ICONOS

Instituto de Investigación en Comunicación y Cultura

La Realidad Aumentada en un Museo de Geología
Análisis Comparativo de tres herramientas contemporáneas

PUBLICACIÓN

Que para obtener el Grado de
Maestría en Comunicación con Medios Virtuales

Presenta:

Erika Elena Contreras Valencia

Asesor:

Dr. José Rafael Mauleón Rodríguez

Ciudad de México Octubre, 2026

Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios de la Secretaría de Educación Pública según acuerdo No. 2005625 de fecha 22 de Septiembre de 2005. Clave 2008

Índice

Introducción 4

Tema 1. Realidad aumentada en museos de geología: marco contextual 6

1.1 La realidad aumentada como herramienta de apoyo en museos de ciencia 6

1.2 Retos de representación y comunicación del conocimiento geológico 10

1.3 Límites y rol de la realidad aumentada en el discurso museográfico 12

1.4 Consideraciones finales del tema 1 15

Tema 2. Metodología y criterios de análisis comparativo 17

2.1 Descripción del caso de estudio: Museo de Geología 17

2.2 Selección de las herramientas contemporáneas de realidad aumentada 20

2.3 Criterios de análisis comparativo: aspectos técnicos, de usabilidad e integración museográfica 22

2.4 Consideraciones finales del tema 2 25

Tema 3. Análisis comparativo de herramientas contemporáneas de realidad aumentada 26

3.1 RA basada en web (WebAR) 26

3.2 RA multiplataforma con motor 3D (Unity) 30

3.3 RA nativa en dispositivos móviles (ARKit y ARCore) 34

3.4 Comparación transversal y discusión de resultados..... 37

Tema 4: Aplicación de RA en el diseño de las exposiciones por medio de WebAR en dispositivos móviles. 42

4.1 Primera aplicación: imagen sobre resto fósil 47

4.2 Segunda aplicación: video informativo sobre el Meteorito de Allende 53

4.3 Tercera aplicación: objeto 3D y audio sobre un mamut 56

Tema 4.4: Resultados del proceso de desarrollo de las aplicaciones.. 60

Conclusiones 62

Fuentes de consulta: 65

Introducción

La incorporación de herramientas digitales en los museos ha abierto nuevas posibilidades para la comunicación del conocimiento científico, particularmente en aquellos espacios dedicados a disciplinas como la geología, cuyos contenidos implican procesos, escalas temporales y estructuras difíciles de representar mediante recursos expositivos tradicionales. En este contexto, la realidad aumentada (RA) se ha posicionado como una tecnología con potencial para complementar el discurso museográfico, al superponer capas digitales que facilitan la visualización e interpretación de fenómenos geológicos complejos. Sin embargo, el crecimiento y diversificación de herramientas contemporáneas de RA ha generado un escenario en el que su adopción en museos suele realizarse sin criterios claros que permitan evaluar de manera sistemática sus implicaciones técnicas, de usabilidad y de integración con el discurso museográfico existente.

Ante esta problemática, el presente artículo tiene como objetivo comparar las características técnicas, de usabilidad y de integración museográfica considerando tres herramientas contemporáneas de realidad aumentada aplicables a un museo de geología, con el fin de identificar sus principales diferencias, ventajas y limitaciones. En correspondencia con este objetivo, la investigación busca responder a la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las principales diferencias, ventajas y limitaciones en términos técnicos, de usabilidad y de integración museográfica entre tres herramientas contemporáneas de realidad aumentada aplicables a un museo de geología?

A partir de esta interrogante, se plantea un análisis que privilegia una mirada comparativa y reflexiva, más que experimental, orientada a comprender cómo las particularidades de cada herramienta influyen en su pertinencia dentro del contexto museal.

La relevancia de este estudio radica en la necesidad de generar conocimiento que apoye la toma de decisiones informadas en la incorporación de tecnologías de realidad aumentada en museos de geología, considerando no sólo su potencial técnico, sino también su

capacidad de integrarse de manera coherente al discurso museográfico y a los objetivos comunicativos de la institución. Al ofrecer un análisis comparativo de tres herramientas contemporáneas de RA, el artículo busca aportar criterios que contribuyan al uso más pertinente y crítico de estas tecnologías en la mediación y comunicación del conocimiento científico en espacios museográficos.

Para desarrollar este análisis, el artículo se estructura en tres temas principales. El primero, *Realidad aumentada en museos de geología: marco contextual*, presenta el contexto conceptual que sitúa el uso de la RA en museos de ciencia y expone los retos específicos de representación del conocimiento geológico. El segundo, *Metodología y criterios de análisis comparativo*, describe el enfoque metodológico del estudio, así como los criterios empleados para la selección y evaluación de las herramientas de RA. Finalmente, el tercer tema, *Análisis comparativo de herramientas contemporáneas de realidad aumentada*, constituye el núcleo del trabajo, donde se examinan de manera sistemática las características, ventajas y limitaciones de las herramientas seleccionadas, a fin de discutir su pertinencia para su aplicación en un museo de geología.

Tema 1. Realidad aumentada en museos de geología: marco contextual

Uno de los grandes retos que han enfrentado durante varios años los museos de ciencia, en especial los de geología, donde predominan la exhibición de rocas y huesos, es la forma de comunicar sus contenidos de manera atractiva e ilustrativa.

Gracias a las tecnologías digitales se han abierto nuevas posibilidades de enriquecer la experiencia museográfica de los visitantes, siendo la Realidad Aumentada (RA) una herramienta con gran potencial para apoyar el marco informativo de las exposiciones y al mismo tiempo mejorar la experiencia de los usuarios.

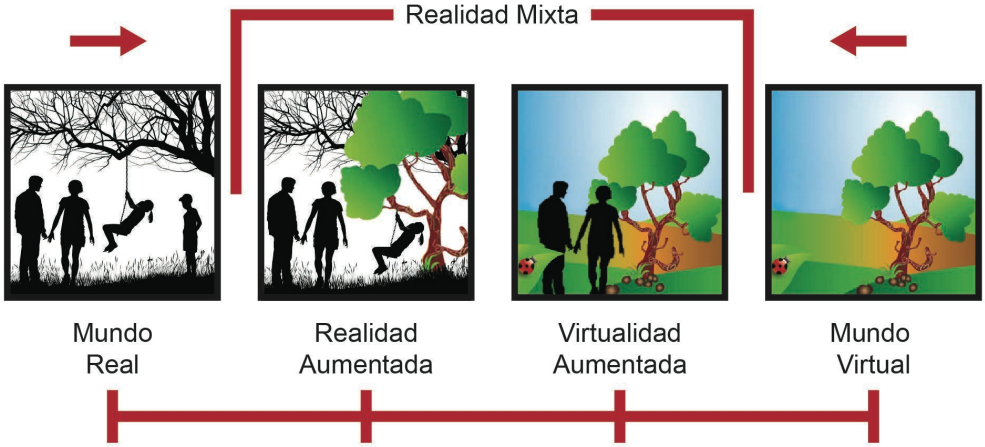
1.1 La realidad aumentada como herramienta de apoyo en museos de ciencia

Es bien conocido que muchos museos tradicionales promueven la pasividad del visitante, a través de la observación no participativa, esto es: el mero acto de mirar con atención y fungir como receptor del mensaje expuesto en un museo. Por otro lado, los conocidos como museos interactivos buscan hacer partícipe de la exposición al visitante por medio del uso de diferentes tecnologías.

En este contexto, la RA se ha posicionado como una tecnología emergente de gran impacto en el ámbito museográfico, especialmente en los museos de ciencia, donde la complejidad del contenido exige estrategias atractivas para su comunicación.

Partiendo de la definición de que la RA es "... como una combinación de información digital e información física en tiempo real, a través de diferentes dispositivos tecnológicos" (Pérez y otros, 107) es decir, la mezcla de dos mundos: el mundo físico que se observa cotidianamente y el mundo virtual compuesto de cualquier objeto generado por computadora, en

tiempo real por medio de la sobreposición de nuevas capas digitales de información a entornos reales. (Ver esquema 1.1)



Esquema 1.1 Continuo de Milgram. (Elaboración propia)

Y que dentro de este marco, para que la RA pueda suceder es necesario lo siguiente:

> ... tener bien determinados los elementos virtuales que se quieren desplegar, y también el elemento físico real sobre el que se proyectarán. El usuario deberá poder apreciar la superposición de estos dos entornos y, para ello, requiere de una interfaz o pantalla donde sea posible esta visualización. (Gómez, 9)

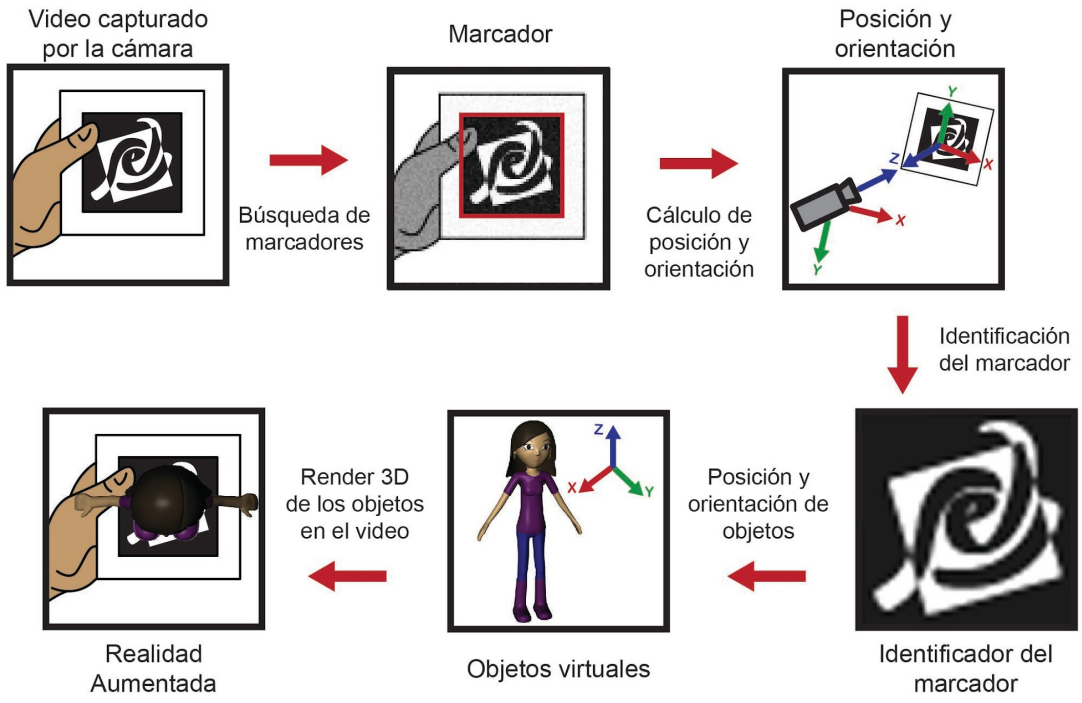
Isidro Gómez menciona dos elementos clave en el proceso al proyectar RA: el primero es una imagen a reconocer pero como ya se sabe, no se refiere a cualquier imagen, sino a la búsqueda exacta de un marcador que coincida con el ícono previamente definido, para desarrollar una aplicación de RA.

Una vez localizada y conocida la posición y orientación de este marcador, es momento de agregarle los elementos virtuales. Es decir, cada marcador está estrictamente relacionado con uno o varios objetos virtuales, según sea la escena.

> ... una aplicación de RA tiene un marcador o target que funge como un identificador que contiene información codificada, misma

que será interpretada por un *software* de RA para producir, justo sobre este, un objeto virtual. De este modo, la coexistencia en pantalla de objetos virtuales con el marcador y un entorno real, proporcionará al usuario un escenario propio de Realidad Aumentada. (Gómez, 10)

Finalmente cuando ya se conocen el marcador y sus objetos correspondientes, se vuelve a calcular la posición y orientación, pero esta vez de los objetos virtuales. Este cálculo se realiza por medio de programación y *software* especializado para que coincida la posición y orientación del marcador, con la información de los objetos virtuales a proyectarse en la pantalla sobre el marcador y girar o moverse según la posición del mismo, sucediendo así la RA. (Ver esquema 1.2)



Esquema 1.2 Proceso de Realidad Aumentada. (Elaboración propia)

Una vez definida la RA y de qué manera incorpora información digital en un entorno real, es posible atribuirle cualidades de mejora y enriquecimiento del contenido de una exposición en su discurso museográfico, al permitir una ampliación significativa de la información presentada al visitante,

permitiendo "... obtener una mejor comprensión de conceptos abstractos que fortalecen el aprendizaje, […] permitiendo generar propuestas artísticas, culturales y educativas más dinámicas" (Loor-Chóez y otros, 9)

Es decir, un objeto cultural comúnmente expuesto en un museo contiene una breve reseña sobre el mismo, gracias a la RA se puede ampliar ese marco informativo, a través de la interacción con: imágenes, videos, objetos 3D, audios o enlaces. Dichos elementos multimedia, siguiendo el criterio establecido por el discurso museográfico y la interacción en tiempo real, presentan la información de una manera diferente y atractiva al público. Hechos que probablemente terminan favoreciendo una mayor participación y asistencia de los visitantes a los museos.

> La simbiosis de elementos reales y virtuales son capaces de generar nuevas narrativas donde lo virtual se superpone sobre lo real no para sustituirlo, sino para aumentar su fuerza comunicativa y emocional. (Muñoz y otros, 747).

Esto significa que la RA, no se presenta simplemente como un juguete o un artefacto al cual el visitante puede acceder y entretenerse. Sino que se ofrece también como un aditamento, un *plus* atractivo y novedoso que atrae al público y que contribuye potencializando la difusión de los objetos expuestos. Pero esto no significa el total desplazamiento del museo por el uso de la tecnología. La RA no compite con el objeto expuesto, sino que lo complementa y no porque el objeto esté inconcluso o inacabado, sino que lo complementa en el marco informativo. El visitante deja de interpretar el típico papel de observador donde solamente se acercaba y leía, y pasa a ser partícipe de la exposición. La exposición con el apoyo de la RA no es únicamente con finalidades de entretenimiento, sino que posee también cualidades didácticas, la comunicación entre la exposición y el visitante se presenta beneficiada por la RA al ampliar la información de los objetos culturales.

1.2 Retos de representación y comunicación del conocimiento geológico

La geología se define como "... la ciencia que estudia la historia del globo terrestre, así como la naturaleza, formación, evolución y disposición actual de las materias que lo componen" (Real Academia Española), es decir, se encarga de estudiar la historia y procesos que han dado forma a la Tierra desde millones de años atrás, quedando en la actualidad sólo vestigios que ahora se pueden admirar en los museos de ciencia a manera de rocas y fósiles, entre otros.

Esto implica un gran reto para los museos de ciencia en la manera de comunicar el contenido a los usuarios asistentes a una exhibición, ya que en la mayoría de los casos solo podrían leer fichas informativas o en mejores situaciones, un esquema ilustrativo del objeto expuesto.

> Cada exposición está repleta de placas, textos explicativos y vitrinas llenas de detalles. El problema no radica en la cantidad de información, sino en que se presenta de la misma manera para todos … (Museumficar, 26)

Debido a que la geología no es una ciencia de experimentación para el visitante, sino por el contrario, principalmente es una ciencia de observación e interpretación de procesos pasados, su comunicación presenta una serie de retos museográficos al mostrar una exhibición.

Uno de los principales retos es que los museos de geología no pueden presentar el contenido de sus objetos museográficos en tiempo real, es decir, lo que queda como evidencia de esos seres vivos son rocas y fósiles obligando a los museos a hacer uso de esquemas, ilustraciones o reconstrucciones hipotéticas que pueden resultar poco atractivas o incluso difíciles de interpretar por los usuarios no expertos en la materia, provocando experiencias de observación pasiva o hasta reducción en el proceso de aprendizaje.

Otro reto que presentan los museos de geología es el contraste de los procesos estáticos de una exhibición versus los procesos dinámicos de una geología natural, es decir, procesos de erosión, vulcanismo, extinciones, entre otros como ejemplos. Nuevamente, el uso de paneles impresos o diagramas, carecen de la capacidad de mostrar elementos animados o en movimiento, afectando la comprensión de los procesos naturales o provocando la falta de interés en su lectura.

> Las exposiciones tradicionales de los museos suelen basarse en montajes estáticos: vitrinas repletas de objetos, cuadros cuidadosamente colgados en las paredes y placas con textos densos. Si bien estos métodos preservan tesoros históricos y artísticos, a veces pueden resultar poco inspiradores, especialmente para visitantes con diferentes estilos de aprendizaje, edades o intereses … (Museumficar, 37)

Es importante mencionar que la mayoría de los objetos expuestos, tienen la limitación de que al ser objetos históricos de preservación, los visitantes no pueden interactuar con ellos, por lo que nuevamente el usuario se presenta ante la instrucción de ser un observador pasivo.

Adicionalmente, es importante mencionar los altos costos de la tecnología, ya que hacer uso de herramientas complejas de tecnología suelen tener un precio elevado y para museos pequeños o con presupuestos limitados la parte financiera es un tema preocupante y "El reto reside en encontrar soluciones escalables que satisfagan diversas necesidades manteniendo los costes bajo control". (Museumficar, 79)

A partir de este contexto, resulta evidente que la comunicación del conocimiento geológico dentro de los museos enfrenta múltiples desafíos relacionados con la representación de procesos complejos, la falta de dinamismo en las exhibiciones, las limitaciones de interacción con los objetos originales y el uso de tecnologías de bajo costo.

Estas condiciones abren la posibilidad de explorar nuevas estrategias museográficas que permitan complementar la observación tradicional de las piezas expuestas, es por eso que algunos museos de ciencia han comenzado a explorar nuevas estrategias como el uso de tecnologías digitales, en específico la RA como una herramienta para enriquecer la experiencia de los visitantes.

Pero también es importante mencionar que el uso de estas tecnologías no garantiza un mejor entendimiento o aprendizaje por parte de los visitantes, ya que si no se plantea una narrativa clara o un diseño educativo, el uso de estas tecnologías pasa a ser meramente de entretenimiento, por lo que se debe de mantener un equilibrio entre los datos científicos y la experiencia interactiva de las exposiciones, es importante conocer hasta dónde pueden interferir estas tecnologías en el discurso museográfico, puntos que se abordarán a mayor detalle en el siguiente apartado.

1.3 Límites y rol de la realidad aumentada en el discurso museográfico

En los últimos años, los museos han experimentado una transformación encabezada por las tecnologías digitales, siendo la RA una de las herramientas más utilizadas, gracias a su capacidad de agregar elementos virtuales al entorno físico de una manera fácil y accesible para los visitantes a un museo en especial a los museos de ciencia, donde los procesos de visualización o explicación pueden resultar complejos.

Como menciona Galán: "La implementación de dispositivos electrónicos móviles abre nuevas posibilidades didácticas y de difusión en las colecciones museales" (Pineda y otros, 10). Herramientas como videos, audios, modelos tridimensionales, animaciones y RA permiten representar procesos geológicos complejos de una manera más intuitiva, innovadora y visual.

> Hay numerosas experiencias que demuestran que el uso de RA permite integrar objetos del mundo real con animaciones e

> información adicional, favoreciendo su difusión, y preservando el patrimonio cultural tangible e intangible. (Banchoff y otros, 619)

Esto indica que el uso de la RA, la cual es el tema principal de este artículo, se puede acceder por ejemplo a modelos 3D que se acercan a una representación más clara de los seres vivos que dejaron su huella en la historia natural y que actualmente sólo se pueden percibir como rocas.

Para el tema de dinamismo, el uso de videos o animaciones, permite a los visitantes ver de manera extendida y a mayor detalle algunos procesos geológicos, siendo los propios dispositivos móviles de los usuarios las pantallas y bocinas para proyección de estos contenidos, sin la espera continua de las pantallas o salas de proyección de los museos o en caso más extremo la observación estática de los esquemas o diagramas.

En cuanto al tema de la preservación de los objetos, las nuevas tecnologías, como es el caso de la RA, pueden crear modelos tridimensionales e interactivos que permiten al usuario manipular digitalmente los objetos expuestos. "Estos recursos digitales cumplen con las funciones primordiales del museo: conservación, exposición y divulgación…" (Pineda y otros, 11), ya que existiendo modelos virtuales con que los usuarios puedan interactuar, el contenido de la exposición se ve ampliado, mientras el objeto a exponerse sigue siendo conservado y expuesto para su observación.

Contenidos digitalizados, animaciones interactivas y experiencias personalizadas complementan la observación tradicional de la exposición, no sustituyéndola, sino ampliando su capacidad de comunicar e informar. "... lo interesante de la realidad aumentada, a diferencia de la virtual, es que permite percibir lo recreado virtualmente sin perder la percepción del entorno real." (Muñoz y otros, 747). No significa que el visitante deba olvidarse que está asistiendo a un museo y que tiene una pieza expositiva frente a él, la RA tiene la capacidad de agregar capas de información sobre el objeto real, sin la necesidad de perderse en un mundo virtual.

En museos de ciencia, por ejemplo, la RA permite representar procesos geológicos, biológicos o históricos que no pueden observarse directamente en las piezas exhibidas. A través de modelos tridimensionales, animaciones o reconstrucciones 3D, es posible mostrar entre algunos casos, cómo se formaron, cómo eran o vivían organismos extintos. De esta manera, la tecnología funciona como una herramienta de interpretación que ayuda a traducir conocimientos especializados en experiencias entendibles para el público general y no desorienta al usuario de su asistencia a los museos.

Pero a pesar de sus ventajas, no hay que olvidar que la RA también debe presentar límites importantes dentro del discurso museográfico. Uno de los principales es evitar que la tecnología se convierta en el elemento central de la exposición, desplazando la atención del objeto original. Esto implica que el uso de herramientas digitales debe atender a una planificación interpretativa, es decir "… un plan de interpretación que ayuda a centrar las ideas qué se intentan interpretar, por qué y para quién" (Museum Galleries Scotland, 9), permitiendo que la tecnología actúe como un complemento interpretativo y no como la finalidad del museo.

Adicionalmente, es importante recordar que una de las cualidades principales de la RA es el acceso a los aplicativos por medio de los dispositivos móviles, los cuales, en la actualidad, son accesibles por casi todos los visitantes a un museo, lo que permite que las herramientas necesarias para visualizar contenidos digitales se encuentren del lado del usuario, reduciendo así los costos de implementación tecnológica por parte del museo. No obstante, es necesario reconocer que "... estos mismos dispositivos pueden convertirse en un obstáculo que perturbe la experiencia de la visita, limitando la interacción social y física con otros visitantes y afectando al modo en que se percibe la información y los objetos originales." (Muñoz y otros, 752).

No se trata de que el visitante se olvide que está en un museo, tampoco consiste en que los usuarios consuman toda la información por medio de

los celulares, en ese caso el museo perdería el valor de la experiencia presencial y solo quedaría como herramienta de preservación. Se trata de que esta tecnología tenga un rol de acompañante a lo largo de la exposición.

Si el contenido virtual tiene una narrativa adecuada, respondiendo a los objetivos interpretativos del museo, estableciendo una relación significativa con el objeto de la exposición y adaptándose a las necesidades del público, la RA seguirá siendo una herramienta con alto potencial para los museos de ciencia. Para ello, su incorporación debe formar parte de una estrategia digital que planifique "todos los activos, recursos, actividades y herramientas digitales que sirvan de manera eficiente y eficaz a los objetivos institucionales." (ICOM, 3). Bajo este enfoque, es posible mantener un equilibrio entre la tecnología y el contenido, utilizando la RA como un recurso complementario que contribuya a enriquecer la experiencia del visitante.

El uso de la RA resulta un contraste particularmente atractivo, ya que pone en convivencia dos extremos del tiempo: una tecnología contemporánea que permite dinamismo, movimiento e interacción contra los vestigios de millones de años de la memoria y paso de la vida en el planeta lo que genera una combinación particularmente potente desde el punto de vista museográfico.

De esta manera, las nuevas tecnologías permiten reconstruir organismos extintos o procesos naturales, dejando atrás la observación de objetos estáticos, transformando la experiencia en algo atractivo y hasta cierto punto inmersivo donde el pasado puede ser interpretado mediante herramientas tecnológicas del presente, resultando en una experiencia museográfica que combina asombro histórico con innovación tecnológica.

1.4 Consideraciones finales del tema 1

Como se ha revisado a lo largo del tema 1, los museos de ciencia enfrentan grandes retos en la comunicación de sus exposiciones, debido a la

naturaleza estática y no interactiva de sus objetos museísticos; esta condición ha derivado en experiencias de observación pasiva de los visitantes, limitando así un entendimiento más profundo del contenido o disminuyendo el interés del público.

En respuesta a esta necesidad de atracción y ampliación del conocimiento, la RA surge como una herramienta de gran potencial para enriquecer el discurso museográfico, al superponer información digital que amplía y genera mayor interacción sobre el conocimiento geológico. La posibilidad de agregar elementos como animaciones, modelos tridimensionales y recursos multimedia ayuda a transformar la manera en que los visitantes interactúan con las exposiciones.

Sin embargo, también es necesario reconocer los límites de la RA, ya que ésta, no debe sustituir al objeto museográfico, ni convertirse en el eje central de la experiencia, sino que debe funcionar como un recurso complementario que fortalezca al contenido. Su éxito depende de una correcta integración en el discurso museográfico, manteniendo un equilibrio entre el contenido científico y la experiencia interactiva.

De esta manera la RA no se vuelve el fin de la exposición, sino que es el medio que ayudará a replantear la experiencia en museos de ciencia, como los de geología, mejorando la comunicación, siendo más accesible y acorde a las expectativas de un público más moderno.

A partir de los criterios y consideraciones expuestos, el siguiente apartado presenta la metodología empleada para el análisis comparativo de las herramientas de RA seleccionadas. Se establecen los criterios que permitirán evaluar las herramientas desde tres ejes principales e identificar los alcances y limitaciones de cada herramienta y determinar cuál resulta más adecuada para su aplicación en un museo de ciencias.

Tema 2. Metodología y criterios de análisis comparativo

En este tema se busca evaluar el uso de la RA dentro del marco de un museo de ciencias, por lo que es necesario delimitar el caso de estudio, al que se propone incorporar estas herramientas digitales, y hacer una comparación que permita identificar los alcances y limitaciones de algunas herramientas contemporáneas de RA como son WebAR, Unity y ARKit.

El análisis parte de tres ejes: las características técnicas, que considera aspectos como el rendimiento, la compatibilidad y las capacidades de desarrollo; la usabilidad, enfocada en la facilidad de uso y accesibilidad para el visitante; y la integración museográfica, entendida como la capacidad de integrarse dentro del discurso museográfico. A partir de estos criterios se busca definir una metodología para seleccionar la herramienta más adecuada, con el fin de enriquecer la experiencia del visitante tanto en la adquisición de conocimientos más amplios como en la interacción de los contenidos del museo.

2.1 Descripción del caso de estudio: Museo de Geología

El Museo del Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México, se encuentra en el centro de la colonia Santa María la Ribera en la Ciudad de México, según datos proporcionados en el sitio web del Museo de Geología de la UNAM, tiene sus inicios en el desarrollo científico impulsado por el gobierno de Porfirio Díaz a finales del siglo XIX, periodo en el que se promovió tanto la modernización urbana como el estudio de los recursos naturales del país.

Historia del Museo de Geología de la UNAM

El ingeniero geólogo Antonio del Castillo fundó el Instituto Geológico Nacional el 17 de septiembre de 1888, para la investigación científica, difusión y docencia de la Geología, enfocadas en la minería, la geología y el aprovechamiento de recursos naturales de México.

> Las primeras investigaciones realizadas fueron de especulación científica, […] el desarrollo de las industrias minera y petrolera, el uso de los minerales no metálicos, además del aprovechamiento de las aguas superficiales y subterráneas utilizadas en las actividades agrícolas… (UNAM, 8)

También la UNAM menciona en su sitio web que el edificio que hoy alberga el museo comenzó a construirse en 1900 y fue inaugurado en 1906 durante el X Congreso Geológico Internacional. En el año de 1929 se integró a la UNAM y se consolidó como un espacio dedicado exclusivamente a la divulgación científica a partir de 1956.

Arquitectura del Museo de Geología de la UNAM

En cuanto a la arquitectura y decoración del museo, el sitio web de la UNAM lo describe como un claro ejemplo de la arquitectura del porfiriato, periodo caracterizado por la adopción de ideas modernas que integran influencias francesas y además, conserva elementos prehispánicos, lo que le otorga un carácter propio. Su fachada, labrada con ignimbrita (un tipo de roca volcánica), muestra relieves de fósiles, conchas, reptiles e inscripciones de algunas Ciencias de la Tierra, como Geología, Paleontología y otras; además, cuenta con detalles arquitectónicos como arcos decorados, columnas jónicas y medallones con bustos de grandes científicos de la geología. En el interior, la decoración resalta por su riqueza artística y simbólica. El vestíbulo principal cuenta con pisos de mosaico de estilo pompeyana y una elegante escalinata de estilo Art Nouveau, adornada con elementos florales y detalles prehispánicos. En la parte superior, se muestran 10 murales de José María Velasco, que cuentan la evolución de la vida en la Tierra, desde sus orígenes en los mares, hasta la aparición del hombre, también presenta vitrales de paisajes de México. En total la arquitectura y decoración del museo no solo tiene una finalidad estética, sino que también busca comunicar el valor histórico, científico y cultural del lugar.

Contenido del Museo de Geología de la UNAM

El museo cuenta con varias salas, la Sala Principal y la Sala de Paleontología, Oscar Irazaba menciona en el video de youtube del Canal Once que se exhiben reconstrucciones de esqueletos, entre las que destaca el esqueleto de un mamut, que es la culminación del trabajo de varios investigadores; también se presenta la reconstrucción de un dinosaurio Pico de Pato, el cual es considerado como una de las muestras más importantes del museo por ser el primer dinosaurio encontrado y reconstruido en la Ciudad de México, también se exhiben "… fragmentos de esqueletos, reconstrucciones de osamentos y fósiles de muchos tamaños" (Canal Once, 3:08). La sala de Paleontología "... sigue un orden cronológico de los períodos del Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico [...] hasta llegar a los organismos más recientes, como son los elefantes y caballos." (UNAM, 1-3).

Las otras salas, que reciben su nombre debido a los objetos que exponen: Minerales, Rocas y Meteoritas, cuentan con un valor incalculable, pues varias de ellas son incluso más viejas que el planeta Tierra, como la Meteorita de Allende, la cuál tiene un millón de años más de antigüedad que la Tierra. En el conjunto de las salas se muestran más de 500 clases de minerales, "estas rocas son más fascinantes de lo que parecen a simple vista, provienen de la materia primigenia que dio origen a los planetas" (Canal Once, 2:29).

También el museo ofrece seminarios, conferencias, proyecta documentales y a veces cuenta con actividades de exposiciones artísticas relacionadas con las Ciencias de la Tierra, como menciona el Canal Once en su video, pero a pesar de la importancia científica y el valor histórico de estos objetos, para muchos visitantes su apreciación puede resultar limitada al tratarse de piezas que se reducen a la observación de huesos y rocas sin una mayor interacción. En este sentido, el Museo del Instituto de Geología de la UNAM representa una oportunidad para analizar e implementar nuevas estrategias

de comunicación museográfica, haciendo uso de nuevas tecnologías como la realidad aumentada, con el fin de enriquecer la información disponible, fomentar la participación activa del público y generar una experiencia museográfica más atractiva.

2.2 Selección de las herramientas contemporáneas de realidad aumentada

Con el paso de los años el desarrollo de aplicaciones de RA ha evolucionado, desde cámaras estáticas con proyectores, marcadores con dispositivos móviles, hasta el uso de gafas o cascos más avanzados y robustos. El uso de esta tecnología dentro de los museos representan una gran oportunidad para cambiar la experiencia de observación pasiva a interacción dinámica de los visitantes, así como la ampliación de la información adquirida en el discurso museográfico. Pero también enfrenta el reto de una adecuada selección de la herramienta tecnológica a usar, ya que por practicidad, accesibilidad e incluso factores económicos, algunas suelen ser más descartadas que otras.

> La realidad aumentada ofrece ventajas significativas para los museos", afirma Jim Richardson, fundador de MuseumNext. "Su desarrollo es más económico que el de la realidad virtual y se basa en dispositivos que la mayoría de los visitantes ya llevan consigo, en lugar de costosos cascos, controladores y sensores. (Charr, 5).

Si bien es cierto que la RA puede aplicarse también por medio de gafas o cascos, el uso de este recurso suele ser más caro que el uso de dispositivos móviles, sobretodo porque en la actualidad la mayoría de los asistentes a un museo cuentan con teléfonos inteligentes con la capacidad de acceder a aplicaciones de la RA, reduciendo significativamente el costo de la implementación de esta tecnología para los museos.

Con base en este contexto, el artículo se centra en el uso de herramientas digitales para dispositivos móviles que permitan la creación de aplicaciones de RA, con características, alcances y limitaciones propios, como son: WebAR, Unity y los *frameworks* ARKit y ARCore.

"WebAR permite experiencias de realidad aumentada directamente a través de navegadores web sin requerir descargas de aplicaciones dedicadas" (Unity, 2025, 1). Es decir, funciona por medio de HTML5 y Javascript interpretado desde el navegador web, sin que el usuario tenga que descargar alguna aplicación en su dispositivo móvil, sino que principalmente con escanear un marcador con la cámara de su dispositivo, podrá ver el contenido aumentado, volviéndolo una de las alternativas más accesibles para los museos.

Por otro lado, Unity ha tomado mayor relevancia en aplicaciones de RA, ya que "... es un motor de juegos multiplataforma que es utilizado como plataforma de desarrollo en Microsoft Windows, MacOS y gnu/Linux." (Guzman, 5), es decir, permite trabajar para diversas plataformas a partir de un mismo código, además junto con Vuforia, se pueden crear aplicaciones para Android e IOS de una manera más sencilla.

Si se habla de tecnologías nativas de RA, ARKit y ARCore "... son herramientas de desarrollo diseñadas específicamente para productos de Apple y Google" (Vendelskis, 3). Estas herramientas hacen uso del *software* y *hardware* de los dispositivos, como la captura de movimiento, seguimiento de ubicación, sensores de luz y otras funciones de los teléfonos inteligentes.

La selección de estas herramientas está basada en la diversidad de enfoque, ya que parte desde una herramienta que no necesita más que el uso del navegador, como una mixta, como algunas especializadas en

el dispositivo móvil; viendo cual presenta mayor accesibilidad para los visitantes, mayor potencia en la ampliación de la información a superponer en las exposiciones, así como mejor estrategia de implementación por parte de los museos.

Por lo que en el siguiente subtema se revisará cuáles son los criterios para comparar las características técnicas, parámetros de usabilidad, ventajas y limitaciones dentro del discurso museográfico con el objetivo de identificar la opción más adecuada para enriquecer la experiencia de los visitantes por medio del uso de la RA.

2.3 Criterios de análisis comparativo: aspectos técnicos, de usabilidad e integración museográfica

Para evaluar el uso de la RA en el Museo de Geología de la UNAM, es necesario identificar una serie de criterios que permitan analizar los alcances y limitaciones de las herramientas seleccionadas. Debido a que el objetivo del uso de esta tecnología no es solamente por mera implementación, sino el mejorar la experiencia del visitante y la comunicación del conocimiento científico de los museos, el análisis debe considerar las características técnicas, la facilidad de uso y la integración dentro del discurso museográfico.

Por lo que se proponen tres ejes principales para este artículo: aspectos técnicos, usabilidad e integración museográfica. Estos criterios permitirán crear una base metodológica, para que en el futuro no se tenga que revisar profundamente cada una de ellas, sino facilitar la comparación de estas herramientas, para una adecuada selección.

Como otros autores han establecido en sus análisis comparativos con diversas plataformas y dispositivos, este artículo busca validar los siguientes 5 parámetros:

1. Plataforma: Se refiere a los sistemas operativos móviles sobre los que funcionan las apps creadas en las herramientas RA.
2. Sitios de Posicionamiento Global (GPS): Identifica si la plataforma permite la georreferencia para determinar el lugar dónde se encuentra el punto de interés y agregar información.
3. Imágenes 2D, 3D y videos: Comprueba si la herramienta puede reconocer una imagen, procesarla y añadir nueva información, ya sea una figura, video, objeto 3D o texto adicional.
4. Documentación: Valida si la herramienta ofrece información de instalación, desarrollo, ejemplos demostrativos y si aún está vigente en el mercado.
5. *Framework*: Determina si la herramienta incluye programas anexos para facilitar la construcción de aplicaciones de RA.

(Salazar y otros, 88)

Los aspectos técnicos consisten en las capacidades funcionales de las herramientas. Como se ha mencionado con anterioridad, la RA puede variar según el dispositivo donde se aplique, (en este caso será solo sobre dispositivos móviles), el tipo de marcador a reconocer, así como la capacidad de agregar elementos multimedia y las características técnicas de estos recursos que pudieran afectar el rendimiento de los dispositivos. En cuanto a los dispositivos de acceso, se considerará la compatibilidad de cada herramienta con los dispositivos móviles disponibles actualmente. Es importante mencionar que para una experiencia adecuada, se recomienda utilizar dispositivos de gama media o superior de los últimos tres o cuatro años, con cámara funcional, capacidad de procesamiento suficiente para ejecutar contenidos de RA y compatibilidad con las tecnologías requeridas por cada plataforma. Estos criterios permitirán establecer posteriormente los requisitos específicos de cada herramienta analizada.

También se revisará la facilidad de desarrollo por parte de los museos, ya que los alcances de programación, el mantenimiento o actualizaciones pueden influir en la selección final de la herramienta.

El segundo parámetro a evaluar es la usabilidad: "Jakob Nielsen tiene una frase célebre que resume su filosofía: La usabilidad es un atributo de calidad que evalúa qué tan fáciles de usar son las interfaces" (U-Tad, 4). Nielsen describe 10 principios de la usabilidad que deberían ser utilizados en el diseño de aplicaciones digitales, ya que la facilidad de uso, una interfaz intuitiva, tiempos de carga, instrucciones claras, entre otros, se convierten en una prioridad estratégica de la selección de una herramienta de RA.

Por último, la integración museográfica consiste en qué manera puede ayudar la RA a las exposiciones, ya que agregando capas de información el contenido de los objetos puede ampliarse. "La realidad aumentada crea experiencias interactivas y educativas que dan vida a las colecciones, ya sea mediante información adicional, animaciones o reconstrucciones vívidas". (Charr, 2). Es decir, la integración de RA no debe limitarse al contenido informativo, sino debe considerar también la manera en que este se presenta visualmente, incluyendo aspectos de diseño como la composición, jerarquía de la información, elementos gráficos y recursos multimedia. Estos elementos deben responder a los objetivos interpretativos de la exposición y facilitar la comprensión de los contenidos sin competir visualmente con los objetos originales. De esta manera, la RA debe ayudar a enriquecer la comprensión de los objetos museísticos, como fósiles, minerales o rocas que suelen contar con poca información, sin sustituir la experiencia directa con los objetos originales.

A partir de estos tres ejes, se establece un marco de referencia que permitirá analizar de manera comparativa herramientas como WebAR, Unity, ARKit y ARCore. Este análisis no solo busca identificar sus características técnicas, sino también evaluar su capacidad para mejorar la

experiencia del visitante y fortalecer la comunicación del conocimiento en el Museo de Geología de la UNAM.

2.4 Consideraciones finales del tema 2

A partir del desarrollo del presente tema, se establece que la incorporación de la RA en espacios museográficos, como el Museo de Geología de la UNAM, no depende únicamente de la disponibilidad de la tecnología, sino de una adecuada selección de herramientas que respondan a las necesidades específicas del contexto. Por su contenido, el museo limita la forma en que son presentados los objetos y altera la manera en que los visitantes lo perciben, lo que justifica la exploración de estrategias digitales que favorezcan una experiencia más interactiva y significativa.

Por lo tanto, la revisión de herramientas contemporáneas de RA y la definición de criterios de análisis (aspectos técnicos, usabilidad e integración museográfica) permiten establecer una base metodológica clara para su evaluación. Estos ejes no solo facilitan la comparación entre distintas tecnologías, sino que también orientan la toma de decisiones hacia soluciones que equilibren accesibilidad, funcionalidad y pertinencia dentro del discurso museográfico.

En el siguiente tema se profundizará en el análisis comparativo de dichas herramientas, con el objetivo de identificar aquella que ofrezca mayores ventajas para enriquecer la experiencia del visitante y fortalecer la divulgación del conocimiento científico mediante el uso de la RA.

Tema 3. Análisis comparativo de herramientas contemporáneas de realidad aumentada

Como se revisó en el tema anterior, este artículo busca establecer una base metodológica para la evaluación de herramientas de RA, considerando no solo sus capacidades técnicas, sino también su impacto en la experiencia del visitante, su integración dentro del discurso museográfico y el desarrollo por parte del museo. A partir de estos criterios, es necesario realizar un análisis más específico que permita comparar distintas soluciones tecnológicas bajo un mismo marco de referencia, con la finalidad de identificar sus alcances aplicados en el Museo de Geología de la UNAM.

Con base en esto, el presente tema se centra en el análisis comparativo de tres herramientas para el desarrollo de experiencias interactivas con RA en dispositivos móviles: WebAR, Unity y los *frameworks* nativos ARKit y ARCore. Cada una de ellas consta de desarrollos diferentes, desde aplicaciones en el navegador hasta motores multiplataforma y tecnologías nativas de sistemas operativos, lo que permite identificar sus diferencias en temas de contenido, desempeño, interacciones, accesibilidad e implementación. A través de esta comparación de sus características, ventajas y limitaciones, se busca identificar cual de estas opciones se adecua mejor a las necesidades específicas del entorno museográfico, ayudando a enriquecer la comunicación del conocimiento científico mediante el uso de la RA.

3.1 RA basada en web (WebAR)

WebAR, "... siglas de Realidad Aumentada Basada en la Web [...] son experiencias de realidad aumentada directamente desde un *smartphone* que utiliza la cámara y el navegador web" (WhatIsWebAR, 1)", es decir, todo lo que el usuario necesita para experimentarla, es contar con un teléfono inteligente y su navegador *web* para observar el contenido aumentado, no necesita de una aplicación previamente instalada y al correr

directamente en el navegador no tiene una dependencia directa con algún sistema operativo, pues es compatible tanto con Android (Chrome 80+) e IOS (Safari 14.5), aunque se recomienda para una mejor experiencia dispositivos de los últimos tres o cuatro años.

A diferencia de otros tipos de desarrollo, su principal característica es que no requiere la instalación de aplicaciones nativas, lo que reduce la barrera de acceso por parte del usuario. Otras herramientas coinciden en que la WebAR "... permite experiencias de realidad aumentada directamente a través de navegadores *web* sin requerir descargas de aplicaciones dedicadas" (Unity, 2025, 1), facilitando su implementación en contextos donde el acceso inmediato es un factor clave, como en espacios museográficos.

Aunque las industrias en las que se ha popularizado el uso de esta herramienta es el *Marketing*, como la publicidad en exteriores, embalaje de productos, publicidad impresa e incluso ambientes digitales como los ecommerce, campañas de mailing, redes sociales, portales o minijuegos, no deja de ser una herramienta con bastante oportunidad en el discurso de una exhibición museográfica.

"El contenido 3D es uno de los pilares fundamentales de una experiencia WebAR, y herramientas como glb.ee, el visor de modelos 3D gratuito en línea, optimizan los flujos de trabajo 3D al trabajar con clientes." (WhatIsWebAR, 23) Debido a sus características, el contenido más atractivo y popular es el uso de contenido 3D, sumando su proyección directa en el navegador y el acceso a los marcadores, termina resultando en experiencias de RA sencillas de visualizar por parte de los usuarios.

Aunque no se creó originalmente como un motor de desarrollo robusto, como ocurre con otras plataformas que se revisarán más adelante, WebAR aprovecha tecnologías web como "APIs de JavaScript y permisos de acceso a dispositivos, […] para ofrecer experiencias de computación espacial directamente a través de URLs" (Unity, 2025, 3). Una API (*Application*

Programming Interface) son "… mecanismos que permiten a dos componentes de software comunicarse entre sí mediante un conjunto de definiciones y protocolos" (Amazon, 1), lo que implica que su capacidad de procesamiento puede ser más limitada en comparación con soluciones nativas, pero ofrece una mayor flexibilidad en cuanto a la distribución y actualización de contenido, ya que cualquier cambio puede realizarse directamente en el servidor, lo que la convierte en una herramienta útil para proyectos que requieren escalabilidad y fácil mantenimiento.

En cuanto al tipo de contenido se puede "... combinar diferentes tipos de contenido para diseñar experiencias inmersivas con modelos 3D realistas, imágenes, vídeos, efectos de sonido y música" (MyWebAR, 5), también se indica que permite "Diseñar experiencias interactivas con botones que inicien la reproducción de una animación, abran una página web, reproduzcan sonido, muestren u oculten objetos en la escena." (MyWebAR, 6). Es decir, WebAR permite agregar diversos elementos multimedia, destacando:

Modelos 3D: Deben estar en formatos ligeros como .glb o .gltf para una correcta visualización en navegador, ya que es importante considerar el peso, la resolución de las texturas y el nivel de detalle del modelo, porque estos factores pueden incrementar el consumo de datos y afectar el tiempo de carga y el rendimiento de los dispositivos durante la experiencia de RA.

Animaciones: Estas pueden ser parte de los objetos 3D, haciéndolos aún más atractivos.

Imágenes y videos: Suele ser el contenido más básico en cuanto a la RA, pero con base a su diseño o contenido pueden ser muy útiles como capas informativas o narrativas. Aunque no hay un estándar establecido para los videos, se recomienda formatos MP4 con códec H.264/AVC o cuando corresponda audio AAC, además resoluciones de 720p o 1080 de acuerdo al nivel de detalle requerido por el contenido, priorizando la optimización de peso del archivo y el consumo de datos. En cuanto a las imágenes se

recomiendan formatos WebP o JPG para fotografías o PNG para transparencias, en perfil sRGB, sin resoluciones excesivamente grandes y de igual manera optimizando su peso sin pérdida perceptible de calidad.

Elementos interactivos: Los botones y enlaces son una manera simple de conducir al usuario a otras secciones que le permitan enriquecer el contenido y navegar dentro de la experiencia.

Entre los marcadores más comunes que utiliza este tipo de herramienta se encuentran los códigos QR, enlaces cortos, enlaces directos, chips NFC, mensajería SMS, canales de redes sociales, entre otros tipos de canales que permiten escanear un marcador o acceder a un enlace a Internet. (WhatIsWebAR, 1, 9). Esto permite que el usuario acceda de manera casi inmediata a la experiencia aumentada, eliminando procesos intermedios como la descarga o instalación. Otras aplicaciones más avanzadas permiten el uso de seguimiento sin marcador, apoyándose en capacidades del navegador como el acceso a sensores del dispositivo, aunque estas funciones pueden variar dependiendo del navegador y sistema operativo utilizado.

WebAR cuenta con una variedad de librerías y *frameworks* como MindAR, AR.js, A-Frame, Three.js, Babylon.js (Sharad, 12), que facilitan la creación de experiencias sin necesidad de construir motores desde cero. El uso de estas herramientas permite identificar diferente tipos de reconocimiento, seguimiento y contenido a desplegar, pero a diferencia de plataformas más consolidadas, su documentación puede encontrarse en diferentes foros o sitios, dependiendo de la herramienta utilizada, y además que no cuenta con una comunidad fuerte de respaldo.

Adicionalmente, existen plataformas en línea como MyWebAR, BlippAR, Zapworks, entre otras, orientadas al desarrollo de experiencias WebAR de una manera más accesible y simplificada. Estas plataformas permiten crear aplicativos de RA por medio de interfaces visuales, amigables e intuitivas, reduciendo en gran escala la necesidad de conocimientos avanzados de

programación. Entre sus principales ventajas se encuentran la capacidad de agregar contenido multimedia mediante sistemas de arrastrar y soltar, la creación automática de códigos QR para acceder a las experiencias y la compatibilidad con dispositivos móviles sin requerir la descarga de aplicaciones externas.

Otra ventaja importante de este tipo de plataformas es que reducen los costos y tiempos de desarrollo, ya que gran parte de la infraestructura técnica forma parte del mismo servicio. Este tipo de plataformas suelen ser muy útiles para museos, instituciones educativas o proyectos culturales con presupuestos limitados, ya que permite implementar experiencias inmersivas sin invertir en equipos especializados o procesos complejos de desarrollo. Además, al funcionar directamente desde el navegador, facilitan el acceso inmediato del visitante, mejorando la accesibilidad y reduciendo barreras tecnológicas para el usuario final.

Entre las desventajas y limitaciones se encuentran el rendimiento, las limitaciones del dispositivo y navegador y el uso de funciones avanzadas (Mattan, 3). Ya que depende directamente de las capacidades del navegador y del dispositivo, estas pueden restringir la complejidad de los modelos o la cantidad de elementos a presentar en escena. También, algunas funcionalidades avanzadas de RA, como el reconocimiento espacial o mapeo simultáneo, pueden no estar disponibles o presentar diferencias entre dispositivos. Sin embargo, para aplicaciones donde se busca una accesibilidad inmediata y la facilidad de implementación, y no una experiencia tan atractiva, WebAR representa una solución viable para funcionalidad y alcance.

3.2 RA multiplataforma con motor 3D (Unity)

Unity se proclama como "... el motor de juegos líder en el mundo" (Unity, 2026, 1), si bien es cierto que es una plataforma muy popular, otros autores

lo confirman como "... un motor de videojuegos muy utilizado a nivel mundial. Lo utilizan desde desarrolladores independientes, hasta empresas que programan videojuegos para Xbox u otras consolas." (Gómez, 31).

La finalidad principal de Unity es la creación de videojuegos, pero gracias a sus cualidades con la interactividad y animaciones, permite realizar de una manera más sencilla aplicaciones de RA, sin las complicaciones de un desarrollo nativo desde cero.

"Para que un programa desarrollado en Unity-3D, posea las características propias de una aplicación de Realidad Aumentada, se le puede importar Vuforia". (Gómez, 26). Ya que Unity está centrado en la creación de videojuegos, necesita de otras herramientas que faciliten el desarrollo de tareas específicas.

"Vuforia es una plataforma de desarrollo de aplicaciones de Realidad Aumentada (AR) y Realidad Mixta (MR) multiplataforma, con seguimiento robusto y rendimiento en una variedad de hardware" (Unity, 2018, 1)

Vuforia ayuda mucho en el reconocimiento de marcadores, uno de los requisitos principales para que suceda la RA, los tipos de marcadores sobre los cuales puede actuar Vuforia y que son mencionado en la documentación de Unity van desde los códigos QR, los marcadores físicos reflectantes, los Objetivos de imagen y las etiquetas 2D.

Pero también se puede utilizar el seguimiento sin marcador, el cual está basado en la ubicación. "Esta forma de rastreo se basa en tecnologías tales como GPS, acelerómetro, giroscopio y algoritmos de procesamiento de imágenes más complejos, para colocar objetos virtuales o información en el entorno" (Unity, 2018, 7). Así que dependiendo del uso que se le quiera dar a la aplicación, ya sea por medio de la ubicación o de un marcador, Vuforia permite un fácil reconocimiento del objeto a desplegar la información.

Adicional Vuforia cuenta con un robusto sistema de tracker, es decir una vez identificado el marcador, si este se mueve mantiene la información anclada al objeto mostrado, además que los datos que carga se almacenan en un objeto de estado al cual se puede acceder desde la app.

Pero es importante recordar que Vuforia trabaja de la mano con Unity, el cual permite exportar proyectos a "formatos compatibles con dispositivos móviles y computadoras con sistemas operativos Windows y MacOS" (Gómez, 31). Es decir que por medio de una sola programación y un par de *clicks* adicionales se obtiene una aplicación compatible para ambos sistemas operativos.

Unity es compatible con Android 8.0 "Oreo" (nivel de API 26) y versiones posteriores y las API gráficas que admite son Vulcano y OpenGL ES 3 o superior (Unity Documentation, 2) , mientras que para Apple requiere IOS 11 como versión mínima y en sus últimas versiones no ofrece compatibilidad con OpenGL ES. (Unity, 12)

Unity tiene la capacidad de importar diferentes tipos de contenidos en sus escenas, su documentación en el sitio web enlista los siguientes: (Unity Manual, 2)

Modelos 3D: Es el uso más común. Se pueden crear modelos complejos (formato .fbx, .obj) que aparecen sobre marcadores.

Shader files: Estos se refiere a características específicas que puede tener algún objeto 3D como la iluminación, textura, colores y alterar su visualización mientras los componentes se desplazan.

Imágenes, Audio y Videos 2D: Es el tipo de contenido más común y es compatible con muchos tipos de formatos para agregar videos, audios o imágenes sobre planos u objetos para mostrar información, tutoriales o publicidad. Entre los formatos de video permitidos se encuentran .mp4, .mov, .webm, con un codec de H.264 y resoluciones superiores a 640x360 si el dispositivo lo permite. Y en el caso de las imágenes soporta los

fotmatos más comunes como .jpg, .png, .svg, .bmp entre otros, priorizando la optimización de peso.

Texto y datos: Paneles de texto, etiquetas, botones o menús que flotan en el entorno ya sea como archivos .html, .json, .xml, entre otros, para dar información adicional al usuario.

Plug-ins e importadores de código: Son archivos que se pueden agregar para expandir las funcionalidades de la aplicación sin la necesidad de un desarrollo desde cero.

Como se menciona el tipo de material a agregar es muy variado y no presenta limitantes entre los recursos a mostrar, por lo que ha conveniencia del discurso museístico y estrategia de comunicación se puede implementar una experiencia atractiva e interactiva.

En cuanto a la parte que compete a los desarrolladores, su sitio web cuenta con toda la documentación necesaria para crear aplicaciones, tanto de tipo videojuegos, como de RA. Además, al ser una de las herramientas más usadas por los desarrolladores, cuenta con una gran comunidad y foros en los cuales el usuario puede presentar y aclarar dudas durante su desarrollo. En su página oficial en el apartado de documentación se muestran los manuales de todas sus versiones, desde la más reciente en sus versiones Alpha y Beta, así como versiones muy antiguas. (Unity, 2026, 1)

Entre las desventajas que presenta Unity es que requiere un alto rendimiento, pero esto está más enfocado para la parte de los videojuegos, ya que por su naturaleza, mientras más complejo un juego, más *assets* renderiza, es decir, más recursos digitales como imágenes, videos, audios, entre otros, y por tanto más funciones ejecutará y más rendimiento de los dispositivos ocupará, por lo que en algunos casos sólo los dispositivos más modernos o con mayor capacidad podrán correr aplicaciones de este tipo con mayor facilidad. Pero para el caso de aplicaciones de RA dentro de la museografía, el contenido a desplegar es un tema que se ha abordado en

temas anteriores y deberá ser cuidado para una adecuada implementación dentro del discurso museográfico.

3.3 RA nativa en dispositivos móviles (ARKit y ARCore)

Las tecnologías nativas de RA como ARKit y ARCore están enfocadas en el uso directo del *hardware* y *software* de los dispositivos móviles. Estas herramientas se crearon por Apple y Google respectivamente, y se diseñaron para integrarse de manera específica con sus sistemas operativos.

> ARKit y ARCore son kits de desarrollo de software (SDK) lanzados por los gigantes tecnológicos Apple y Google. Permiten a los desarrolladores crear aplicaciones de realidad aumentada (RA) adaptadas a los teléfonos inteligentes actuales (Vendelskis, 1).

A diferencia de otras soluciones basadas en el navegador o motores multiplataforma, estas herramientas funcionan exclusivamente dentro de sus ecosistemas (iOS para ARKit y Android para ARCore), lo que implica una mayor dependencia del sistema operativo, pero también permite aprovechar mejor los recursos del dispositivo "... como la captura de movimiento, el seguimiento de ubicación, los sensores de luz y todas las demás funciones que ofrecen los smartphones actuales" (Vendelskis, 6). Es por eso que gracias a las capacidades de los teléfonos inteligentes se puede hacer uso de sensores como cámaras, giroscopios y acelerómetros, permitiendo un reconocimiento más exacto del entorno, sin la necesidad de un marcador específico.

En el caso de ARCore, los dispositivos móviles compatibles deben cumplir determinados requisitos de *hardware* y *software* para ejecutar experiencias de RA. Como referencia general, los dispositivos Android compatibles deben ejecutar Android 7.0 o una versión posterior, mientras que la compatibilidad con OpenGL ES y otras capacidades depende del modelo específico. Y

aunque la compatibilidad con la Depth API no está disponible en todos los dispositivos compatibles con, de acuerdo con Google, a mayo de 2026, más del 88 % de los dispositivos Android activos son compatibles con la Depth API (ARCore, 5). Mientras que ARKit requiere iOS 11.0 o posterior y un dispositivo iOS con procesador A9 o posterior. Algunas funciones de ARKit requieren versiones posteriores de iOS o dispositivos específicos dependiendo como se use ARKit. (Apple Developer, 1)

ARKit surge en el año del 2017, antes que la herramienta creada por Google, ha buscado aprovechar la capacidad y procesador de sus dispositivos, "se ha actualizado para cada nueva generación de iOS [...] Cada nueva versión ha añadido nuevas funcionalidades y ha puesto más control en manos de los programadores. (Vendelskis, 10)". Por otro lado, ARCore debutó en 2018 y aunque "... Inicialmente, ARCore era un SDK para Android disponible en Google Play [...] esto ha cambiado, y las versiones recientes del kit también son compatibles con iOS." (Vendelskis, 21). Esto indica que son herramientas especializadas en el uso y capacidades de los sistemas operativos de los teléfonos inteligentes, que sacan provecho de los aditamentos de los mismos, creando experiencias de RA más específicas por su robustez tecnológica.

Como menciona la página para desarrolladores de Apple, (Apple, 2) ARKit tiene la capacidad de integrar:

Modelos 3D: Con alto nivel de detalle y realismo, aprovechando la capacidad gráfica del dispositivo.

Animaciones: Integradas con físicas y comportamientos complejos en tiempo real. (Geometría de la escena)

Imágenes y video: Superpuestos en el entorno con ajuste de escala y perspectiva, además de contenido de alta calidad. Soporta formatos como .mp4, .mov en resoluciones de 1080p, 720p y 480p, codec H.264/AVC, HECV, etc, bitrate y peso del archivo optimizado. En cuanto a imágenes los

formatos mpas cimunes son JPEG, PNG, webP entre otros en resoluciones adecuadas al tamaño a visualizarse.

Interacción avanzada: Reconocimiento de gestos, oclusión de objetos y detección de superficies, es decir que los objetos se vean de forma realista por detrás y frente a objetos del mundo real.

Por su parte la página para desarrolladores de Google, (ARCore, 2) menciona que ARCore tiene la capacidad de integrar, además de imágenes, videos y objetos 3D robustos, lo siguiente:

API de Geoespacio: dentro de áreas de *Google Street View* puede agregar objetos y experiencias más complejas.

Semántica de escena: Incorpora objetos dentro del entorno y además permite grabarlo.

Oclusión de objetos: De igual manera permite la inmersión de objetos virtuales con los reales, ya sean personas o edificios.

Es decir, estas herramientas al ser *markerless*, no necesitan forzosamente de un marcador para ejecutarse, pueden identificar superficies, detectar planos, así como calcular la iluminación del entorno para agregar objetos virtuales de una manera más realista dentro del espacio físico. A diferencia de herramientas más sencillas que utilizan códigos QR o imágenes, ARKit y ARCore permiten crear experiencias más inmersivas y se puede usar en escenarios donde se busca una mayor interacción con el contenido agregado.

Sin embargo, el uso de estas tecnologías requieren conocimientos más especializados en programación y acceso a dispositivos compatibles para su desarrollo. Aunque ambas herramientas cuentan con documentación oficial robusta y constantes actualizaciones por parte de Apple y Google, su curva de aprendizaje puede ser mayor en comparación con soluciones más accesibles. Además, Vendelskis menciona a lo largo de su artículo ARKit vs

ARCore, que las limitaciones principales se encuentran en la dependencia del sistema operativo, ya que una aplicación desarrollada para ARKit no es compatible con dispositivos Android y viceversa, es decir, los visitantes requieren tener dispositivos prácticamente modernos para que aplicaciones con esta tecnología funcione de la mejor manera, lo que puede limitar su accesibilidad.

Es por esto que, a pesar de contar con contenidos más robustos y experiencias más inmersivas, las tecnologías nativas como ARKit y ARCore se presentan como una alternativa más robusta en comparación con otras soluciones, ya que priorizan el rendimiento y calidad de la experiencia, pero limitan la accesibilidad por parte de los usuarios.

3.4 Comparación transversal y discusión de resultados

Con la finalidad de resumir la información planteada en los subtemas anteriores, a continuación, se presenta una tabla comparativa de las herramientas contemporáneas de RA analizadas: WebAR, Unity y los *frameworks* nativos ARKit y ARCore.

La comparación busca cubrir los criterios metodológicos establecidos en el tema anterior, considerando aspectos técnicos, de usabilidad e integración museográfica, para poder visualizar de manera sencilla las fortalezas, limitaciones y posibilidades de implementación de cada herramienta dentro del discurso museográfico del Museo de Geología de la UNAM.

Criterio	WebAR	Unity	ARKit / ARCore
Plataforma	Navegadores web	Android, iOS, Windows, MacOS	iOS (ARKit) Android (ARCore)
Requiere	No	Sí	Sí

instalación		(Instalar app)	(Instalar app)
Conectividad	Requiere conexión	Puede funcionar sin conexión	Puede funcionar sin conexión
Accesibilidad	Muy alta	Media	Media-baja
Uso de GPS	Limitado por el navegador	Sí	Sí
Tipo de reconocimiento	Uso de marcadores	Con y sin marcador	Principalmente sin marcador
Capacidad de procesamiento	De baja a media	Alta	Muy alta
Tipos de contenido	Objetos 3D ligeros Imágenes Vídeos Interacción básica	Objetos 3D complejos Animaciones Archivos multimedia	Objetos 3D avanzados, Interacción compleja, Oclusión, Físicas
Rendimiento	Dependiente del navegador	Alto (según dispositivo)	Muy alto (optimizado por sistema)
Consumo de datos	Depende del peso de los *assets*	Para descarga y actualización	Para descarga y actualización
Dependencias con el servidor	Alta	Depende de la arquitectura implementada	Depende de la arquitectura implementada
Facilidad de	Baja	Media-alta	Alta

desarrollo	(web)		(más técnico)
Equipo de desarrollo	Computadora con navegador moderno e Internet	Computadora con mayor capacidad de CPU y RAM	ARKit: Mac con Xcode ARCore: Computadora con Android Studio
Documentación y comunidad	Fragmentada	Muy amplia	Muy amplia
Actualización de contenido	Inmediata (servidor)	Requiere actualización de app	Requiere actualización de app
Compatibilidad con Dispositivos moviles	Navegadores: Chrome 80+ Safari 14.5	SO: Android 8.0 IOS 11.0	SO: Android 7.0 IOS 11.0
Integración museográfica	Alta accesibilidad. Baja interacción.	Balance entre accesibilidad e interacción	Alta interacción. Menor accesibilidad
Acceso del visitante	Escanear QR y abrir navegador	Descargar y abrir aplicación	Descargar y abrir aplicación
Uso en museos	Ideal para visitas rápidas y fichas interactivas. Fácil acceso por visitantes	Buena opción intermedia para algo interactivo y atractivo sin demasiadas complejidades	Contenidos muy realistas, ideal para experiencias premium para los visitantes y capacidad

		técnicas.	adquisitiva por parte del museo.

Tabla 3.4 Tabla comparativa de tecnologías de RA, Elaboración propia

Como se puede observar no existe una única herramienta de RA perfecta en todos los aspectos, sino soluciones que responden a diferentes necesidades según los objetivos de los museos, el perfil de los visitantes y los recursos disponibles.

WebAR destaca por su facilidad de acceso por parte de los visitantes y rápida implementación por parte de los desarrolladores. Permite experiencias inmediatas desde el navegador sin necesidad de instalar aplicaciones, convirtiéndola en una opción funcional para estrategias de consultas rápidas, señalización interactiva o ampliación de la información por medio de contenidos básicos.

Unity resulta una alternativa intermedia que combina mayor capacidad gráfica, diversidad y posibilidades de interacción, manteniendo un alcance multiplataforma. Esto la coloca como una opción adecuada para museos que buscan desarrollar experiencias más atractivas e inmersivas sin depender completamente de desarrollos nativos especializados, aunque con mayores requerimientos técnicos y de mantenimiento que WebAR.

ARKit y ARCore ofrecen un nivel más alto de precisión espacial, realismo e inmersión, ya que se puede aprovechar directamente el *hardware* y *software* de los dispositivos móviles. Pero se encuentra limitada por la dependencia de sistemas operativos específicos, la necesidad de dispositivos compatibles y los costos de desarrollo, lo que puede limitar su uso en museos de recursos más restringidos.

En el caso del Museo de Geología de la UNAM, donde se busca ampliar el contenido científico de los objetos expuestos y enriquecer la interacción del visitante, sin reemplazar la observación directa de los objetos exhibidos, la

selección de herramientas de RA deberá equilibrar accesibilidad, experiencia de uso y capacidad del instituto, es por eso que implementar WebAR o Unity presenta un mejor escenario inicial, mientras que el uso de herramientas nativas como ARKit y ARCore serían más viables en proyectos futuros de mayor alcance o de inversiones específicas. Sin embargo, al considerar la necesidad de acceso inmediato por parte de los visitantes y la eliminación de barreras como la descarga de aplicaciones, WebAR se posiciona como la opción más pertinente para este caso de estudio. Por lo tanto, el siguiente apartado se centrará en el desarrollo de una propuesta de aplicación basada en esta tecnología.

Tema 4: Aplicación de RA en el diseño de las exposiciones por medio de WebAR en dispositivos móviles.

A lo largo del artículo se revisaron los conceptos de RA y posibles usos dentro de la museografía interactiva, así como diferentes herramientas para generar aplicaciones de RA. La información obtenida a partir de la tabla comparativa permitió identificar las ventajas y limitaciones de las distintas herramientas analizadas, determinando que la implementación de la RA se llevará a cabo mediante la herramienta WebAR. En particular, se seleccionó la plataforma MyWebAR de DEVAR, al tratarse de una solución basada en el navegador que facilita el acceso sin necesidad de descargas, además de ofrecer una adecuada integración de contenidos digitales para su aplicación en el discurso museográfico. Por lo tanto, a continuación, se presentan tres aplicaciones creadas por medio de MyWebAR para tres objetos culturales del Museo de Geología, siguiendo el esquema de desarrollo propuesto en el capítulo anterior.

La primera aplicación consiste en aumentar una imagen a manera de infografía y vincularla mediante un enlace externo al objeto cultural correspondiente a un resto fósil. La segunda incorpora un video con audio para explicar las características de un meteorito. Finalmente, la tercera demuestra la facilidad de integrar objetos tridimensionales al presentar un esqueleto de mamut en 3D.

Para el desarrollo de estas aplicaciones se decidió utilizar la plataforma MyWebAR debido a su interfaz intuitiva y amigable, la cual permite crear experiencias de RA sin necesidad de conocimientos de programación, únicamente mediante el uso de herramientas de arrastrar y soltar contenidos. Además, la plataforma ofrece distintas modalidades y costos de uso, adaptándose a diferentes necesidades y alcances de los proyectos. Alguna de las características más importantes que existen entre las diferentes modalidades, segun el propio sitio son las siguientes:

Característica	Creator	Pro	Ultimate
Costo	Gratuito	USD $25/mes*	USD $250/mes*
Uso comercial	No	Sí	Sí
Vistas	500/año	10,00/mes	50,000 mes
Almacenamiento	100 MB	1 GB	5 GB
Proyectos simultáneos	5	50	Ilimitados
RA en el mundo real	Sí	Sí	Sí
RA por códigos QR	Sí	Sí	Sí
Filtros faciales	Sí	Sí	Sí
RA por imágenes	No	Sí	Sí
Seguimientos de objetos 3D	No	Sí	Sí
Optimización de modelos 3D	No	Sí	Sí
Analítica	No	Sí	Sí
Código personalizado	No	No	Sí
Marca personlizada y pantalla inicial	No	No	Sí

Tabla 3.5 Tabla comparativa de planes de MyWebAR, Elaboración propia del sitio MyWebAR

En este caso, se empleó la versión gratuita, es decir, el plan Creator, ya que sus funcionalidades permiten cubrir los requerimientos básicos establecidos para la experiencia de RA propuesta para el museo. El plan permite incorporar recursos como modelos 3D, imágenes, videos y audio, además de implementar experiencias mediante códigos QR, modalidad que se propone utilizar para facilitar el acceso de los visitantes a los contenidos digitales. Por lo tanto, las características disponibles en este plan resultan suficientes para desarrollar una experiencia acorde con los objetivos planteados, sin requerir inicialmente las funciones avanzadas de los planes de pago o la personalización de la marca. Es por esto, que la elección de este plan representa una alternativa conveniente en términos económicos para una propuesta que busca evaluar la viabilidad de implementar esta tecnología en el contexto museográfico.

Cabe mencionar que durante las pruebas realizadas con los códigos QR generados mediante MyWebAR se identificó que, después de escanear el código, el usuario es dirigido inicialmente a una pantalla de acceso de la plataforma antes de visualizar la experiencia de RA. En esta pantalla se presenta la opción de iniciar o abrir la experiencia mediante un botón inicial. Debido a que la experiencia fue desarrollada bajo el plan Creator, no se puede determinar a partir de las pruebas realizadas si la pantalla corresponde a una característica exclusiva de la modalidad gratuita o al flujo general de acceso de la plataforma, aunque la documentación reconoce que unicamente la modalidad Ultimate permite personalizar la marca, por lo que mientras se implemente el plan gratuito o Pro, este paso deberá considerarse dentro de la experiencia del usuario.

También es importante recordar que estas aplicaciones corresponden al estudio de la geología, la cual implica la paleontología (fósiles), y la geología planetaria (meteoritos), entre otros. Temas conservados y revisados por el Museo Instituto de Geología UNAM ubicado en la colonia Santa María la Rivera en la Ciudad de México. Cabe mencionar que las razones por las que se escogió este museo en particular son las siguientes: al ser un museo de

recolección y conservación histórica, las exposiciones suelen ser permanentes, por lo tanto los visitantes casi siempre se encuentran con el mismo contenido, ya que la exposición no cambia. Además los objetos expuestos son a simple vista pedazos de rocas, que pocas veces resultan atractivos para los visitantes. Estos objetos presentados son vestigios de lo que alguna vez fueron seres prehistóricos, por lo tanto en la actualidad no existen. Estas razones motivaron a aplicar la RA, buscando enriquecer las visitas de los usuarios por medio de capas superpuestas de información, además de presentar dentro de esa fantasía novedosa, la visualización de seres extintos millones de años atrás.

La selección de los recursos gráficos utilizados en cada aplicación está basada en la necesidad de complementar el discurso museográfico tradicional a través de elementos visuales accesibles e interactivos. En el primer caso (la amonita) se implementó una infografía aumentada sobre las partes de una amonita, ya que se buscó informar al visitante de una manera clara y rápida cómo era una amonita, ya que en el museo sólo se presenta un fósil de su coraza, de esta manera el usuario puede tener una comprensión rápida de su anatomía y además el acceso a un micrositio web para mayor información de la especie expuesta. En el segundo caso (la meteorita de Allende), se usó un video con audio para incorporar una explicación más dinámica y narrativa sobre el meteorito, enriqueciendo la experiencia sensorial del usuario, ya que, por medio de una narración y medios visuales animados, se permite al usuario conocer más sobre el gran interés que presenta este meteorito debido a su antigüedad y procedencia, en contraparte a solo ver el pedazo de roca y un texto breve, que puede o no ser leído por los visitantes. Por último, en el tercer aplicativo (los restos de mamut) se utilizó un modelo tridimensional de la especie y un audio explicativo con la finalidad de generar una experiencia más inmersiva y atractiva, permitiendo visualizar de forma cercana y más detallada un organismo extinto que difícilmente puede comprenderse a través de la observación de los restos fósiles expuestos en la sala, junto con el audio,

que al reproducirse en segundo plano, su intención es agregar información de manera inmediata sin competir con la observación del objeto tridimensional. De esta manera, los recursos gráficos empleados en estos aplicativos de RA no solo buscan ampliar la información disponible, sino también ejemplificar el tipo de contenido más común y de fácil acceso permitido por la plataforma de MyWebAR, sin limitar las posibilidades de integración de otros recursos digitales más complejos, pero sí como una manera rápida y sencilla de fortalecer el interés y la interacción del público con las exposiciones del museo de Geología de la UNAM.

Cabe mencionar que la exposición de interés presenta un discurso museográfico simple y orgánico, donde los elementos son breves paneles informativos impresos en papel y, en algunos casos, enmarcados por cuadros de madera. Los objetos se encuentran en el interior de vitrinas rústicas de madera, adecuándose al estilo neoclásico del edificio. Por lo tanto, los marcadores que activan la aplicación de RA deben corresponder a este discurso. Mientras que los usuarios, por medio de sus dispositivos móviles, podrán observar las capas aumentadas de las exposiciones.

Al tratarse de una experiencia desarrollada mediante WebAR, el acceso a los contenidos se realiza directamente desde el navegador web del dispositivo móvil, por lo que no es necesario descargar una aplicación específica. Sin embargo, el consumo de datos dependerá de la cantidad y el peso de los recursos digitales incorporados en la experiencia, como modelos 3D, imágenes, videos y audios. Por ello, resulta necesario optimizar estos recursos para reducir los tiempos de carga y el consumo de datos móviles, especialmente considerando que los visitantes pueden acceder a la experiencia mediante sus propios dispositivos y bajo diferentes condiciones de conectividad. En este sentido, la implementación de la propuesta no requiere necesariamente grandes cantidades de datos para acceder a la información, siempre que los recursos digitales sean adecuadamente optimizados.

De acuerdo con las posibilidades y la estrategia de implementación que establezca el museo, también podría considerarse la habilitación de una red Wi-Fi gratuita para los visitantes, lo que facilitaría el acceso a los contenidos de RA y reduciría la dependencia de los datos móviles de cada usuario. Mientras esta alternativa no se encuentre disponible, la propuesta deberá priorizar el uso de recursos digitales optimizados, procurando mantener un equilibrio entre la calidad de los contenidos, los tiempos de carga y el consumo de datos.

A continuación, se revisa el proceso de creación de cada uno de los aplicativos.

4.1 Primera aplicación: imagen sobre resto fósil

Los fósiles son vestigios de seres vivos que habitaron el planeta millones de años atrás. Por lo tanto, son piedras o corazas que, expuestas en los museos, probablemente la gran mayoría de ellos, sólo presentan una breve reseña sobre su nombre, edad y el lugar donde fue hallado. Con la RA se busca mostrar la representación física del animal o ser vivo que alguna vez fue. Junto con esa visualización se habla de la anatomía principal del resto fósil y un enlace a un sitio externo para mayor información del mismo.

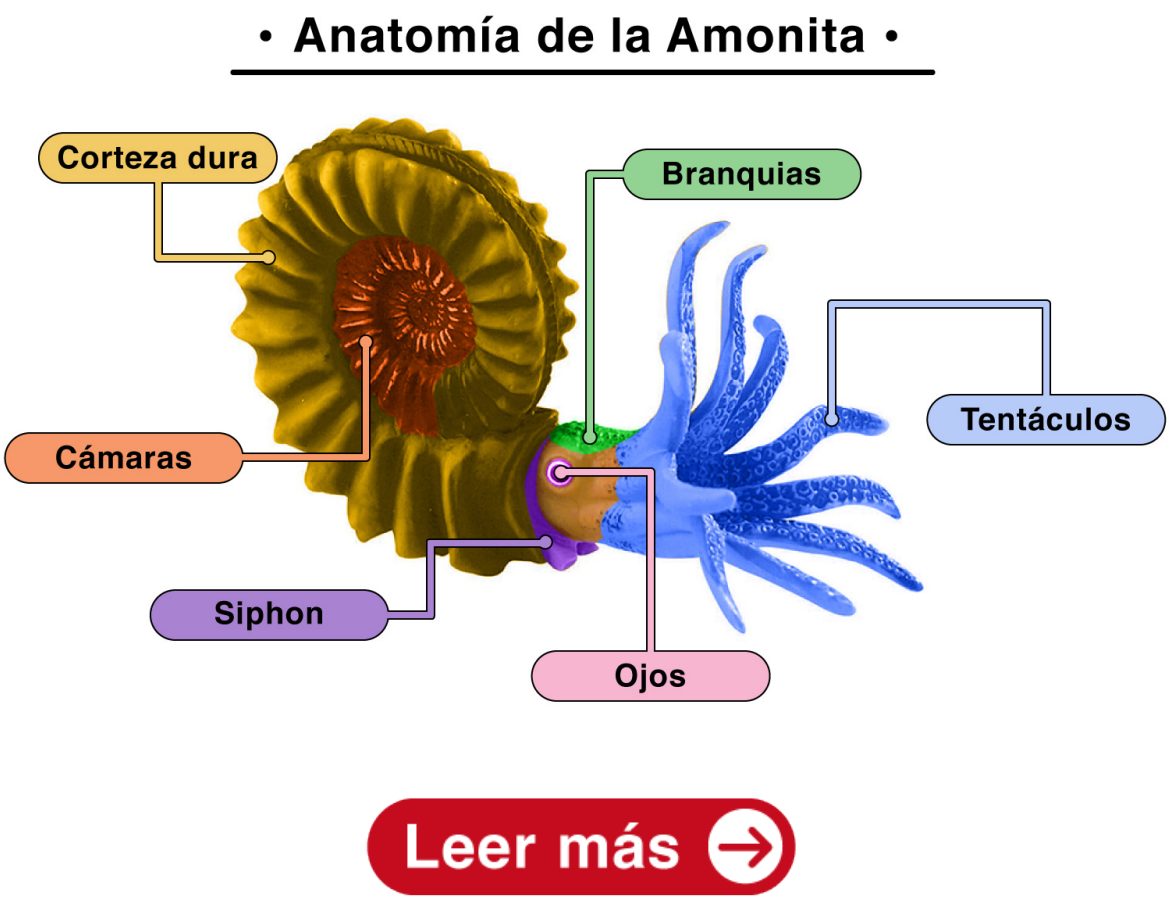
Siguiendo el esquema de desarrollo el proceso es el siguiente:

1. Recolectar la información sobre el fósil que se le aumentarán las capas de RA, en este caso la información corresponde a un fósil de una amonita. Una amonita es una especie de calamar que vivió en el interior de conchas en forma de espiral. Por lo tanto, se reúnen los datos como sus características, descripción, etcétera que permiten crear los elementos multimedia a aumentar.



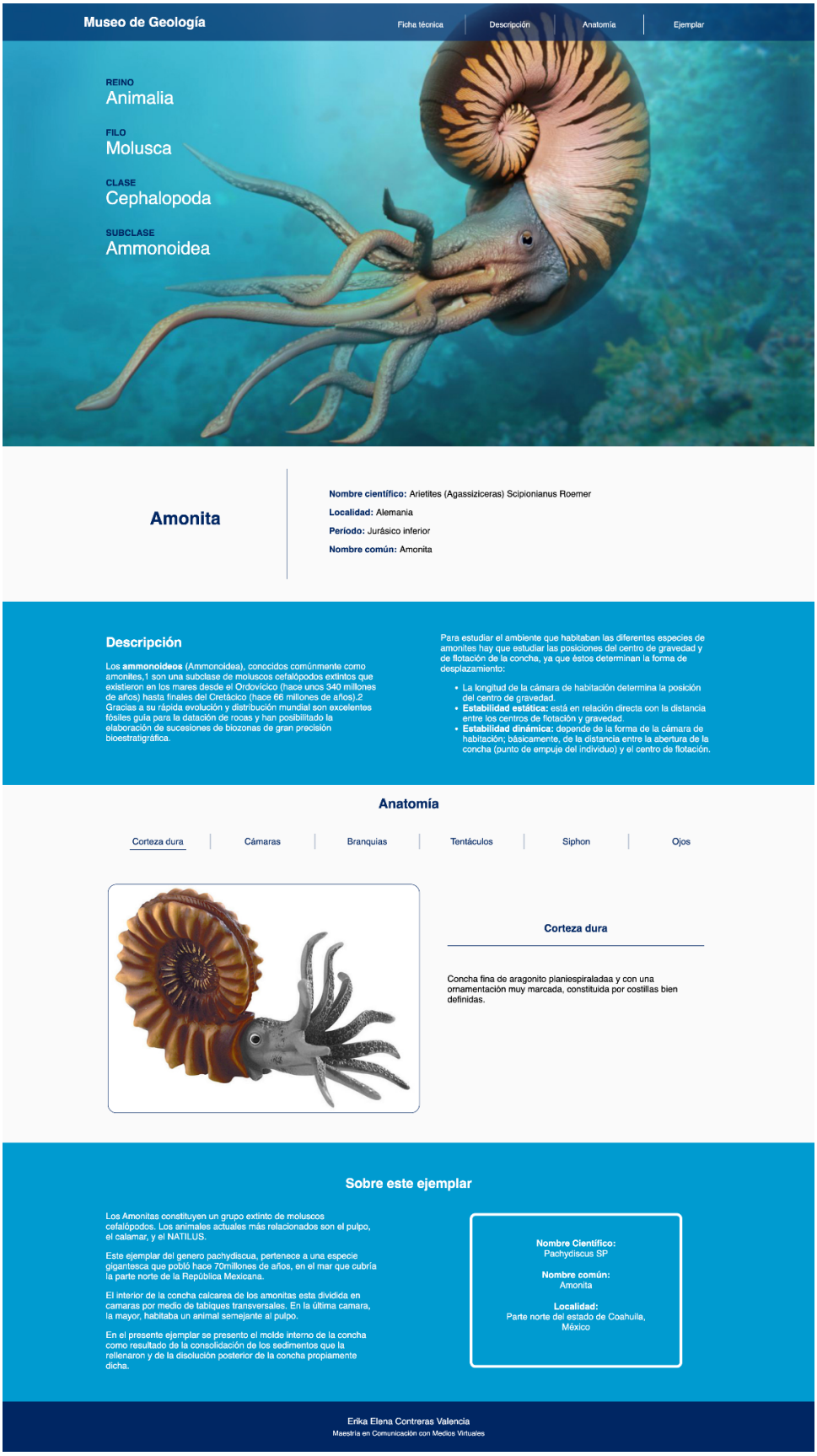
Esquema 4.1.1 Amonita, Museo de Geología

2. Cuando se tiene la información, se deben crear los elementos multimedia que se aumentarán por medio de la RA. En este caso los objetos aumentados son imágenes que representan a la amonita. Este paso conlleva procesos previos de diseño, que no son de mayor relevancia para esta investigación.



Esquema 4.1.2 Elementos multimedia, Elaboración propia

La primera imagen representa cómo lucía una amonita y sus partes principales, mientras que la segunda es un botón que redirecciona al sitio <https://erikaecv.github.io/amonita/> para obtener más información de la especie. En este micrositio el usuario encontrará mayor información sobre estos animales, también es importante mencionar que este micrositio sí conlleva procesos previos de programación para su creación, pero estos se encuentran fuera del alcance del aplicativo de RA.



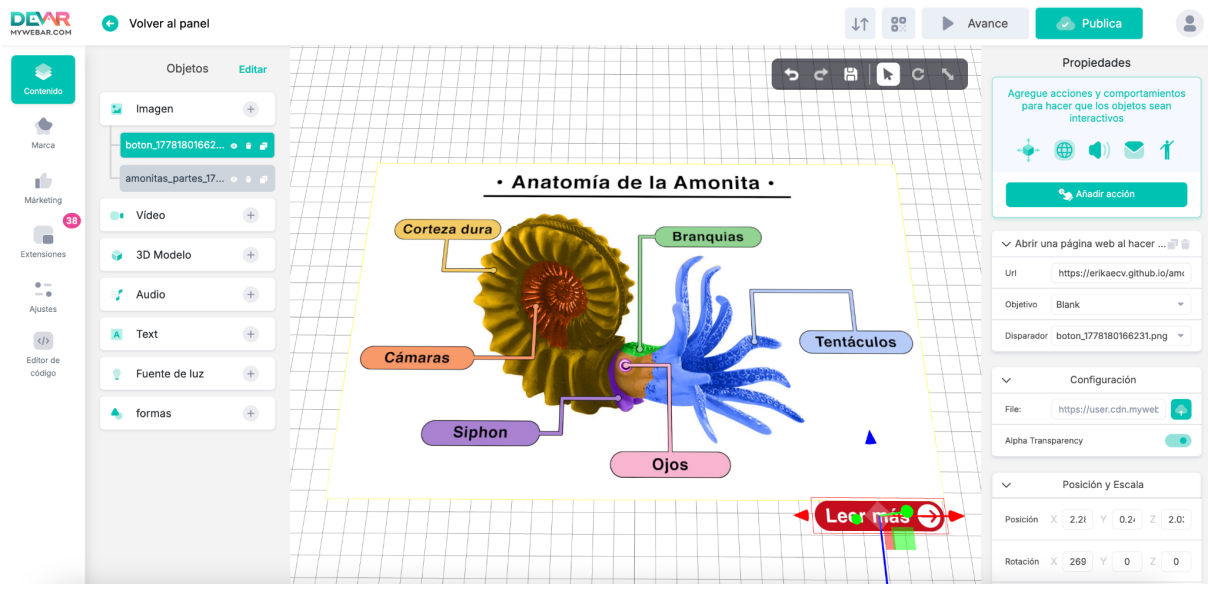
Esquema 4.1.3 Sitio de amonitas, Captura de pantalla, Elaboración propia

3. Posteriormente en la plataforma de MyWebAR se crea el proyecto, en este caso será de tipo QR por temas de uso gratuito. Este proceso no requiere programación, la interfaz permite arrastrar, rotar y escalar los elementos de una manera muy amigable e intuitiva.

En la interfaz se observa el código QR que funciona como el marcador a desplegar la aplicación de RA al centro de la escena, en la primera columna del lado izquierdo, en el apartado de Contenido se seleccionan los tipos de materiales a incluir, apareciendo una segunda columna. En este caso se seleccionó el tipo Imagen y se cargaron tanto la infografía como el botón.

Dentro del espacio del QR se decide la posición de los objetos, ya sea por medio de las flechas de posición y escala, según se desee.

En específico para el caso del botón, en la columna del lado derecho se selecciona la opción de "Añadir opción" > "Abrir una página web al hacer clic" y en el apartado de Url, se agrega el sitio al que redireccionará el enlace.



Esquema 4.1.4 Interfaz de MyWebAR, Captura de pantalla, MyWebAR.com

4. Finalmente, una vez configurado el contenido en la plataforma MyWebAR, se procede a dar clic en el botón de "Publicar", lo que genera

automáticamente un código QR único de acceso. Este código se integra directamente en la museografía, permitiendo que el visitante lo escanee desde su dispositivo móvil y acceda a la experiencia de realidad aumentada sin necesidad de descargar ninguna aplicación adicional, facilitando así una interacción inmediata con el contenido digital.



Esquema 4.1.5 Marcador de aplicativo de Amonita, Elaboración propia con MyWebAR

De esta manera se demuestra que los elementos agregados amplían el marco informativo del fósil, ya que pasó de ser una simple roca expuesta, a ser la representación física del ser vivo junto con más datos informativos. Por parte del desarrollo de la escena con MyWebAR, el proceso resulta ser de fácil elaboración, por el simple hecho de arrastrar y colocar los elementos sobre el panel central, que es el marcador.

El proceso para la creación de más proyectos de RA con MyWebAR es el mismo, pero se revisa en específico cada uno de ellos.

4.2 Segunda aplicación: video informativo sobre el Meteorito de Allende

Los meteoritos representan fragmentos de cuerpos celestes que permiten comprender el origen y evolución del sistema solar. Sin embargo, en los espacios museográficos suelen exhibirse únicamente como piezas minerales acompañadas de una breve ficha técnica. Mediante la RA se busca complementar la experiencia del visitante integrando recursos audiovisuales que expliquen de manera más dinámica el contexto histórico y científico del objeto expuesto. En este caso, el aplicativo se enfoca en el Meteorito de Allende, considerado uno de los meteoritos más importantes estudiados por la comunidad científica debido a la información que aporta sobre la formación temprana del sistema solar.

Siguiendo el esquema de desarrollo, el proceso es el siguiente:

1. Recolectar la información sobre el meteorito al que se le aumentarán las capas de RA. En este caso, la investigación corresponde al Meteorito de Allende, el cual cayó en el estado de Chihuahua, México, en el año de 1969. Para la elaboración del contenido se recopilaron datos relacionados con su origen, composición, relevancia científica y contexto histórico, información que permitió estructurar el material multimedia a integrar en la experiencia de RA.



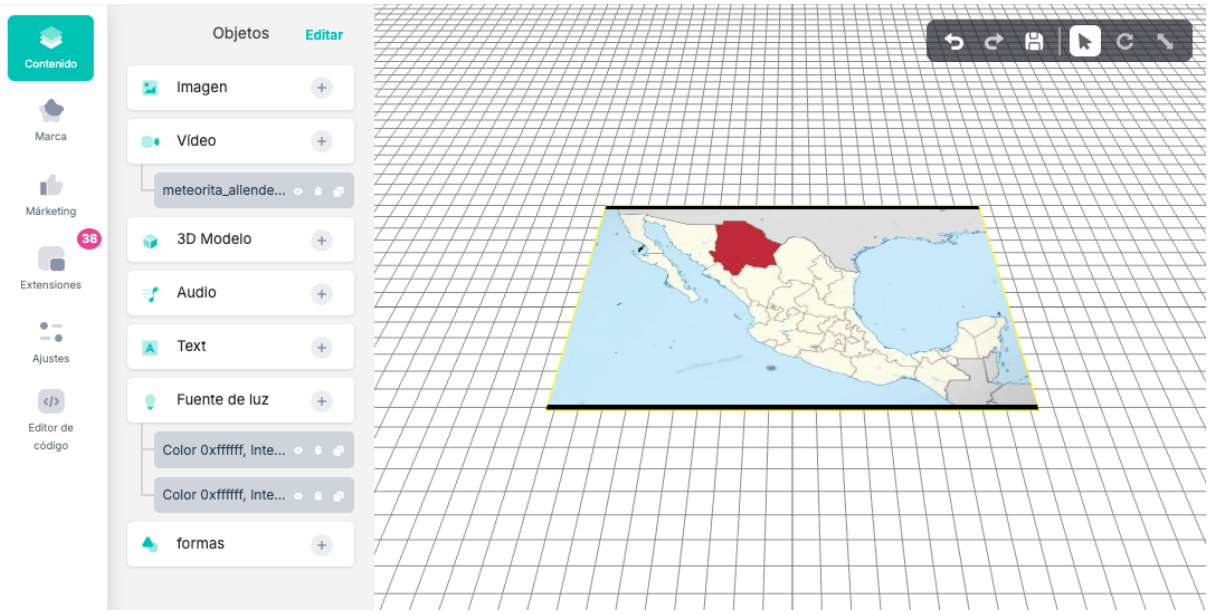
Esquema 4.2.1 Meteorito de Allende, Museo de Geología

2. Una vez reunida la información, se procedió a la creación previa de los elementos multimedia que serían aumentados mediante la RA. En este caso, el recurso principal corresponde a un video en formato MP4 que explica las características más relevantes del Meteorito de Allende. El contenido audiovisual integra narración, imágenes de apoyo y texto descriptivo con el propósito de facilitar la comprensión del visitante y generar una experiencia más interactiva dentro del museo.



Esquema 4.2.2 Meteorito de Allende, el más estudiado del mundo, Captura de pantalla, Páginas Ocultas, Youtube

3. Posteriormente, en la plataforma MyWebAR nuevamente se creó el proyecto utilizando la modalidad de código QR. Dentro de la escena principal se cargó el archivo de video en formato MP4 desde el apartado de Contenido, seleccionando la opción de Video. Después, el material audiovisual fue ajustado en posición, tamaño y orientación sobre el marcador QR, de acuerdo con la distribución deseada dentro de la experiencia de RA.



Esquema 4.2.3 Interfaz de MyWebAR, Captura de pantalla, MyWebAR.com

4. Finalmente, al concluir la configuración del contenido multimedia, se seleccionó la opción de "Publicar", generando automáticamente un código QR único para acceder a la experiencia. Este código puede colocarse junto a la pieza museográfica para que el visitante lo escanee desde su dispositivo móvil y visualice el video explicativo en RA sin instalar aplicaciones adicionales.



Esquema 4.2.4 Marcador del aplicativo del Meteorito de Allende, Elaboración propia con MyWebAR

De esta manera, el aplicativo demuestra cómo la incorporación de contenido audiovisual por medio de RA amplía la experiencia informativa del visitante, ya que el meteorito deja de percibirse únicamente como un fragmento de roca expuesta y se convierte en un objeto interactivo acompañado de explicaciones dinámicas y atractivas. Siendo asi, que el desarrollo de la experiencia dentro de MyWebAR resulta sencillo e intuitivo gracias a las herramientas visuales de manipulación de contenido que ofrece la plataforma.

4.3 Tercera aplicación: objeto 3D y audio sobre un mamut

Los restos de mamuts representan uno de los hallazgos paleontológicos más relevantes en México, debido a que permiten conocer aspectos relacionados con la fauna que habitó el territorio durante el Pleistoceno. No obstante, en muchos espacios museográficos estos restos suelen exhibirse de manera estática, limitando la posibilidad de apreciar su estructura completa y comprender su dimensión original. A través de la RA se busca enriquecer la experiencia del visitante mediante la incorporación de un modelo tridimensional interactivo acompañado de audio explicativo,

permitiendo observar el objeto desde diferentes perspectivas mientras se proporciona información complementaria sobre el espécimen.

Siguiendo el esquema de desarrollo, el proceso es el siguiente:

1. Recolectar la información sobre el mamut al que se le aumentarán las capas de RA. En este caso, la investigación corresponde a un ejemplar de mamut encontrado en México, del cual se recopilaron datos relacionados con su contexto histórico, características físicas, hábitat y relevancia paleontológica. Esta información sirvió como base para la elaboración de los elementos multimedia que formarían parte de la experiencia aumentada.

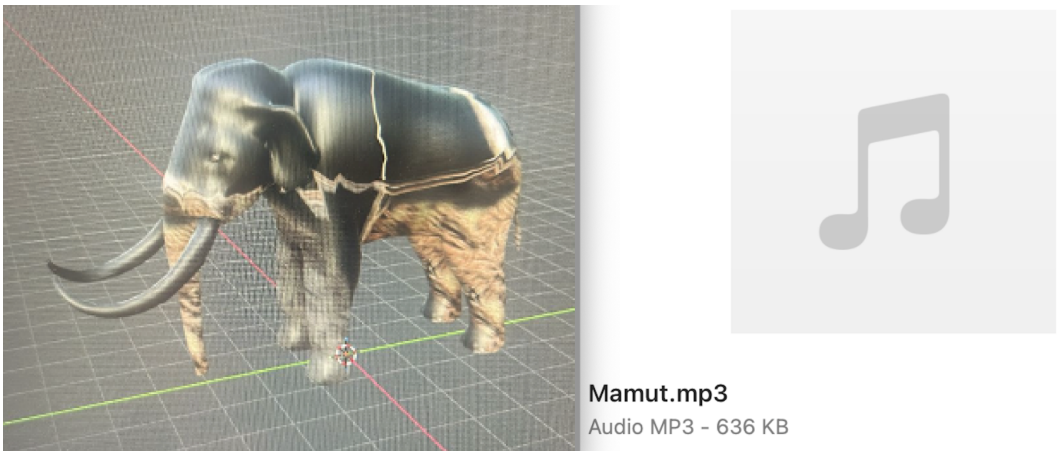


Esquema 4.3.1 Restos de mamut, Museo de Geología de la UNAM

2. Una vez obtenida la información, se procedió a crear previamente los elementos multimedia que serían integrados mediante RA. En esta aplicación, el recurso principal corresponde a un modelo tridimensional (3D) de un mamut, diseñado para visualizarse en un recorrido de 360 grados,

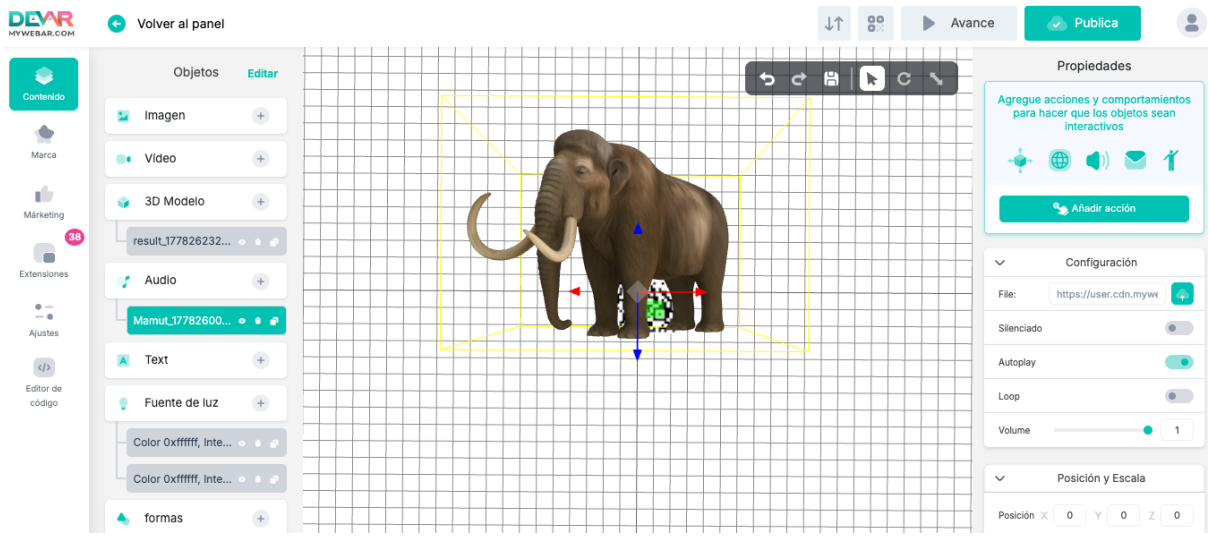
permitiendo al usuario observar el objeto desde distintos ángulos mientras esté rota continuamente sobre su eje.

Además, se incorporó un archivo de audio con información descriptiva sobre el nombre científico de la especie, así como otras características. La combinación de elementos visuales y auditivos permite generar una experiencia más inmersiva y didáctica para el visitante.



Esquema 4.3.2 Modelo 3D y audio del mamut, Elaboración propia

3. Posteriormente, en la plataforma MyWebAR se creó el proyecto nuevamente utilizando la modalidad de código QR. Gracias a la interfaz intuitiva de la plataforma, no fue necesario implementar procesos de programación. Dentro del apartado de Contenido se seleccionó la opción de Objeto 3D para cargar el modelo del mamut y posteriormente se ajustaron parámetros como posición, escala y rotación dentro del marcador QR. También, se añadió el archivo de audio desde la opción de Sonido, configurando su reproducción automática al iniciar la experiencia de RA.



Esquema 4.3.3 Interfaz de MyWebAR, Captura de pantalla, MyWebAR.com,

4. Finalmente, al concluir la configuración de los elementos multimedia, se seleccionó la opción de "Publicar", generando automáticamente un código QR único de acceso. Este código puede colocarse junto al objeto museográfico para que los visitantes lo escaneen desde sus dispositivos móviles y visualicen el modelo tridimensional del mamut en RA, acompañado del audio informativo, sin necesidad de descargar aplicaciones adicionales.

Esquema 4.3.4 Marcador del aplicativo de mamut, Elaboración propia con MyWebAR

De esta manera, la aplicación demuestra cómo la incorporación de modelos tridimensionales y recursos sonoros mediante RA amplía significativamente la experiencia museográfica, permitiendo que el visitante interactúe de manera más dinámica con el contenido. El uso del modelo 3D en rotación continua facilita la observación detallada del mamut desde cualquier perspectiva, mientras que el audio complementa la experiencia proporcionando información contextual de manera accesible e inmersiva. Nuevamente, el proceso de desarrollo dentro de MyWebAR resulta sencillo gracias a las herramientas visuales que permiten integrar y configurar los contenidos sin requerir conocimientos de programación.

Tema 4.4: Resultados del proceso de desarrollo de las aplicaciones

Con base en la selección de la herramienta de WebAR con MyWebAR, los resultados obtenidos en la creación de los aplicativos son los siguientes:

- La información presentada en los museos sobre las exposiciones del museo de Geología es breve en comparación a la información recolectada de forma ajena al museo, lo que justifica la ampliación del contenido mediante RA.
- Recolectar la información antes de comenzar el diseño del aplicativo, permite crear los objetos virtuales de forma organizada y adecuada para el objeto cultural.
- El diseño de los elementos multimedia varía desde la creación de imágenes, sitios Web, videos, audio, objetos 3D, entre otros, ya que WebAR es capaz de agregar estos elementos a sus capas de RA.
- Tener todos los recursos digitales en carpeta para subirlos como parte de los botones personalizados de MyWebAR o en un servidor externo, permite una mayor organización al crear la escena.
- El proceso al crear proyectos con cualquier tipo de elemento es sencillo, ya que los objetos virtuales se arrastran desde la columna de Contenido y se colocan sobre el marcador.

- Se pueden realizar diferentes pruebas antes de publicar el marcador y ser observada por los usuarios.
- Una vez concluido el proceso de desarrollo se observa que los elementos multimedia presentados, por medio de las capas de RA se amplía el marco informativo de las exposiciones.
- Los usuarios no requieren descargar ninguna aplicación, pueden acceder con su dispositivo móvil sea IOS o Android con sólo apuntar a los códigos QR y acceder a la información por medio del navegador.
- Por último, trabajar con tecnologías de RA, presenta virtudes atractivas y novedosas sobre el objeto al aumentar la información del objeto y enriquecer la experiencia del usuario.

Conclusiones

A lo largo de este artículo se recolectó la información necesaria para conocer los conceptos de RA, los retos que enfrenta los museos de ciencia, en específico un museo de geología y cuál sería el rol y límites de la RA dentro del discurso museográfico. También se revisó el caso de estudio, como lo es el Museo de Geología de la UNAM lo que permitió comprender las limitaciones que presenta la experiencia de observación tradicional en este tipo de espacios.

Bajo este dilema se identificó que la RA representa una alternativa viable para enriquecer el discurso museográfico, al permitir la incorporación de elementos multimedia que amplían la información de los objetos expuestos sin sustituir su presencia física. El uso de dispositivos móviles como medio de acceso resulta en una ventaja, ya que aprovecha tecnologías que los visitantes ya poseen, reduciendo costos de implementación y facilitando la interacción con los contenidos digitales.

De igual forma, el análisis de herramientas contemporáneas como WebAR, Unity y ARKit/ARCore permitió reconocer distintos enfoques tecnológicos para el desarrollo de experiencias con RA. A partir de los criterios establecidos (aspectos técnicos, usabilidad e integración museográfica), se realizó una tabla comparativa de estas herramientas, lo que permitió cumplir con el objetivo general de la investigación, el cual consistía en comparar sus características técnicas, de usabilidad y de integración museográfica considerando su aplicación en un museo de geología.

Este análisis permitió responder a la pregunta de investigación planteada: ¿Cuáles son las principales diferencias, ventajas y limitaciones en términos técnicos, de usabilidad y de integración museográfica entre tres herramientas contemporáneas de realidad aumentada aplicables a un museo de geología? Por lo tanto, se concluye que las diferencias entre las herramientas radican principalmente en su nivel de accesibilidad,

complejidad de desarrollo y capacidad de integración con el entorno museográfico, lo que influye directamente en su viabilidad de implementación dentro del museo.

Por lo tanto, se determinó que la opción más adecuada para este proyecto es el uso de WebAR mediante la plataforma MyWebAR, gracias a su accesibilidad, facilidad de uso y compatibilidad con dispositivos móviles sin necesidad de instalaciones adicionales de aplicaciones externas. Esta elección toma en cuenta los criterios técnicos, como las consideraciones de enriquecer la experiencia de usuario e integrar mayor información en el discurso museográfico. Adicionalmente, su implementación resulta muy sencilla para los desarrolladores, ya que el proceso de creación se basa principalmente en una interfaz visual en la que los elementos se configuran mediante acciones de arrastrar y soltar, sin requerir procesos complejos de programación ni la inversión en dispositivos especializados, lo cual representa una ventaja significativa para el museo al reducir costos de implementación y mantenimiento tecnológico.

No obstante, la selección de WebAR también implica considerar algunas limitaciones. Al depender de una infraestructura web y de servidores externos, la disponibilidad de la experiencia está condicionada por el funcionamiento de la plataforma y por las condiciones de conectividad de los visitantes. Ante una eventual interrupción temporal del servidor, el acceso a la experiencia podría verse afectado, por lo que se considera necesario contemplar alternativas dentro de la estrategia de implementación, como mantener disponibles recursos tradicionales del museo, como láminas del contenido informativo esencial para los visitantes y respaldo de los recursos digitales para los desarrolladores, en caso de una interrupción prolongada del servicio. Adicionalmente, el consumo de datos dependerá del peso de los recursos digitales incorporados, por lo que será necesario optimizar modelos 3D, imágenes, videos y audios para reducir los tiempos de carga y evitar un consumo innecesario de datos móviles.

Estas limitaciones deben considerarse en relación con las características de las otras alternativas analizadas. Si bien herramientas como Unity, y los *frameworks* nativos ARKit y ARCore se presentan como opciones más robustas para el desarrollo de experiencias más complejas y con mayor capacidad técnica, su implementación implica procesos más elaborados, provocando la necesidad de desarrollar y descargar aplicaciones específicas por parte de los visitantes, así como mayores costos de producción y mantenimiento por parte del museo. En este sentido, estas tecnologías podrían ser más adecuadas para proyectos con mayor presupuesto e incluso en escenarios donde el público objetivo cuente con mayores recursos técnicos y económicos.

Finalmente, se concluye que la RA implementada a través de soluciones basadas en WebAR, puede contribuir significativamente a mejorar la experiencia del visitante en el museo, al ofrecer una forma más interactiva y dinámica de acceder a la información científica. WebAR se presenta como la alternativa más adecuada y viable para entornos museográficos, ya que no sustituye la experiencia directa con los objetos culturales, sino que la complementa, permitiendo una comprensión más amplia y significativa de las colecciones, y abriendo nuevas posibilidades para la divulgación del conocimiento en museos de ciencia.

Fuentes de consulta:

Amazon. "¿Qué es una interfaz de programación de aplicaciones (API)?", Texto. *AWS*. 2026. Web. 10-08-2026. <URL>

Apple. "Más para explorar conARKit 6", Texto. *Realidad Aumentada*. 2026. Web. 23-04-2026. <URL>.

Apple. "Verificación de la compatibilidad del dispositivo y los permisos del usuario", Texto. *Documentación*. 2026. Web. 10-08-2026. <URL>.

ARCore. "Convierte el mundo en tu lienzo", Texto. *ARCore*. 2026. Web. 23-04-2026. <URL>.

ARCore. "Dispositivos compatibles con ARCore", Texto. *Documentación*. 2026. Web. 10-08-2026. <URL>.

Banchoff, Claudia, y otros. "Realidad aumentada y realidad virtual aplicadas a proyectos con fines sociales", *XXIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación.* 16-04-2021. Web. 31-03-2026. <URL>.

Castrejon Barbara. Colección de fósiles, un viaje fotográfico. 2017. Fotografía. Museo de Geología de la UNAM. CDMX, México. Ciencia UNAM. Web, 08-05-2026. <URL>

Charr Manuel. "Cómo los museos utilizan la realidad aumentada", Texto. *MuseumNext*. 10-08-2025. Web. 31-03-2026. <URL>.

DEVAR, MywebAR.com. "Descubre la plataforma todo en uno que potencia tu creatividad", Texto. *MywebAR.com*. 2026. Web. 06-05-2026. <URL>.

DEVAR, MywebAR.com. "Cambios importantes en los planes de suscripción MyWebAR", Texto. *MywebAR.com*. 2026. Web. 11-08-2026. <URL>.

Gómez Vargas Isidro. "Diseño y desarrollo para una aplicación para dispositivos móviles de Realidad Aumentada", *Repositorio de Academia*. 02-12-2016. Web. 31-03-2026. <URL>.

Guzman-Paredes Yomaira, "Realidad Aumentada utilizando Unity". *Bogotá: Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia*. 12-2022. Web. 31-03-2026 <URL>

International Council of Museums, "Desarrollo de estrategias digitales", Texto. *Documentación*, 2026. Web. 10-08-2026. <URL>

Loor-Chóez, Cintia Carolina. "Realidad Aumentada en Museos Universitarios: Una revisión sistemática de la literatura". *Revista Multidisciplinaria Arbitrada de Investigación Científica*. 31-12-2025. Web. 31-03-2026. <URL>.

Meteorito Allende, el más estudiado en el mundo . Páginas Ocultas. *Youtube*. 17-10-2024. 08-05-2026. <URL>

Moody Mattan. "WebAR frente a aplicaciones de realidad aumentada: ¿Cuál es mejor?", Texto. *Brand XR*. 10-01-2025. Web. 16-04-2026. <URL>.

Muñoz García Adolfo, Martí Testón Ana, "Estudio de experiencias inmersivas en museos. Las nuevas narrativas de la realidad aumentada", *Repositorio de Academia*. 16-11-2018. Web. 31-03-2026. <URL>.

Museum Gallery Scotland. "Interpretative planning", Texto. *Museum Gallery Scotland*. 18-03-2024. Web. 10-08-2026. <URL>.

Museumfy AI. "8 desafíos comunes en las visitas a museos y sus soluciones", Texto. *Museumficar*. 2025. Web. 23-03-2026. <URL>.

Museo de Geología, UNAM. Resp. Canal Once. *Youtube*. 12-06-2015. 20-03-2026. <URL>

Pérez Díaz Roselina, "Realidad aumentada. Tecnología para la formación", *Revista Electrónica de Tecnología Educativa*. 09-2016. Web. 31-03-2026. <URL>.

Pineda Caro, Diana Yicela, y otros, "Los museos de ciencias: alcances y perspectivas en el campo educativo", *Revista Interamericana de Investigación Educación y Pedagogía RIIEP*. 03-05-2023. Web. 23-03-2026. <URL>.

Salazar Fierro Fausto Alberto y otros. "Comparativa técnica de Herramientas para Realidad Aumentada: Wikitude, Vufora y Artoolkit". *Axioma*. 17-11-2017. Web. 31-03-2026. <URL>.

Sharad Jain. "Comprender los conceptos básicos de WebAR y Realidad Aumentada.", Texto. *Medium*. 14-09-2022. Web. 16-04-2026. <URL>.

Universidad Nacional Autónoma de México. "Historia del museo de Geología", *Museo de Geología*. Webmaster-igl. 2018. Web. 20-03-2026, <URL>.

Unity. "Características nuevas y actualizaciones para las plataformas", Texto. *Unity 2020.1 Realease*. 2026. Web. 10-08-2026. <URL>.

Unity. "Término del glosario: WebAR", Texto. *Unity*. 2025. Web. 31-03-2026. <URL>.

Unity. "Vuforia", Texto. *Unity*. 2018. Web. 23-04-2026. <URL>.

Unity Documentation "Supported asset type reference", Manual. *Unity*. 2026. Web. 07-05-2026. <URL>.

Unity Documentation "Compatibilidad de archivos de vídeo", Manual. *Unity*. 2026. Web. 10-08-2026. <URL>.

Unity Documentation "Requisitos y compatibilidad con Android", Manual. *Unity*. 2026. Web. 10-08-2026. <URL>.

U-Tad*,* Centro Universitario de Tecnología y Arte Digital. "Jakob Nielsen, el padre de la usabilidad", *U-Tad*. 29-11-2024. Web. 31-03-2026, <URL>.

Vendelskis Sarunas. “ARkit vs ARcore: ¿Qué kit de desarrollo es mejor para crear aplicaciones de realidad aumentada?”, Texto. *Modelry*. 03-03-2022. Web. 31-03-2026. <URL>.

WhatIsWebAR. “¿Qué es WebAR?”, ar.rocks. 2022. Web. 16-04-2026, <URL>.