una cámara, un auricular y tres micrófonos), a través de retransmisiones de *streaming*, varias personas pueden compartir la realización de un diseño de espacios o la intervención de un espacio para su conservación, con manos libres al recibir información vía internet u otra red sin descargar datos.

La realidad mixta mezcla las realidades virtual y aumentada, al anclar objetos virtuales a la realidad física con el que se interactúa; y a diferencia de la realidad aumentada, la mixta enlaza y permite interactuar y manipular los mundos físico y virtual. Parte

de crear un modelo 3D del mundo físico (con un escáner 3D) en tiempo real y en superponer elementos virtuales empleando software o motores de videojuego como Unity. Así, permite formular hipótesis para el diseño de nuevos espacios o reconstruir espacios y objetos que ya no existen en una fusión indistinguible de su origen real o virtual, lo anterior posibilita mayor realismo y comprensión de lo representado. La MetaVision promete perfeccionar la realidad mixta; aunque su versión del MetaVerso demanda analizar sus repercusiones en cuanto a la privacidad, condición y existencia humana.

La realidad extendida es un concepto en ciernes, une varias tecnologías inmersivas y conceptos complementarios de las realidades virtual, aumentada y mixta; así como otras innovaciones como meta 2, 5G y la inteligencia artificial.

### Reflexión final

Las diferentes opciones tecnológicas expuestas muestran el potencial uso en la documentación e investigación de los espacios patrimoniales y el natural, tanto para lo que está bajo tierra como sobre ella. Todas son no intrusivas, registran con precisión, rapidez, con calidad en detalle, sin riesgo para quien lo emplea, accesible a sitios difíciles y lejanos, y en tiempo real se registra y traza a la vez; además, simulan lo que existió o lo que está proyectado que exista, o manipula esos insumos con la inclusión de otros datos reales o no. Su inconveniente es el alto costo del equipo

y de la suscripción anual de las licencias de software.

Todas estas tecnologías pueden integrarse en una plataforma digital consultable para el desarrollo histórico de las ciudades y su patrimonio cultural natural y edificado al ofrecer: mapas topográficos con curvas de nivel, planimetría de alta resolución de la evidencia arqueológica y arquitectónica; sistemas de información geográfica para el procesamiento; despliegue gráfico y análisis de la información; fotogrametría, modelos digitales de elevación de terreno, modelos 3D de gran escala u detalles particulares, modelos multispectrales de sitios y gemelos digitales. **UP**

### Referencias bibliográficas:

- Barba, Luis, Josep Ligorred, Jorge Blancas y Agustín Ortiz (2020). Searching with georadar ancient T'hó, a Mayan city underneath the modern Merida, Yucatan, STAR: Science & Technology of Archaeological Research.
- Farjas, Mercedes (2007). *El registro en los objetos arqueológicos: Métrica y Divulgación*. Madrid: Ed. Reyferr.
- Guzmán Reyes, Marcelino y Guadalupe Salazar González (2019). Los espacios físico, virtual, aumentado y mixto en la realidad extendida. En Guadalupe Salazar González (coord.). *Hábitat, espacios y objetos. Nuevas perspectivas de investigación en diseño*. Guadalajara: Universidad Autónoma de San Luis Potosí: pp.45-64.
- Pérez-Segnini, L., Isabel (2012). *Realidad aumentada en la comunicación del siglo XXI: ensayo sobre el conocimiento del mundo en una nueva escala de percepción tecnológica*, vol. 1, Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.
- Wolf, Paul R., Bon A. Dewitt, Benjamin E. Wilkinson (2014). *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS (4ª ed.)*. McGraw Hill Education.