



INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

# Estado del arte de la realidad aumentada y su aplicación al transporte carretero

---

Juan Carlos Vázquez Paulino  
Miguel Ángel Backhoff Pohls  
Elsa María Morales Bautista  
Jonatan Omar González Moreno

Publicación Técnica No. 696  
**Sanfandila, Qro.**  
**2022**

ISSN 0188-7297



Esta investigación fue realizada en la Unidad de Sistemas de Información Geoespacial del Instituto Mexicano del Transporte, por el Lic. Juan Carlos Vázquez Paulino, el Mtro. Miguel Ángel Backhoff Pohls, la Mtra. Elsa María Morales Bautista y el Mtro. Jonatan Omar González Moreno; es el producto final del proyecto de investigación interna *OI-05/20 “Estado del arte de la realidad aumentada y su aplicación al transporte carretero”* y forma parte del portafolio de proyectos de la Coordinación de Estudios Económicos y Sociales del Transporte.



# Contenido

---

	Página
Índice de figuras.....	v
Sinopsis.....	ix
Abstract.....	xi
Resumen Ejecutivo .....	xiii
Introducción.....	1
1 Antecedentes .....	5
2 Realidad aumentada, concepto y características .....	21
3 Arquitectura y software de realidad aumentada .....	35
4 La realidad aumentada y el transporte .....	43
Conclusiones.....	61
Bibliografía .....	63



# Índice de figuras

---

Figura 1.1 Reality-Virtuality Continuum .....	2
Figura 1.2 Morton Heiling en 1962 .....	6
Figura 1.3 Experiencia teatral de Morton Heiling .....	7
Figura 1.4 Ivan Sutherland y el Sketchpad .....	8
Figura 1.5 Sword of Damocles .....	9
Figura 1.6 Metaplay .....	10
Figura 1.7 Video Place de Myron Krueger .....	11
Figura 1.8 Experiencias realizadas en Video Place .....	11
Figura 1.9 El View de Nasa-Ames .....	12
Figura 1.10 Dataglove de VPL Research Inc.....	13
Figura 1.11 Consola Wii.....	14
Figura 1.12 Google Maps y vista panorámica del IMT.....	15
Figura 1.13 Tableta del proyecto Tango (Google).....	16
Figura 1.14 Mapa de Pokemon Go .....	17
Figura 1.15 Reconocimiento de lugares utilizando Google Lens .....	18
Figura 1.16 Utilización de Google Live View .....	19
Figura 1.17 Ejemplo de QR Code .....	20
Figura 2.18 Dispositivo en donde se muestra información adicional .....	22
Figura 2.19 Ventana de línea de comandos MS-DOS.....	26
Figura 2.20 Interfaz gráfica de Windows 11.....	27
Figura 2.21 Interfaz gráfica de Android 7.0 Nougat.....	28

Figura 2.22 Ejemplo de marcadores de interactividad de RA .....	32
Figura 3.23 Componentes de un sistema de RA .....	35
Figura 3.24 Metodología de diseño ARML .....	36
Figura 3.25 Ejemplo de utilización de UniteAR .....	37
Figura 3.26 Ejemplo de utilización de ARToolKit .....	38
Figura 3.27 Ejemplo de utilización de ARCore .....	38
Figura 3.28 Ejemplo de utilización de Vuforia .....	39
Figura 3.29 Imagen demostrativa del uso de VGIS .....	40
Figura 3.30 Imagen demostrativa del uso de VGIS en campo.....	41
Figura 3.31 Imagen demostrativa del uso de VGIS en campo - 2.....	41
Figura 3.32 Imagen demostrativa del uso de AuGEO en campo .....	42
Figura 4.33 Sistema de realidad mixta (con dispositivos físicos adicionales) integrado con inteligencia artificial .....	46
Figura 4.34 Sistema de realidad mixta Hololens.....	47
Figura 4.35 Medición de banquetas, mostrada en el dispositivo de realidad aumentada .....	47
Figura 4.36 Creación de modelo 3D de un puente .....	48
Figura 4.37 Escaneo del código QR y despliegue de la información en formato PDF .....	49
Figura 4.38 Monitoreo de la estructura de un puente utilizando realidad mixta conjuntamente con una red de sensores de deformación (galgas extensiométricas).....	49
Figura 4.39 Prototipo de Realidad Virtual para la aplicación de inspecciones a puentes .....	50
Figura 4.40 Plataforma Augmented class.....	51
Figura 4.41 Imagen que servirá de marcador .....	52
Figura 4.42 Imagen con la información que se mostrará en el escenario .....	53
Figura 4.43 Selección de opción Marcador Simple .....	53

Figura 4.44 Constructor de escenarios .....	54
Figura 4.45 Selección de marcador .....	54
Figura 4.46 Colocación y ajuste de marcador .....	55
Figura 4.47 Colocación y ajuste de información para marcador .....	55
Figura 4.48 Selección de escenario recién creado.....	56
Figura 4.49 Enfocando imagen similar al marcador .....	56
Figura 4.50 Mostrando datos correspondientes al marcador .....	57
Figura 4.51 Selección de escenario en el Visor.....	57
Figura 4.52 Ubicación y enfoque al marcador definido .....	58
Figura 4.53 Generando la identificación del marcador .....	58
Figura 4.54 Mostrando datos relacionados al marcador .....	59
Figura 4.55 Código QR para visualizar video sobre el procedimiento de generación de escenarios de realidad aumentada utilizando Augmented Class.....	59



# Sinopsis

---

En este trabajo, se realiza una revisión de las definiciones acerca de la realidad aumentada. Se presenta una breve historia de su evolución a través del tiempo y se comentan algunas de sus características, así como la arquitectura necesaria para construirla.

Se identifican las fases principales del proceso para realizar una aplicación de realidad aumentada, así como la tecnología asociada disponible para realizar tal fin.

Se exponen algunas ideas acerca de la utilización de la realidad aumentada en diversos aspectos relacionados con el transporte carretero, aunque es posible identificar aplicaciones en los otros modos de transporte que existen.

Como parte de los objetivos del proyecto, se realizó un ejercicio con una aplicación comercial de realidad aumentada para identificar algunos usos en general y su utilización en el transporte.



# Abstract

---

In this paper, a definition of augmented reality is given. A brief history of its evolution through time is presented and some of its characteristics are discussed, as well as the architecture required to build it.

The main phases of the process to create an augmented reality application are identified, as well as the associated technology available to achieve this goal.

Some ideas about the use of augmented reality in various aspects related to road transportation are presented, although it is possible to identify applications in other existing modes of transportation.

As part of the objectives of the project, an exercise was carried out with a commercial augmented reality application to identify some general uses and its use in transportation.



# Resumen ejecutivo

---

En los últimos años, se está produciendo el auge de las soluciones de *Realidad Aumentada* (en adelante RA) gracias a la proliferación de teléfonos inteligentes (smartphones) y tabletas que permiten disfrutar fácilmente de la experiencia de la RA en entornos de movilidad.

El análisis de la evolución de la RA en el Hype Cycle de Gartner<sup>1</sup> (2010-2019), permite ver que las expectativas creadas han sido más elevadas que los desarrollos y aplicaciones actuales. Sin embargo, la posibilidad de poder acceder a información contextualizada, en movilidad y con un bajo grado de intrusión en las labores de los usuarios, garantiza el éxito de la RA al permitir que puedan ser empleadas con múltiples finalidades en diferentes sectores: turismo, logística, transporte, etc.

Parte del éxito se debe a que los usuarios tienen la posibilidad de interactuar, en tiempo real y desde sus puestos de trabajo, con información relevante para las tareas que tienen encomiadas (p. ej. órdenes de trabajo, planificación, diseño, revisión de mantenimiento efectuado a obras o infraestructura).

Las tecnologías que soportan la RA son un medio para que los usuarios colaboren en la solución de problemas y permiten además recibir información en el puesto de trabajo explícita (antes de comenzar una tarea) o implícita (guiando en los procesos de verificación). En definitiva, la RA puede contribuir a mejorar la eficiencia y productividad del usuario, mantenerlo informado y sacarle provecho a los datos existentes.

Por último, señalar que el propósito de este documento es analizar el estado de la RA reflejando sus características generales, las diferencias con la *Realidad Virtual* (RV) y presentar las distintas tecnologías de seguimiento y visualización disponibles. Por un lado, se revisarán los distintos tipos de soporte existentes, y por otro, se verán los diferentes SDK<sup>2</sup> (*software development kit*) que permiten desarrollar aplicaciones.

---

<sup>1</sup> <https://www.gartner.mx/es/metodologias/hype-cycle>

<sup>2</sup> Un kit de desarrollo de software (SDK) es un conjunto de herramientas proporcionado usualmente por el fabricante de una plataforma de hardware, un sistema operativo (SO) o un lenguaje de programación. <https://www.redhat.com/es/topics/cloud-native-apps/what-is-SDK>



# Introducción

---

Este proyecto forma parte de la línea de investigación de Sistemas de Información Geoestadística para el Transporte y es útil para que los responsables de la toma de decisiones de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT), tengan información, procesos y métodos para coadyuvar a administrar y operar eficientemente la infraestructura carretera. Así mismo, esta investigación contribuirá al cumplimiento del Objetivo prioritario 1: “Desarrollar de manera transparente una red de comunicaciones y transportes accesible, segura, eficiente, sostenible, incluyente y moderna, con visión de desarrollo regional y de ordenamiento del territorio y de redes logísticas que conecten a la mayoría las personas de cualquier condición, facilite el traslado de bienes y servicios y contribuya a salvaguardar la seguridad nacional.”, indicado en el Primer Informe de Labores de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes, del 1 de septiembre de 2019. Asimismo, se contribuirá con el cumplimiento de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU (Sustainable Development Goals), por ejemplo, el Objetivo 8 Trabajo Decente y Crecimiento Económico, Objetivo 9 Industria, Innovación e Infraestructura, Objetivo 11 Ciudades y Comunidades Sostenibles, Objetivo 12 Producción y Consumo Responsables.

Las nuevas tecnologías (*Digital Twins, Homomorphic Encryption, Quantum Machine Learning, Real Time Incident Center*<sup>3</sup>) hacen referencia a las técnicas que han surgido en los últimos años dentro de los campos de la informática, ingeniería y diversos campos, son una serie de instrumentos y de posibilidades que permiten ejecutar, procesar, visualizar y analizar datos. Una de las nuevas tecnologías es la *Realidad Aumentada* (RA) y se puede considerar como una conjunción y aplicación de un sistema o múltiples sistemas para integrar el uso virtual de datos e información con el mundo real a través de una plataforma diseñada específicamente para tal fin. Es un modo de poder interactuar con la realidad física en tiempo real a través de alguna solución tecnológica.

Los cambios en el modo que manipulamos la realidad están asociados con cambios de percepción y la realidad es interpretada y representada de distintas maneras por los medios, artistas, filósofos, periodistas, médicos, tecnólogos, ingenieros y otros profesionales.

Esta publicación se enfoca al campo de la RA, definida como “un conjunto de herramientas, técnicas de representación y manipulación de objetos virtuales para

---

<sup>3</sup> <https://resbla.com/2021/08/30/hype-cycle-2021-que-hay-de-nuevo/>

hacer creer al usuario que está viviendo en una realidad que no es una realidad". Se puede dar a partir de un objeto real o ficticio, pero en todos los casos permite obtener un modelo utilizando una estructura de datos que puede ser procesada por una computadora o dispositivo que esté preparado para ello.

Se ofrece una revisión de la historia que rodea el desarrollo de los sistemas y sus componentes, así como los avances que sobre este tema en diversas áreas, en términos de dispositivos utilizados como manipuladores táctiles capaces de proporcionar sensaciones reales, visores interactivos 3D para simulaciones visuales, software para tal fin (con base en Mejía Luna, J., 2012), utilización de mapas e identificación de potencial de utilización en administración de infraestructura del transporte en general.

La RA es una tecnología en evolución por su naturaleza inmersiva en entornos artificiales y participativos que incluyen áreas como: simulación por computadora, entornos 3D, gráficos, sonido y tacto; los usuarios pueden interactuar con estas tecnologías de maneras muy distintas y dinámicas, lo que la convierte en un área prometedora para obtener resultados diferentes a los tradicionales en los proyectos de infraestructura.

El concepto de continuo de la virtualidad (*virtuality continuum*) fue definido por primera vez el año 1994, por Paul Milgram y Fumio Kishino<sup>4</sup>. El continuo de la virtualidad sirve para describir que existe una escala continua que oscila entre lo que se puede definir como completamente virtual, es decir, una realidad virtual, y lo que es completamente real (la realidad). Así que intenta abarcar todas las posibles variaciones y composiciones de objetos virtuales y reales (ver Figura 1.1).

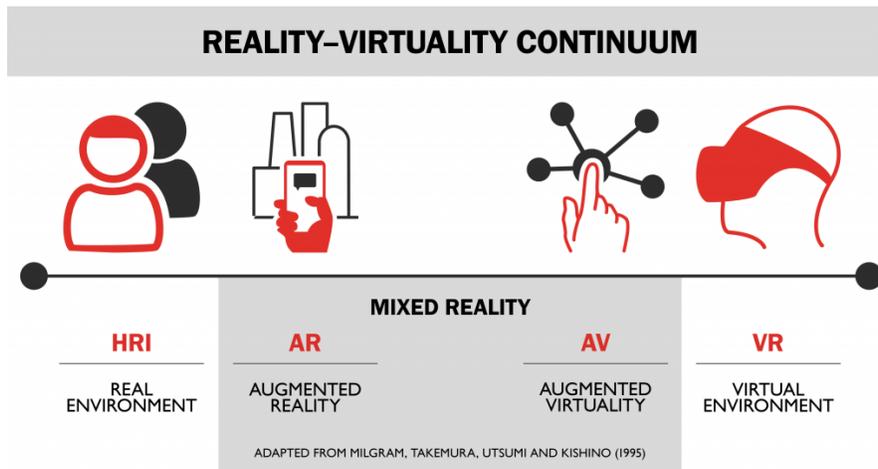


Figura 1.1 Continuo de la Virtualidad (*Reality-Virtuality Continuum* en inglés)

Fuente: <https://hackernoon.com/milgrams-continuum-best-pick-up-line-ever-cf9e335ea813>

<sup>4</sup> <https://innovacioneducativa.upm.es/recursos/edu-trends-realidad-aumentada-realidad-virtual>

De izquierda a derecha va aumentando el grado de estímulos generados por ordenadores, se observa que en el extremo derecho se encuentra lo que se llama realidad virtual inmersiva, donde todos los estímulos son generados por ordenador. En cambio, en el extremo izquierdo se encuentra aquello que es totalmente real, es decir, personas, objetos, plantas, que se pueden tocar y sentir como estamos acostumbrados a hacerlo en la vida cotidiana. El área comprendida entre los dos extremos, donde la realidad y la virtualidad se mezclan, se encuentra aquello que se conoce como realidad mixta.

La llamada realidad aumentada, es donde la virtualidad hace aumentar la realidad (enriquece la realidad introduciendo objetos virtuales en ella), y la llamada virtualidad aumentada, donde la realidad aumenta la virtualidad (enriquece la virtualidad introduciendo objetos reales en ella).



# 1. Antecedentes

---

La *Línea de Tiempo* y algunos de los conceptos utilizados en este documento (adaptada de Mejía Luna, J., 2012), son los siguientes:

Una de las ideas básicas detrás de la RA / RV es la de conseguir llevar la “*Interacción Persona-Computador (IPO)*” al límite, de forma que esta interacción resulte lo más cercana a la comunicación humana.

## 1.1 Realidad artificial

Fue acuñado por Myron Krueger<sup>5</sup>, en 1975, mientras investigaba el sistema VideoPlace. La realidad artificial no puede considerarse sinónimo de realidad virtual porque es solo una de las posibles posibilidades tecnológicas y sistémicas.

## 1.2 Telepresencia

Introducida por Marvin Minsky<sup>6</sup> en 1980, esta tecnología permite a los operadores explorar y controlar de forma remota sistemas y entornos reales. Permite al operador realizar funciones que no se pueden realizar directamente debido a entornos peligrosos (vapores, gases tóxicos, temperaturas extremas, trabajo con materiales radiactivos, cambios en la presión atmosférica, etc.) y así sucesivamente. Estos sistemas suelen incluir un sistema robótico semiautónomo, que se puede utilizar en tierra y en el agua, así como en nuestro planeta y en misiones espaciales. Algunas de las aplicaciones son: mantenimiento de residuos nucleares, desactivación de bombas en vehículos, telemedicina o telecirugía, etc.

Es diferente a la Realidad Virtual (RV), ya que todas las señales o estímulos que recibe el usuario en telepresencia se originan en el entorno físico y la RV genera todos los estímulos de forma digital.

## 1.3 Ambiente virtual

Un entorno virtual es una arquitectura y configuración estática y parametrizada que simula un entorno específico, simulado o no. Los entornos virtuales se utilizan a menudo en películas de efectos especiales generadas por computadora. Los entornos virtuales no pueden considerarse realidad virtual porque no existe una

---

<sup>5</sup> <https://proyectoidis.org/myron-krueger/>

<sup>6</sup> <https://web.media.mit.edu/~minsky/papers/Telepresence.html>

relación entre el usuario y el entorno, a menudo se utilizan como un pobre sustituto de la realidad virtual, solo deben tratarse como un elemento estático.

## **1.4 Entorno artificial**

La razón para usar accesorios en lugar de virtuales es que este emparejamiento se hereda de simuladores de vuelo por computadora anteriores y está restringido a los militares, no al uso del término virtual que se dice por naturaleza para dar una sensación "irreal". Los entornos sintéticos tienen los mismos problemas conceptuales que los entornos virtuales, porque dejan de lado el concepto de experiencias y sujetos virtuales.

## **1.5 Ciberespacio**

Es el espacio intangible y omnipresente creado por las redes de comunicación informática. El término fue acuñado por William Gibson<sup>7</sup> en 1984 en su novela *Neuromancer*, actualmente se relaciona con el espacio formado por Internet, independientemente del tipo de interfaz utilizada.



**Figura 1.2 Morton Heilig en 1962, padre de la realidad virtual**

Fuente: <https://todoenrealidadvirtual.wordpress.com/2016/06/18/morton-heilig-padre-de-la-realidad-virtual/>

---

<sup>7</sup> <https://www.biografias.es/famosos/william-gibson.html>

En 1956, Morton Heiling, Figura 1.2, desarrolla algo que llamó “Experiencia teatral” o Sensorama, en donde pretendía integrar diversos tipos de estímulos como imágenes, sonido, vibración y olores. Era un tipo de cabina para una sola persona en donde el usuario se colocaba y miraba a través de un visor o pantalla.

De este modo, simuló viajes en bicicleta, motocicleta y diversos tipos de transportes. En dichos viajes utilizaba estímulos físicos para actuar sobre algunos de los sentidos humanos, tales como vibraciones en los asientos, en las manijas, uso de ventiladores para simular viento, sonidos del motor o voces de las personas que se “encuentran” cerca, olores del lugar donde “circula” el vehículo, etc. Se considera que es uno de los ejemplos iniciales donde se utiliza la tecnología inmersiva y del tipo multisensorial.

No se considera aún como realidad virtual, ya que no utilizaba ningún equipo de cómputo, siendo puramente mecánico en una secuencia de hechos no aleatoria y tampoco interactiva, Figura 1.3.

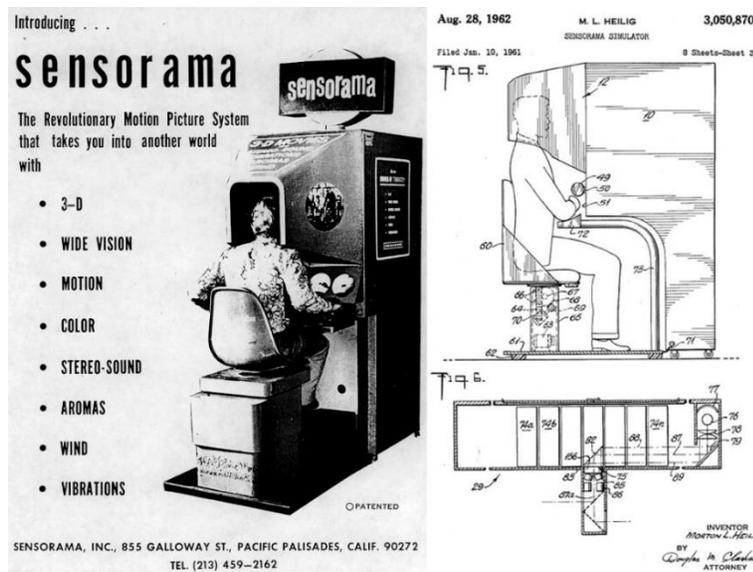


Figura 1.3 Experiencia teatral de Morton Heiling

Fuente: <https://sudonull.com/post/24592-Real-virtuality-yesterday-today-and-tomorrow>

## 1.6 La RV y *The Ultimate Display*

En 1965, surge el concepto de realidad virtual en el artículo “*The Multiple Display*” de Ivan Sutherland, ahí se definen las bases para un sistema multisensorial en una computadora, al que llamó “*Ultimate Display*” (Interfaz Optima persona-computador), ya que anteriormente había diseñado y construido algo llamado “*Sketchpad*”, que se considera como el sistema inicial de una interfaz gráfica utilizando un dispositivo del tipo lápiz óptico.

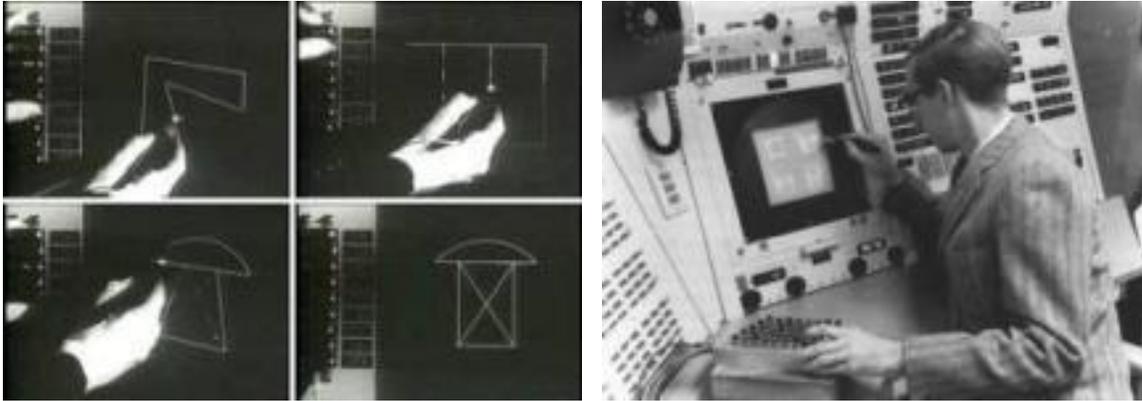


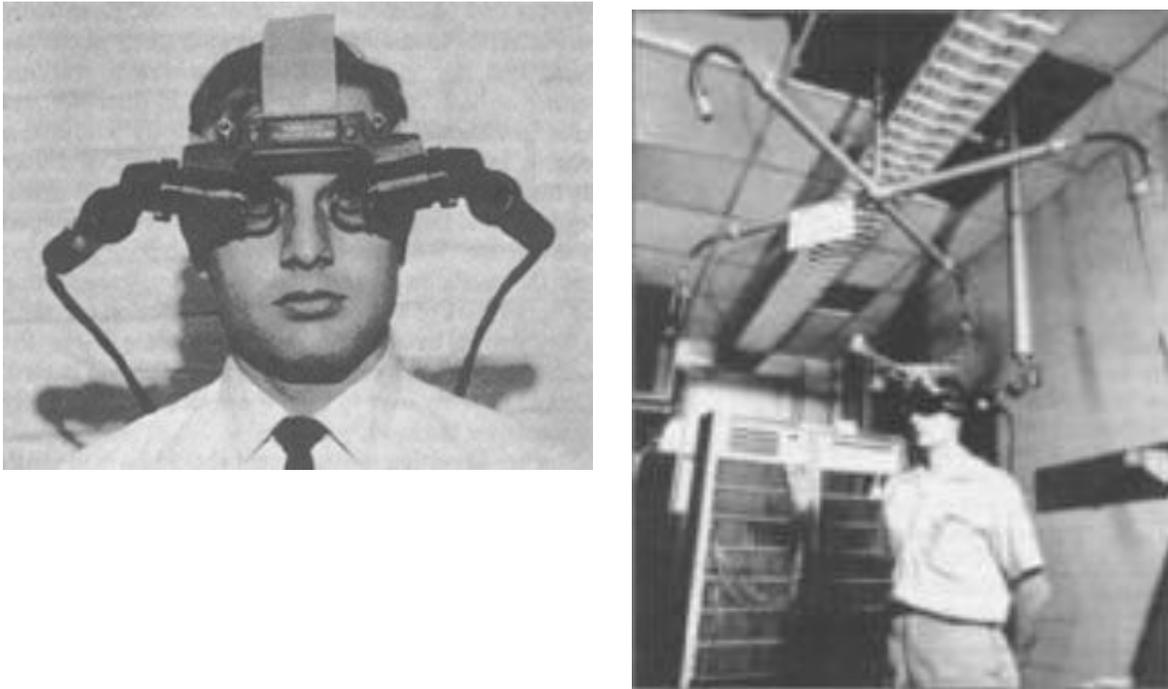
Figura 1.4 Ivan Sutherland y el Sketchpad

Fuente: <https://bimaplus.org/news/the-very-beginning-of-the-digital-representation-ivan-sutherland-sketchpad/>

Cuando Sutherland, ver Figura 1.4, presenta el sistema multisensorial “*Ultimate Display*”, su intención era desarrollar un sistema que le permitiera adaptarse a conceptos no realizables en la vida real y en el entorno físico, su opción fue diseñar una herramienta que permitiera a los usuarios el acceso aún sin tener ciertos conocimientos específicos.

## 1.7 La espada de Damocles en versión de Ivan Sutherland

La espada de Damocles se refiere a un instrumento que cuelga encima de la cabeza de alguien e indica el peligro que representa, en 1968, Sutherland diseñó lo que se puede considerar como el primer casco de RV, así como el primer sistema que detecta a donde se orienta la mirada del usuario y llamó a esta solución “*Sword of Damocles*” (Espada de Damocles), ver Figura 1.5.



**Figura 1.5 Sword of Damocles**

Fuente: <https://proyectoidis.org/espada-de-damocles/>

El instrumento en cuestión, contaba con una serie de tubos sostenidos al techo que servían de soporte para el sistema de visualización que estaba conformado por dos pantallas pequeñas y que se acomodaban a la cabeza del usuario. En las uniones de los tubos que constituían el soporte se instalaron potenciómetros que medían hacia donde se movía la cabeza del usuario, enseguida una computadora creaba pares estereoscópicos de imágenes en 3D convertidas en retículas y proyectadas en perspectiva.

Cuando el usuario se movía, los movimientos eran detectados por los sensores, se enviaban a la computadora y se recalculaba la perspectiva o punto de vista del usuario hacia los objetos, mostrándola en las pantallas.

## 1.8 Realidad Artificial y el Videoplase de Krueger

Myron Krueger<sup>8</sup> en 1969 diseña ambientes interactivos que incluían la participación de un usuario entero apoyándose en una computadora. Se crean situaciones o ambientes controlados por computador y la llama "Glowflow", éste se componía de un cuarto a oscuras con tubos de luz similares a las lámparas actuales, el piso cubierto de sensores, conforme se daban pasos se prendían alguna de las lámparas o se modificaban los sonidos generados en un sintetizador, el problema era que no se establecía diálogo o interacción entre el usuario y la máquina.

Durante 1970 crea el "Metaplay", en donde se integra la interacción entre el usuario y la realidad, permite que se establezca una relación en tiempo real entre un artista y el participante. Ellos dos, a través de la tecnología interactuaban, ya que el artista se encontraba en un área distinta al usuario, se podían transmitir palabras escritas, sonidos e imágenes. Figura 1.6.

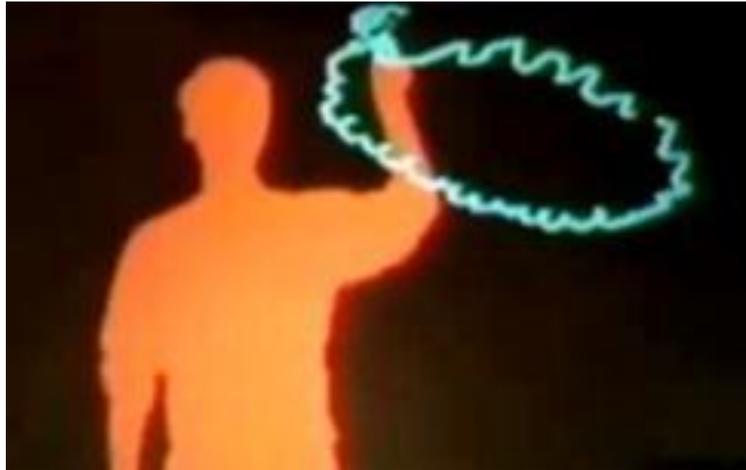


Figura 1.6 Metaplay

Fuente: [https://hmn.wiki/es/Myron\\_W.\\_Krueger](https://hmn.wiki/es/Myron_W._Krueger)

En 1975, con la llegada del "Videoplase", se identifica el tipo de interacción necesaria entre la imagen propia de cada usuario y los objetos de determinada escena. Es así que fue posible coordinar el movimiento del usuario con los objetos al utilizar la cabeza y extremidades para tal fin.

---

<sup>8</sup> <https://proyectoidis.org/myron-krueger/>

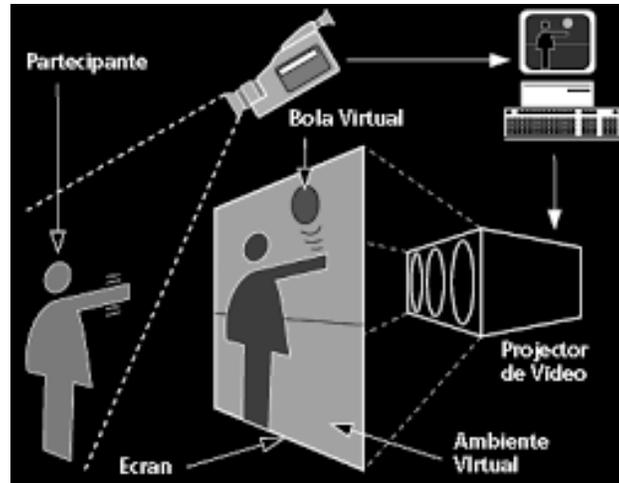


Figura 1.7 Video Place de Myron Krueger

Fuente: <https://proyectoidis.org/videoplace/>

En la figura 1.7, “Video Place de Myron Krueger” se puede observar como la cámara capta la imagen del usuario, una computadora procesa la imagen y la incorpora en un entorno digital, el resultado se proyecta sobre una pantalla, el usuario reacciona y vuelve a ser capturado por la cámara, cerrando así el ciclo.

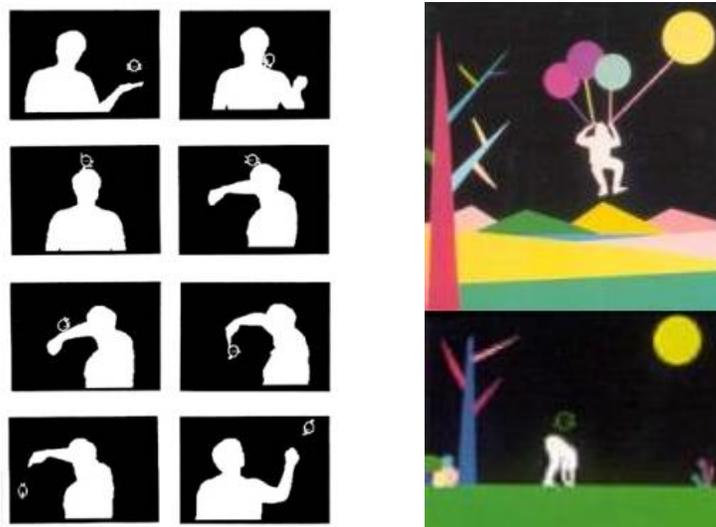


Figura 1.8 Experiencias realizadas en Video Place

Fuente: <http://class.danomatika.com/2017/spring/creative/history>

El “Videoplace” utiliza imágenes de computadora en dos dimensiones, sin embargo, los usuarios que conocen acerca del tema están de acuerdo en calificarlo como un sistema de RV. Ver Figura 1.8.

## 1.9 El Data Glove

En la Universidad de Illinois, Chicago, en 1977 se desarrolla el “Data Glove<sup>9</sup>” que utiliza los primeros sensores de seguimiento.

Cuando en 1985, NASA-Ames perfecciona un sistema que se puede considerar como la primera realidad sintetizada que, utilizando productos comerciales, permite interacción con múltiples estímulos.

Entre sus características (ver Figura 1.9), disponía de:

- Un casco,
- Un sistema de sonido tipo “*Convolvotron*<sup>10</sup>” creado por *Crystal River Engineering*
- Sensores magnéticos de posición y orientación tipo *Polhemus*<sup>11</sup> y el seguimiento de la mano con guantes VPL *DataGlove*.
- Un sistema de visualización de gráficos vectoriales de *Evans & Sutherland*,
- Un equipo DEC PDP-11/40

Mediante este primer sistema de realidad sintetizada, se crean escenas interactivas y estereoscópicas utilizando datos de tráfico aéreo comercial en vuelo, en 3D.

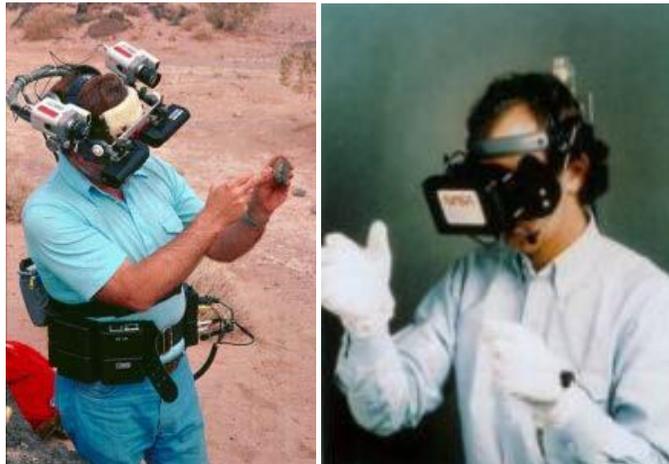


Figura 1.9 El View de Nasa-Ames

Fuente: <http://warrenrobinett.com/nasa/index.html>

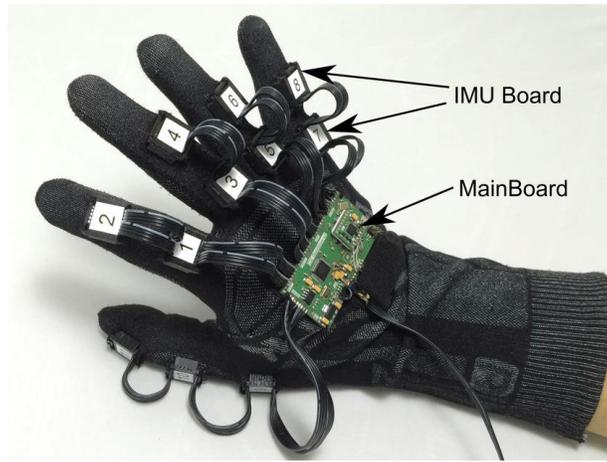
---

<sup>9</sup> <http://warrenrobinett.com/nasa/index.html>

<sup>10</sup> <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.404833>

<sup>11</sup> <https://polhemus.com/>

En la Figura 1.10, se puede observar el *DataGlove*, que cuenta con una entrada de datos (el guante) y un sistema de localización electromagnético, para que la computadora pudiera seguir la orientación y posición de la mano del usuario.



**Figura 1.10 Dataglove de VPL Research Inc.**

Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-19-Primera-version-de-VPL-DataGlove\\_fig44\\_287995531](https://www.researchgate.net/figure/Figura-19-Primera-version-de-VPL-DataGlove_fig44_287995531)

En el *DataGlove*, los sensores de fibra óptica permiten que la computadora mida las flexiones de los dedos. Tiene algunas limitaciones, como la falta de retroalimentación háptica<sup>12</sup>, la dificultad para adaptarse a diferentes tamaños de mano y el costo (miles de dólares).

En 1992, Carolina Cruz-Nira, de la Universidad de Illinois en Chicago, presentó CAVE<sup>13</sup> (*Automatic Virtual Environment in the Cave*) como una sala gráfica proyectada detrás de paredes y pisos.

## 1.10 Lenguaje de modelado virtual

En 1995, la realidad virtual se abrió al Internet con VRML 1.0 (Lenguaje de modelado de realidad virtual), desarrollado por Marc Pesci y Tony Parisi<sup>14</sup> (científicos informáticos de *Silicon Graphics*<sup>15</sup>). Este lenguaje permite incrustar modelos 3D en WWW de modo que sea posible verlos y analizarlos desde todos los

<sup>12</sup> La háptica estudia todo aquello asociado a la apreciación del contacto y sus efectos. <https://definicion.de/haptica/>

<sup>13</sup> <https://www.evl.uic.edu/pubs/1280>

<sup>14</sup> <http://www.dit.upm.es/~santiago/externos/docencia/doctorado/drci/trabajos00-01/ccastellanos/introduccion.htm>

<sup>15</sup> Silicon Graphics, Inc., fue un fabricante estadounidense de hardware y software de computadoras, que comenzó como fabricante de terminales gráficas en 1982.

ángulos posibles. En 1996, VRML 2.0 combinó interacción, manipulación y comportamientos diversos hacia los modelos 3D.

## 1.11 Second Life

En 2003, se crea un mundo virtual 3D para Internet, llamado Second Life<sup>16</sup>, desarrollado por Linden Lab, en donde un usuario o residente puede navegar por el mundo virtual a través de un programa de computadora, interactuar con otros participantes y cambiar su entorno y participar en distintas actividades, incluso económicas.

## 1.12 Wii Controller

En 2006, Nintendo lanzó el Nintendo Wii Controller que incluía el uso de un controlador inalámbrico que reconocía el movimiento en 3 dimensiones, gracias a una combinación de un acelerómetro y un detector de infrarrojos, Figura 1.11.



Figura 1.11 Consola Wii

Fuente: <https://www.nintendo.com/es-mx/>

---

<sup>16</sup> <https://secondlife.com/>

## 1.13 Google Street View

En 2007 se lanzó Google Street View, una función de Google Maps y Google Earth que proporciona imágenes panorámicas de las calles (movimiento horizontal de 360° y movimiento vertical de 290°), lo que permite a los usuarios ver secciones de la calle, la ciudad seleccionada y las áreas urbanas circundantes<sup>17</sup>, ver Figura 1.12.

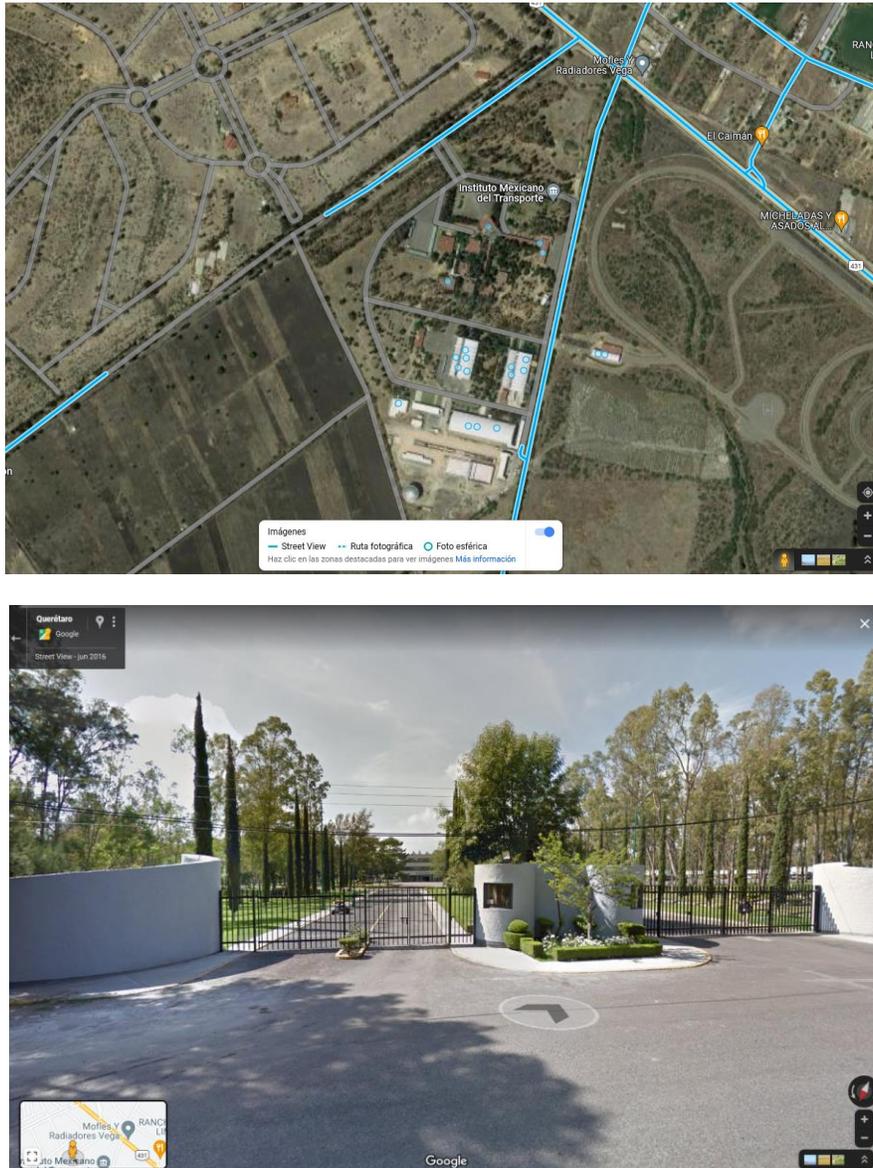


Figura 1.12 Google Maps y vista panorámica del IMT

Fuente: <https://www.google.com/maps>

<sup>17</sup> [https://es.wikipedia.org/wiki/Google\\_Street\\_View](https://es.wikipedia.org/wiki/Google_Street_View)

## 1.14 Kinect y otros dispositivos

En 2010 Microsoft lanzó Kinect para Xbox 360, consola de juegos y entretenimiento. Esta consola de videojuegos permite a los usuarios controlar e interactuar sin una conexión física y permite la captura de movimiento, el reconocimiento facial y el reconocimiento de voz para interactuar con los videojuegos.

En 2011, se introdujo en el mercado el sistema Nintendo 3DS, que incluía 6 tarjetas de realidad aumentada para interactuar y jugar con pequeños juegos.

En 2012, Microsoft presentó Kinect para Windows, que, junto con el kit de desarrollo de software (SDK) para Windows, permite conectar hasta cuatro sensores Kinect a la misma computadora, mejorando el seguimiento del esqueleto, figura o estructura humana, incluyendo ángulos y sonidos.

En 2014, Google inicia el proyecto Tango, cuyo objetivo era “crear una herramienta portátil de visión artificial que permitiera mapear espacios 3D”, debido a la gran necesidad de recursos de computo, a las pocas aplicaciones existentes y al costo, fue cerrado en 2017. Figura 1.13.



**Figura 1.13 Tableta del proyecto Tango (Google)**

Fuente: <https://unividaup.edu.co/bienestar/google-anuncia-la-llegada-de-kits-del-proyecto-tango-a-12-nuevos-paises/>

## 1.15 Pokemon Go

En 2016, Niantic<sup>18</sup> lanza Pokemon Go, un juego de realidad aumentada que utiliza la ubicación del dispositivo y a partir de eso le ofrece al usuario personajes de la serie Pokemon para que sean capturados, es necesario que el jugador se desplace por distintos lugares de la ciudad, apoyado por un mapa (ver Figura 1.14) en donde se muestran los personajes que debe atrapar. Es importante mencionarlo, ya que es el primer juego masivo que integra mapas, ubicación, ejercicio para el usuario, recompensas y tendencias actuales en videojuegos.



Figura 1.14 Mapa de Pokemon Go

Fuente: <https://www.geekno.com/donde-se-encuentran-los-pokemon-de-cada-tipo.html>

En 2017, Elon Musk, dueño y fundador de diversas empresas como Tesla<sup>19</sup> y SpaceX<sup>20</sup>, da a conocer su proyecto Neuralink<sup>21</sup>, el cual busca conectar el cerebro humano con equipos de cómputo a través de una interfaz cerebro-computadora, utilizando implantes quirúrgicos de cables dentro del cerebro de una persona y que se conectaran con una unidad de proceso externa.

---

<sup>18</sup> <https://nianticlabs.com/es/>

<sup>19</sup> [https://www.tesla.com/es\\_mx](https://www.tesla.com/es_mx)

<sup>20</sup> <https://www.spacex.com/>

<sup>21</sup> <https://neuralink.com/>

## 1.16 Google Lens

En 2017, se libera la función Google Lens<sup>22</sup>, la cual permite interactuar con diversas fuentes de datos y da la posibilidad de buscar información, ubicaciones, traducir texto, etc. Esto lo logra al buscar el grado de similitud y relevancia de una imagen obtenida mediante la cámara o con un archivo existente. Figura 1.15.

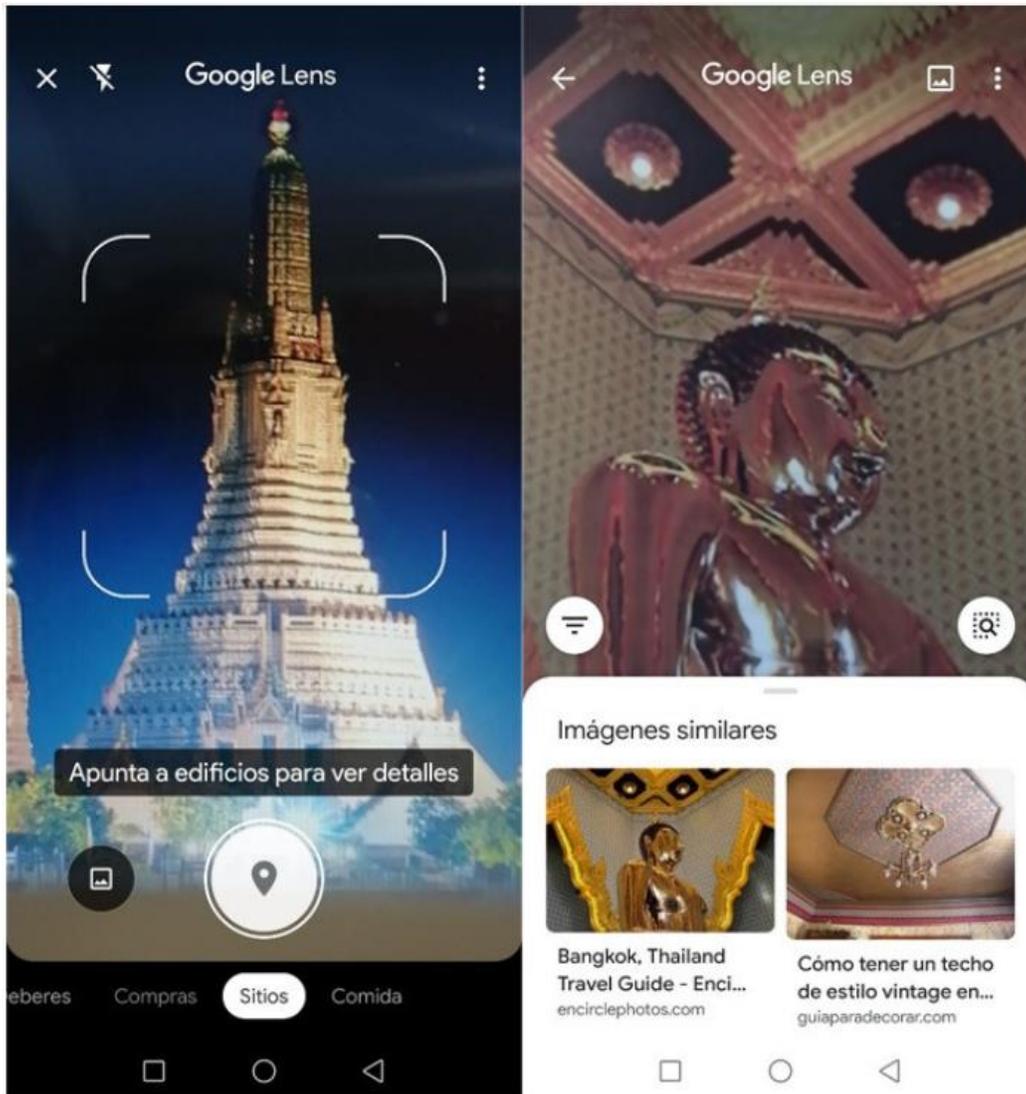


Figura 1.15 Reconocimiento de lugares utilizando Google Lens

Fuente: <https://www.xatakandroid.com/tutoriales/google-lens-a-fondo-todo-que-puedes-hacer-app-reconocimiento-objetos-google>

<sup>22</sup> <https://lens.google/intl/es-419/howlensworks/>

Esta aplicación o extensión de Google Maps permite visualizar detalles, direcciones, datos de ubicaciones en la pantalla de un teléfono inteligente o tablet, utilizando la posición actual del dispositivo y lo muestra de la misma manera en que se visualiza Google Street View, Figura 1.16. Requiere que el dispositivo sea compatible con ARCore<sup>23</sup>

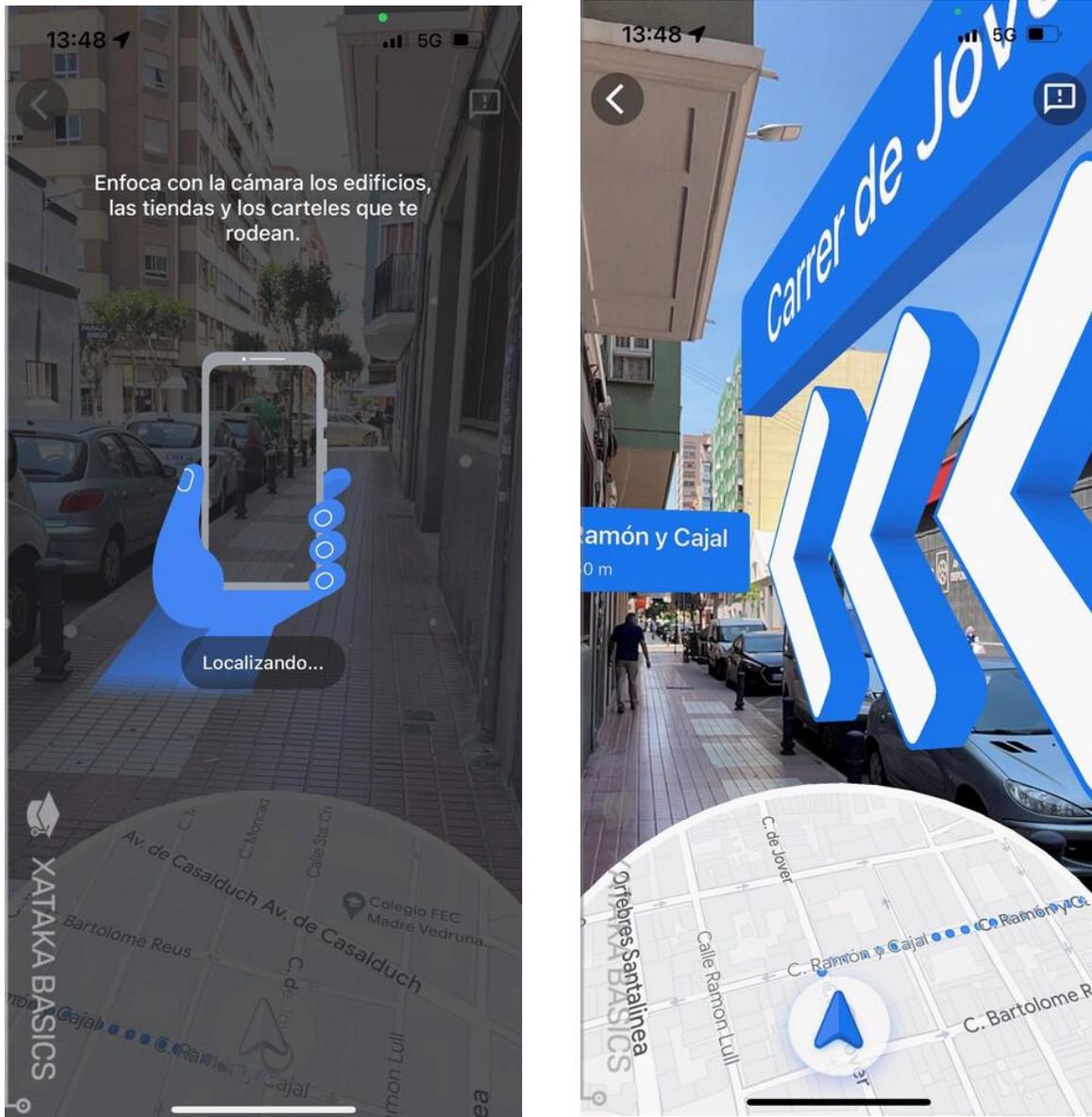


Figura 1.16 Utilización de Google Live View

Fuente: <https://www.xataka.com/basics/como-usar-navegacion-realidad-aumentada-google-maps-usando-live-view>

<sup>23</sup> <https://arvr.google.com/arcore/>

## 1.17 Códigos QR

Los Códigos QR (*QR Code* o *Quick Responsive*, en inglés) son imágenes codificadas que permiten almacenar información de distinta índole y que, al ser leídas mediante un dispositivo con las capacidades suficientes y necesarias para tal fin, proporcionan al usuario información digital, por ejemplo: textos, URLs, coordenadas, claves de acceso a redes WiFi, ligas a páginas Web, ligas a encuestas preconstruídas, correos electrónicos, fechas de calendarios, accesos a videoconferencias, etc<sup>24</sup>. Y también se puede utilizar como activador o marcador para mostrar aplicaciones de realidad aumentada. Se construyen a partir de matrices de puntos o códigos de barras tradicionales. Figura 1.17.



Figura 1.17 Ejemplo de *QR Code*

Fuente: <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles/qr-code>

---

<sup>24</sup> <https://webcente.blogspot.com/2020/02/codigos-qr-para-la-realidad-aumentada.html>

## 2. Realidad Aumentada, concepto y características

---

Para iniciar es necesario conocer algunas definiciones de la realidad aumentada, para ello se han identificado las principales ideas acerca del tema.

### 2.1 Diferencia entre realidad aumentada y realidad virtual

Es muy importante reconocer la diferencia entre Realidad Aumentada y Realidad Virtual, la primera básicamente se refiere a que se superponen o agregan elementos virtuales de distintos tipos sobre el mundo real, esto a través de la utilización de algunos dispositivos necesarios para ello como son los teléfonos inteligentes, tabletas, computadoras portátiles y de escritorio.

Por otro lado, la Realidad Virtual crea o recrea completamente una realidad alterna completamente digital y utiliza o se apoya en diversos dispositivos que permiten que el usuario de la RV interactúe, entre ellos se identifican, por ejemplo, gafas y pantallas 3D, audífonos o sistemas de sonido, guantes táctiles, exoesqueletos, cabinas inmersivas, etc.

### 2.2 Definición

Existen diversas definiciones de la realidad aumentada, y estas dependen de la finalidad y forma de realizarla, entre ellas:

*“La Realidad Aumentada (RA) asigna la interacción entre ambientes virtuales y el mundo físico, posibilitando que ambos se entremezclen a través de un dispositivo tecnológico como webcams, teléfonos móviles (IOS o Android), tabletas, entre otros.”* Esto de acuerdo al blog RockContent<sup>25</sup>, ahí mismo mencionan que la Realidad Aumentada permite unir el mundo real con el mundo virtual y que es posible realizarlo en tiempo real y que se puede interactuar con “las capacidades físicas del entorno (3D)”.

---

<sup>25</sup> <https://rockcontent.com/es/blog/realidad-aumentada/>

Otra definición es aquella en donde se menciona que la realidad aumentada se refiere a la inclusión o integración, en tiempo real, de elementos virtuales sobre el universo físico existente. De este modo, se presenta un incremento en la información que normalmente observaría un ser humano<sup>26</sup> y que le permitiría tomar una decisión o conocer más a fondo sobre un tema determinado. Ver Figura 2.18.



**Figura 2.18** Dispositivo en donde se muestra información adicional

Fuente: <https://definicion.de/realidad-aumentada/>

También se considera a la realidad aumentada<sup>27</sup> en donde es posible “añadir capas de información visual sobre el mundo real que nos rodea, utilizando la tecnología, dispositivos como pueden ser nuestros propios teléfonos móviles. Esto nos ayuda a generar experiencias que aportan un conocimiento relevante sobre nuestro entorno, y además recibimos esa información en tiempo real.”

Según Neosentec las características principales de la realidad aumentada son:

- Permite la combinación entre el mundo real y mundo virtual
- Es dependiente del contexto del momento
- Es interactiva en tiempo real
- Utiliza las tres dimensiones (ejes x, y, z)

---

<sup>26</sup> <https://definicion.de/realidad-aumentada/>

<sup>27</sup> <https://www.neosentec.com/realidad-aumentada/>

## 2.3 Clasificación a partir del objetivo

Se clasifica la realidad aumentada en varios tipos, dependiendo del objetivo y los componentes que se utilizan:

- **Imágenes**  
En este modo es posible agregar cualquier imagen y ligarla al contenido definido, en un principio se usaban imágenes o marcadores predefinidos, como los códigos QR, ahora es posible utilizar logotipos, mapas, tarjetas de presentación.
- **Espacios**  
Con esta técnica se puede identificar o reconocer espacios, oficinas, almacenes, memorizar los componentes y agregar información relacionada con cada uno de estos.
- **Lugares**  
Cada lugar sobre el planeta cuenta con un par de coordenadas geográficas únicas e irrepetibles, por lo que es posible mostrar contenido a partir de la ubicación donde se encuentre el dispositivo en determinado momento.

## 2.4 Diseño de la interfaz de usuario

La realidad aumentada es, a final de cuentas, una interfaz computacional en donde se aplican los mismos principios de diseño y programación utilizados para la creación de software, aunque en este caso, también se agrega la interacción con hardware especializado que debe interactuar con las instrucciones que el usuario solicita a través de la interfaz.

La interfaz es el punto de contacto en donde se normalizan<sup>28</sup> los datos y se intercambia información entre el usuario y el dispositivo que mediante algún proceso o algoritmo convierte esos datos en información útil.

---

<sup>28</sup> Técnica que se aplica a un conjunto de datos para reducir su redundancia. El objetivo principal es asociar formas similares a los mismos datos en una única forma de datos. <https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=495473&p=4398013>

De acuerdo a la ingeniería de software<sup>29</sup>, para el diseño de una interfaz se requiere:

- Identificar requerimientos de usuario final
- Creación de escenarios y
- Definición de objetos y acciones de la interfaz

Theo Mandel postula “tres reglas de oro”<sup>30</sup>, para la construcción de una buena interfaz y a su vez indica una serie de pasos lógicos para cumplir su objetivo, algunos de ellos son:

1. Que el usuario tenga el control
  - a. Permitir a los usuarios utilizar el teclado y el *mouse*
  - b. Mostrar mensajes y textos descriptivos
  - c. Permitir que las acciones sean reversibles e inmediatas
  - d. Proporcionarles salidas y caminos que signifiquen algo
  
2. Disminuir la carga de memoria
  - a. Aliviar la memoria de corto plazo
  - b. Confiar en el reconocimiento
  - c. Dar pistas visuales
  - d. Dar opción por defecto
  - e. Utilizar claridad visual
  
3. Que la interfaz sea consistente
  - a. Conservar el contexto durante el proceso
  - b. Continuar con la consistencia entre productos y distintas versiones
  - c. Guardar los resultados

---

<sup>29</sup> [https://virtual.itca.edu.sv/Mediadores/stis/35\\_diseo\\_de\\_la\\_interfaz\\_de\\_usuario.html](https://virtual.itca.edu.sv/Mediadores/stis/35_diseo_de_la_interfaz_de_usuario.html)

<sup>30</sup> <http://digital.cftsa.cl/elibros/Ingenieriadel%20software%20un%20enfoque%20practico/287/>

Es importante aplicar la mayoría de estos principios para lograr diseñar e implementar una interfaz robusta y que responda a las necesidades del usuario.

## **2.5 Tipos de interfaces**

Ya que las interfaces se utilizan para muchos fines, en distintos dispositivos y utilizando diversas técnicas para lograr el objetivo para el que fueron diseñadas, pueden ser de varios tipos, por ejemplo:

### **2.5.1 Interfaz física**

Es cuando se realiza una conexión física entre componentes o dispositivos, pueden ser de entrada o salida y se componen de señales eléctricas y electrónicas, ejemplos de este tipo de interfaz es el teclado, ratón o mouse, pantalla o impresoras.

### **2.5.2 Interfaz lógica**

Es cuando se establece la comunicación o interacción entre dos o más programas (software), intercambian datos, los procesan, generan una respuesta y la envían a alguno de los dispositivos de salida que integran la interfaz física.

### **2.5.3 Interfaz de usuario**

Esta interfaz es la que provee las interacciones que suceden entre la máquina o dispositivo y el usuario, si está bien diseñada la comunicación será rápida y fácil, de lo contrario, la experiencia podría ser decepcionante, lenta, costosa y sin resultados satisfactorios.

De acuerdo el modo en que el usuario interactúa con ellas se clasifican en:

- Interfaz de líneas de comandos: Reciben datos a través de una línea en donde es posible teclear distintos tipos de caracteres numéricos, alfabéticos, especiales, signos, puntuación, etc., un ejemplo de esta interfaz es el sistema operativo MS-DOS. Figura 2.19.



Figura 2.19 Ventana de línea de comandos MS-DOS

Fuente: Elaboración propia a partir de ventana de MS-DOS capturada en computadora propia

- Interfaz natural: Reciben datos a través de algún modo de comunicación directa del ser humano, como puede ser hablar (por ejemplo, cuando se le dan indicaciones de voz a un teléfono inteligente, cuando se habla por un micrófono y un algoritmo convierte eso en un texto) o utilizar el tacto (desbloquear un dispositivo utilizando la huella digital, navegar utilizando los dedos de la mano en la pantalla de una tableta).
- Interfaz gráfica: se considera el medio más común a través del cual un usuario establece comunicación con sistema, programa o software computacional, es posible observar imágenes, textos, animaciones, videos, información del sistema y actualmente es la plataforma principal

de trabajo de distintos sistemas operativos como Windows Microsoft<sup>31</sup>, Linux<sup>32</sup>, iOS<sup>33</sup>, Android<sup>34</sup>, etc. Entre los objetos que integran la interfaz gráfica se cuentan los botones, ventanas, barras de desplazamiento, menús desplegables, íconos. Figura 2.20 y 2.21.

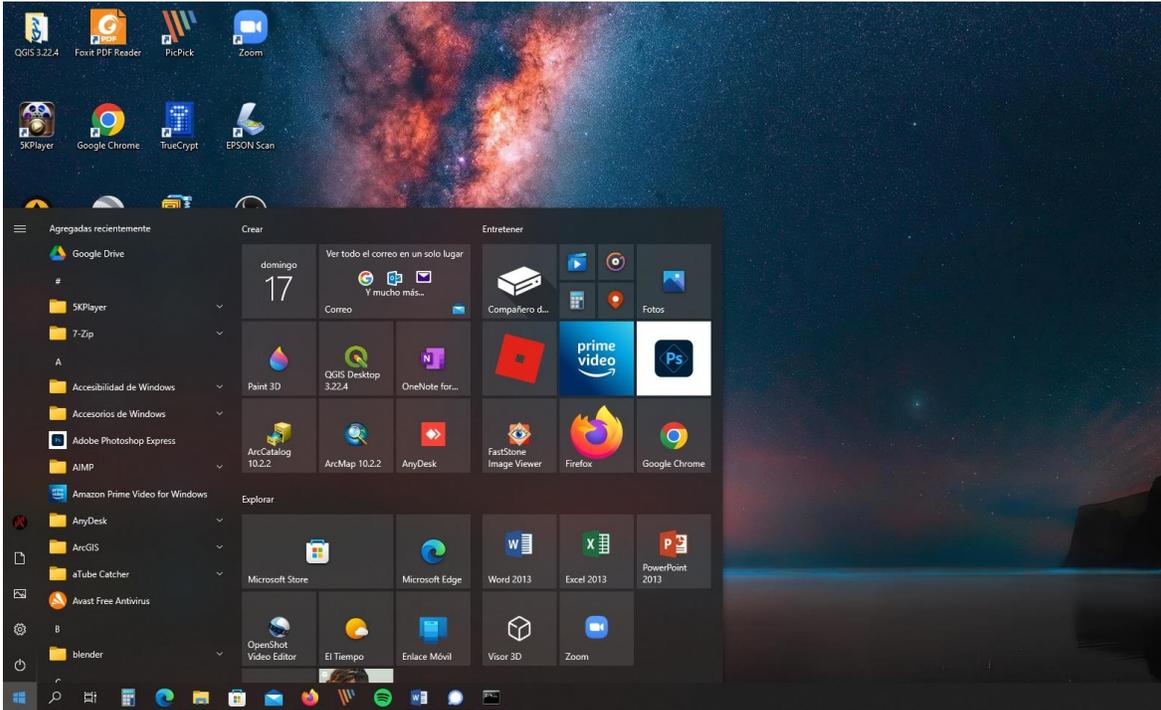


Figura 2.20 Interfaz gráfica de Windows 11

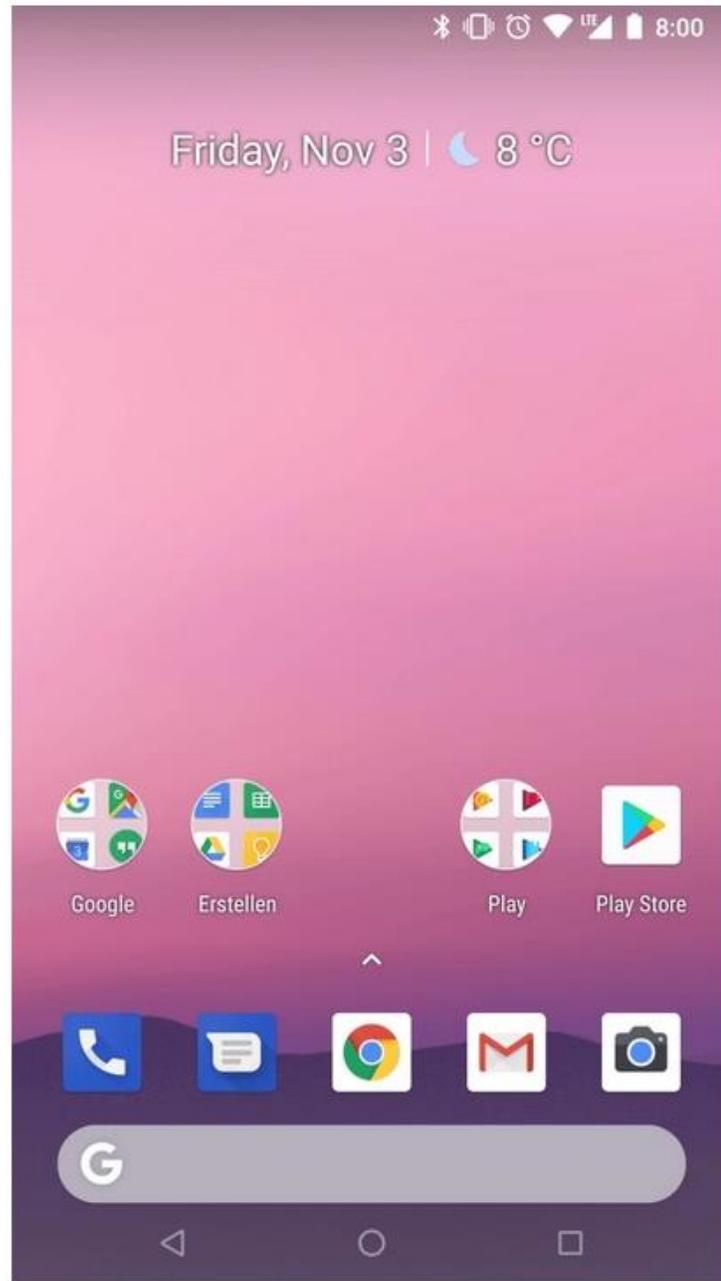
Fuente: Elaboración propia a partir de ventana capturada en computadora propia

31 <https://news.microsoft.com/es-es/2015/04/06/historia-microsoft-40-aniversario/>

32 <https://www.linux.org/>

33 <https://www.apple.com/mx/ios/ios-15/>

34 [https://www.android.com/intl/es-419\\_mx/](https://www.android.com/intl/es-419_mx/)



**Figura 2.21** Interfaz gráfica de Android 7.0 Nougat

Fuente: <https://www.nts-solutions.com/blog/versiones-android.html>

### Características de la interfaz gráfica<sup>35</sup>

- ✓ Debe ser simple
- ✓ Debe ser clara
- ✓ Se deben revisar a profundidad los errores en las acciones
- ✓ La representación debe ser constante
- ✓ El objeto principal debe ser fácil de identificar
- ✓ Aplicar diseño ergonómico con menús, barras e íconos
- ✓ Crear herramientas de consulta y ayuda
- ✓ Se debe generar la opción de reversibilidad a las acciones
- ✓ Debe ser rápida

### 2.5.4 La interfaz gráfica y sus modelos de construcción

Los modelos de construcción o estándares permiten que todas las experiencias del usuario sean las mismas o muy similares sin importar lugar, hora y fecha en que diversos usuarios hagan uso de un sistema operativo, aplicación, software o programa computacional. Estas técnicas de visualización y despliegue de gráficos, incluyen:

- ✓ Disposición o acomodo de elementos
- ✓ Colores y texturas
- ✓ Imágenes
- ✓ Organización
- ✓ Tipografía
- ✓ Animación

## 2.6 Simulación

De acuerdo con Trujillo, L.; Ramírez, P, 2014<sup>36</sup> <sup>37</sup>, *“la simulación es el uso de un modelo matemático para estudiar el comportamiento de un sistema”* y aunque esta definición está completamente enfocada a la aplicación matemática de un modelo (puede ser una red de distribución o de transporte o una red de autopistas con control de tráfico), también corresponde a su uso en la simulación por computadora, ya que utiliza un algoritmo que es *“el conjunto ordenado de operaciones sistemáticas que permiten hacen un cálculo y hallar la solución a un problema*

---

<sup>35</sup> <https://www.crehana.com/blog/disenio-productos/estandares-diseno-interfaces-graficas/>

<sup>36</sup> <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6441091>

<sup>37</sup> <http://www.ugr.es/~aepc/XFORO/FECIES2013.pdf>

determinado”<sup>38</sup>. La simulación trata de imitar en el sentido más completo posible, el funcionamiento de un sistema de la vida real de modo que pueda ser estudiado con detalle y se pueda predecir su comportamiento<sup>39</sup>.

## 2.6.1 Simulación por computadora

Las simulaciones por computadora intentan responder a las preguntas<sup>40</sup>:

- ¿Es posible que determinado diseño funcione?
- ¿Qué pasa si...?
- ¿Se puede estudiar?
- ¿Qué criterios se pueden cambiar en el sistema actual para lograr los objetivos planteados?
- ¿Y si modificamos algo del modelo, cómo se comportará?
- ¿Cómo se verá el objeto, estructura o modelo al finalizar la construcción?

De acuerdo a McHaney, R. 1991<sup>41</sup>, la simulación por computadora ofrece alguna de las siguientes ventajas:

- Se puede utilizar cuando no es posible experimentar el sistema real en su entorno natural, ya sea por razones de seguridad, tamaño, tiempo, etc.
- La simulación es uno de los medios que permite investigar las características de diseño de un sistema en particular, es decir, su división y análisis por partes.
- Puede utilizarse cuando sea necesario para simular un período de tiempo muy largo de forma compacta o viceversa<sup>42</sup>.

En la actualidad las simulaciones se aplican en:

- Predicción del tiempo
- Representación de situaciones económicas mediante modelos matemáticos
- Simulación de proyectos de inversión

---

<sup>38</sup> <https://profile.es/blog/que-es-un-algoritmo-informatico/>

<sup>39</sup> <https://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/simulacio.html>

<sup>40</sup> <https://xdoc.mx/preview/simulacion-por-computadora-5e28aeed13d9>

<sup>41</sup> <https://www.iberlibro.com/9780124841406/Computer-Simulation-Practical-Perspective-McHaney-0124841406/plp>

<sup>42</sup> <https://1library.co/article/simulaci%C3%B3n-de-sistemas-asistida-por-computador.y4j52jky>

- Simuladores de vuelo
- Simuladores de tráfico aéreo, terrestre y naval
- Simulación de sistemas de distribución
- Simulación en sistemas de redes de transporte

## 2.7 Características de la realidad aumentada

Un sistema de realidad aumentada debe responder a un "mundo" que contiene "objetos" y opera a partir de reglas que varían en flexibilidad, que se expresan en lenguaje gráfico tridimensional y cuyo comportamiento es dinámico y operan en tiempo real, su operación está fundamentada para permitir la incorporación del usuario hacia el "interior" del medio ambiente digital y debe tener la capacidad de reaccionar ante el usuario, ofreciéndole una experiencia que sea inmersiva, interactiva y generada en tiempo real (Mejía Luna, J., 2012).

Entre algunas de las características de la realidad aumentada se encuentran la posibilidad de combinar elementos del "mundo real" como una carretera, un puente, una caseta de cobro, un vehículo, con elementos u objetos virtuales, por ejemplo, la vista de las obras de drenaje o hidráulicas de la carretera mencionada, los datos del mantenimiento en una tabla dinámica del puente, los costos de peaje de la caseta, los datos técnicos de rendimiento del vehículo en cuestión. Todo esto en tiempo real y en 3D cuando sea posible.

## 2.8 Activador de realidad aumentada

Para que la realidad aumentada funcione se requiere un elemento al que podríamos denominar «activador de realidad aumentada». En el mundo real el activador sería la imagen que están visualizando los usuarios, ya que a partir de ella el sistema debería reaccionar y generar un resultado en tiempo real, es un proceso complejo que se apoya con otros elementos de localización como los GPS que en la actualidad van integrados en gran parte de los *smartphone*, así como las brújulas y acelerómetros y giróscopos que permiten identificar la posición y orientación de dichos dispositivos, las etiquetas y marcadores del tipo RFID o códigos bidimensionales del tipo QR, o en general cualquier otro elemento que sea capaz de suministrar una información equivalente a la que proporcionaría lo que ve el usuario. Este seguimiento o "tracking" se puede generar utilizando seguimiento de imágenes que se usan como marcadores o reconocimiento de características naturales de una imagen como pueden ser rótulos o mobiliario. También es posible utilizar diversos tipos de sensores, como son el WiFi, Bluetooth, infrarrojos.

Actualmente, existen varios tipos de marcadores: códigos de barras, QR (*Quick Response Barcode*), imágenes predefinidas, marcadores geoespaciales. Los marcadores se caracterizan por ser fáciles de reconocer basándose en el alto contraste de los elementos que los componen. Una de las características más destacables que presentan es que su reconocimiento permite calcular la distancia y

el ángulo a los mismos del dispositivo desde el que se está capturando la imagen. El seguimiento basado en marcadores es muy útil dado que son muy fáciles de reconocer por cualquier dispositivo con cámara y no requieren una gran capacidad de proceso. (Mejía Luna, J., 2012). Figura 2.22.

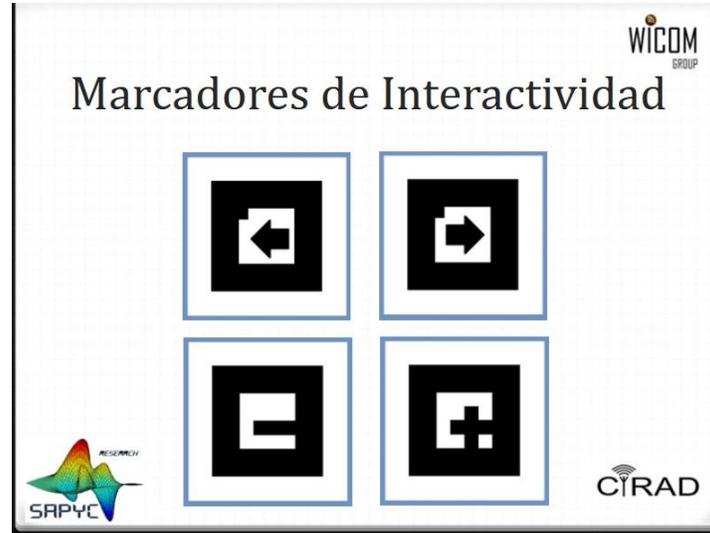


Figura 2.22 Ejemplo de marcadores de interactividad de RA

Fuente: Desarrollo de una aplicación de realidad aumentada, para educación y tele-educación, Javier Rivadeneira, 2014 <https://slideplayer.es/slide/1647101/>

## 2.9 Problemas de la realidad aumentada

De acuerdo a Mejía Luna, J., 2012, es posible que algunos de los siguientes problemas se encuentren en alguna aplicación, tanto de RA / RV.

### Representación o calidad en la imagen

Para generar una visualización de una escena virtual se debe descomponer la imagen en múltiples polígonos, los cuales son las figuras básicas que componen los gráficos por computadora. Los polígonos consisten en cuadrículas que se utilizan para representar objetos y escenarios. Cuantos más polígonos haya en la representación de un objeto o escenario, más precisa será la imagen que observemos. En este sentido, conforme se divide la imagen en una mayor cantidad de polígonos, mayor deberá ser la velocidad de procesamiento requerida para mostrar la imagen en tiempo real.

### Retroalimentación háptica

Aunque no se ocupa mucho en la realidad aumentada, también se debe considerar la retroalimentación háptica, también llamada "retroalimentación de fuerza", que es un efecto que intenta responder como si fuera la realidad, esto es, responder a una

solicitud del usuario con una reacción en sentido contrario, como cuando se empuja, sostienen o golpean objetos reales.

#### Retardo o latencia en tiempo de respuesta

Los problemas de latencia o demoras en el tiempo de respuesta se refieren a una actualización visual a medida que el visitante se desplaza por el entorno virtual. Idealmente, las imágenes deberían mostrarse de manera continua, sin saltos ni pérdidas de imagen. Hay dos factores en común para lograr esto: la latencia y la frecuencia de actualización de fotogramas. La latencia es una medida del tiempo entre "el momento en que una persona se mueve y el momento en que una computadora registra el movimiento". La latencia está relacionada con problemas de escala en el dispositivo porque estas actividades requieren una sincronización perfecta entre los movimientos del usuario y los movimientos temporales generados por la computadora o el dispositivo utilizado.

La frecuencia de actualización es "la cantidad de fotogramas que una computadora puede producir en un período de tiempo determinado", generalmente expresada en fotogramas por segundo. La velocidad de fotogramas mínima requerida para interactuar adecuadamente con el mundo virtual es de entre 15 y 20 fotogramas por segundo. Tanto los problemas de latencia como de frecuencia de actualización se centran en resolver las fallas detectadas en el lado del hardware.

#### Ángulo de visión

Es difícil determinar el campo de visión óptimo en la RA porque lo que puede ser apropiado en una situación puede no serlo en otra. Por ejemplo, si a una persona se le da una visión amplia que necesita para realizar una tarea en particular, encontrará que se le crean más problemas que beneficios. Por otro lado, si a una persona se le proporciona un campo de visión muy estrecho no funcionará.

#### Malestar por uso prolongado

Otro problema es la incomodidad por el uso prolongado de la RA / RV. Los investigadores han descubierto que una forma de evitar los mareos y las molestias asociadas con las señales visuales es limitar el ancho del campo visual a no más de 60 grados en horizontal.

Se estima que los usuarios experimentan molestias durante el uso a largo plazo de este tipo de sistemas. Esto se debe a la falta de confirmación entre los sentidos de estas personas y las señales contradictorias recibidas por sus ojos y su sentido de la posición del cuerpo. Esta sensación incómoda se produce por los efectos de la inmersión en el mundo virtual, cuando los usuarios pierden puntos de referencia de la realidad física. Sus síntomas son similares a los que presentan los astronautas en caída libre o al mareo en un barco. Los síntomas de incomodidad y náuseas ocurren durante las experiencias de RA / RV cuando la velocidad de fotogramas por segundo es demasiada.



### 3. Arquitectura y software de realidad aumentada

---

Como ya se mencionó, el objetivo de la realidad aumentada es crear un entorno digital donde se agrega la realidad física, complementando ambas con información de entrada y salida, como imágenes, sonido, datos, etc. (Mejía Luna, J., 2012).

Para lograr esto, se requiere la utilización de software para la integración, el mantenimiento y diseño de aplicaciones de parte de los desarrolladores.

Algunos conceptos de los métodos utilizados para desarrollar aplicaciones de cómputo en general se pueden aplicar en el desarrollo de sistemas de realidad aumentada. Figura 3.23.

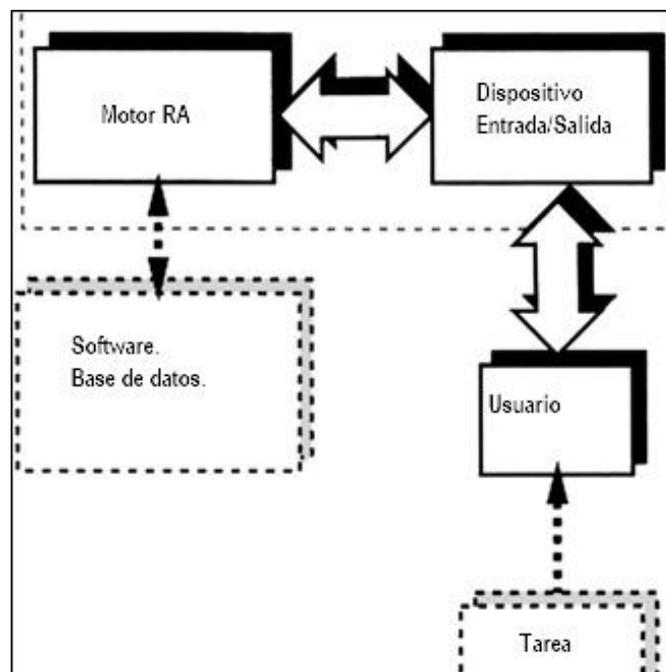


Figura 3.23 Componentes de un sistema de RA (adaptación del original)

Fuente [https://www.researchgate.net/figure/Components-of-a-VR-system-I-input-O-output-From-Burdea-G-Coiffet-P-Virtual\\_fig1\\_44622469](https://www.researchgate.net/figure/Components-of-a-VR-system-I-input-O-output-From-Burdea-G-Coiffet-P-Virtual_fig1_44622469)

En el campo de la realidad aumentada no existe un software específico que pueda hacerlo todo, por lo que es posible encontrar lenguajes de programación, software para construcción de aplicaciones, SDK, API<sup>43</sup> y aplicaciones de realidad aumentada especializadas en determinada área, también existen las que son gratuitas y las que hay por las que se debe pagar por una licencia durante un tiempo determinado.

Existen lenguajes de programación enfocados a la realidad aumentada, como ARML (*Augmented Reality Markup Language*<sup>44</sup>). Se desarrolló en el *Open Geospatial Consortium*<sup>45</sup>. Se basa en el uso del estándar XML<sup>46</sup> para describir la ubicación y apariencia de los objetos virtuales en la escena, así como enlaces ECMAScript<sup>47</sup> para permitir el acceso dinámico a las propiedades de los objetos virtuales y el manejo de eventos. El ARML se centra en la visualización, es decir, la cámara de un dispositivo con capacidad AR se utiliza como entrada principal para escenarios de realidad aumentada. Figura 3.24.

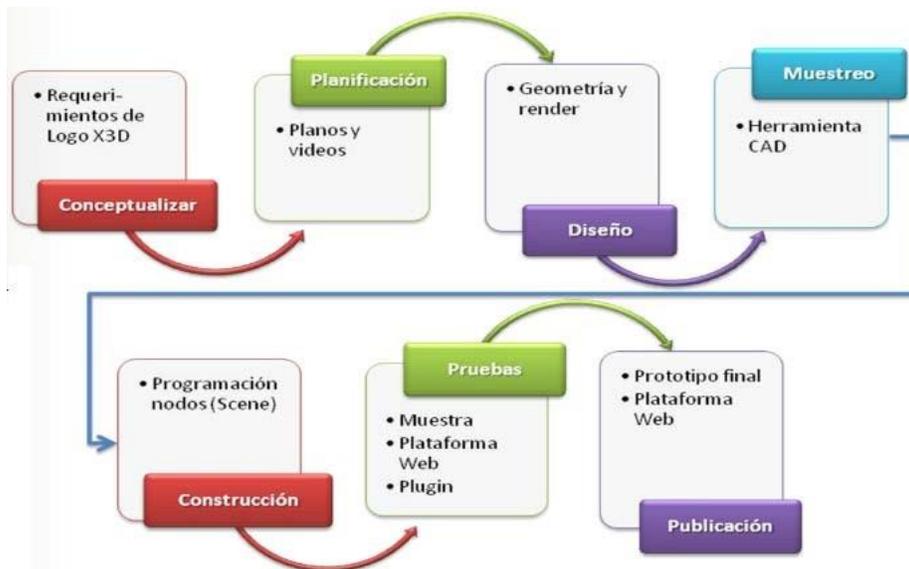


Figura 3.24. Metodología de diseño ARML

Fuente: <https://www.jose-emilio.com/estudios/m1metodologia.htm>

<sup>43</sup> Las API son mecanismos que permiten a dos componentes de software comunicarse entre sí mediante un conjunto de definiciones y protocolos. <https://aws.amazon.com/es/what-is/api/>

<sup>44</sup> <https://www.ogc.org/standards/arm/>

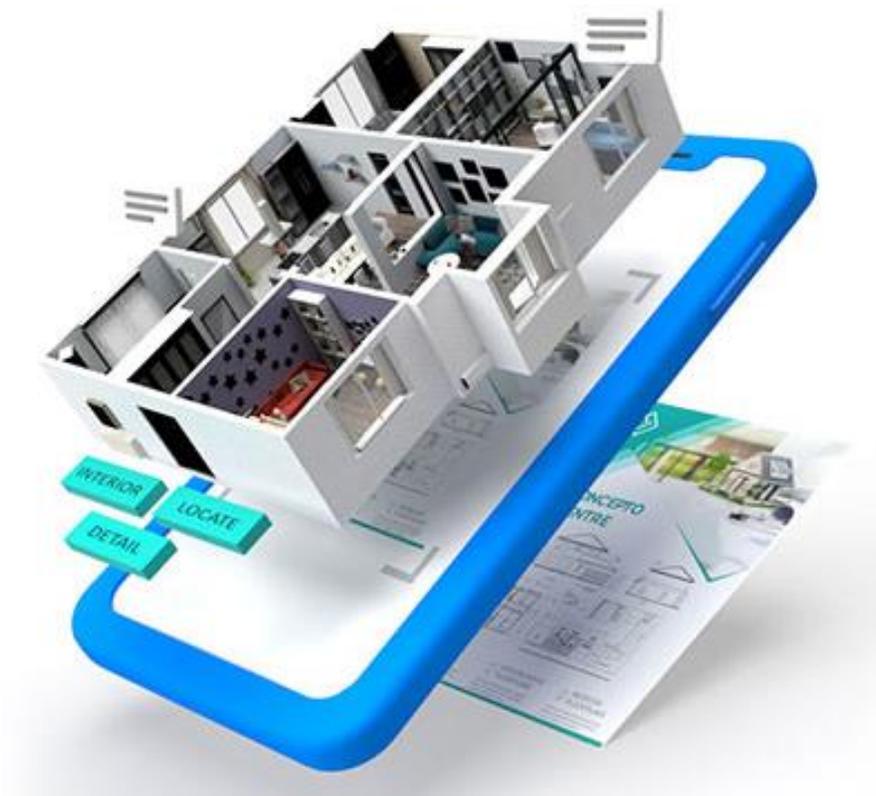
<sup>45</sup> <https://www.ogc.org/>

<sup>46</sup> <https://support.microsoft.com/es-es/office/xml-para-no-iniciados-a87d234d-4c2e-4409-9cbc-45e4eb857d44>

<sup>47</sup> <https://developer.mozilla.org/es/docs/Glossary/ECMAScript>

A continuación, se enlistan algunas plataformas que permiten la construcción de escenarios de realidad aumentada, hay diversas soluciones para problemas específicos y casos de uso de esta tecnología:

- UniteAR – Augmented Reality App<sup>48</sup>, es una plataforma de realidad aumentada que permite crear experiencias propias, se oferta como SaaS (*Software As A Service, software como un servicio*)<sup>49</sup>. Cuenta con varios productos, entre ellos (Figura 3.25):
  - AR App Creator
  - Image-Based AR
  - Ground-Plane AR
  - WebAR Scanner



**Figura 3.25** Ejemplo de utilización de UniteAR

Fuente: <https://azmistudio.com/augmented-reality-in-real-estate-solution/>

---

<sup>48</sup> <https://www.unitear.com/>

<sup>49</sup> <https://www.salesforce.com/mx/saas/>

- artoolkitX<sup>50</sup> es un kit de desarrollo (SDK)<sup>51</sup> de código abierto, contiene opciones avanzadas como el registro geométrico (alineación de la posición del ambiente virtual con el ambiente real). Es compatible con iOS, Android, MacOS, Windows, Linux. Figura 3.26.

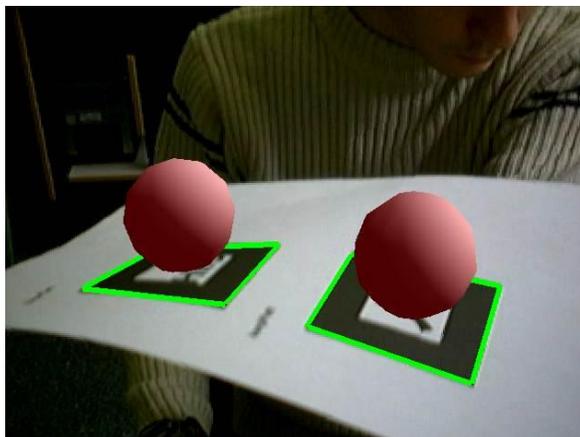


Figura 3.26. Ejemplo de utilización de ARToolKit

Fuente: [https://www.disca.upv.es/magustim/val/pfcs\\_anteriors/arToolkit/ARToolkit.html](https://www.disca.upv.es/magustim/val/pfcs_anteriors/arToolkit/ARToolkit.html)

- ARCore<sup>52</sup> es la plataforma de Google que utiliza diferentes API para que un dispositivo inteligente detecte y comprenda el entorno y a partir de eso permita al usuario interactuar con la información relacionada. Figura 3.27.

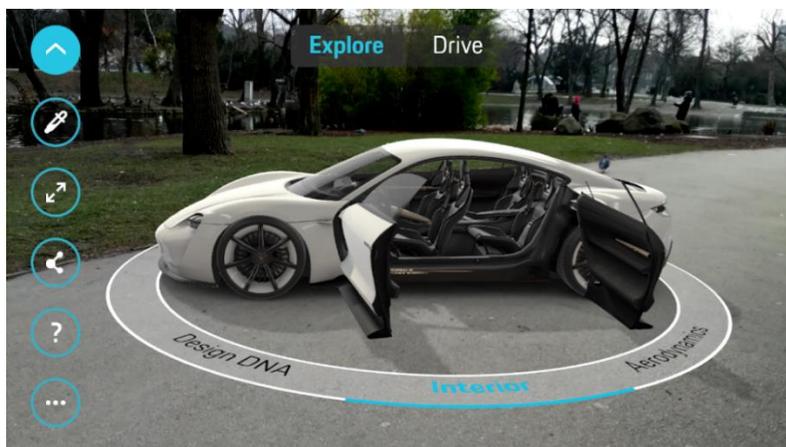


Figura 3.27. Ejemplo de utilización de ARCore

Fuente: <https://developers-latam.googleblog.com/2018/03/anunciamos-de-arcore-10-y.html>

---

<sup>50</sup> <https://www.artoolkitx.org/>

<sup>51</sup> <https://github.com/artoolkitx>

<sup>52</sup> <https://developers.google.com/ar>

- Vuforia<sup>53</sup> es un kit de desarrollo (SDK) para dispositivos móviles, se basa en tecnología de reconocimiento y rastreo de imágenes planas y objetos 3D en tiempo real. Figura 3.28.

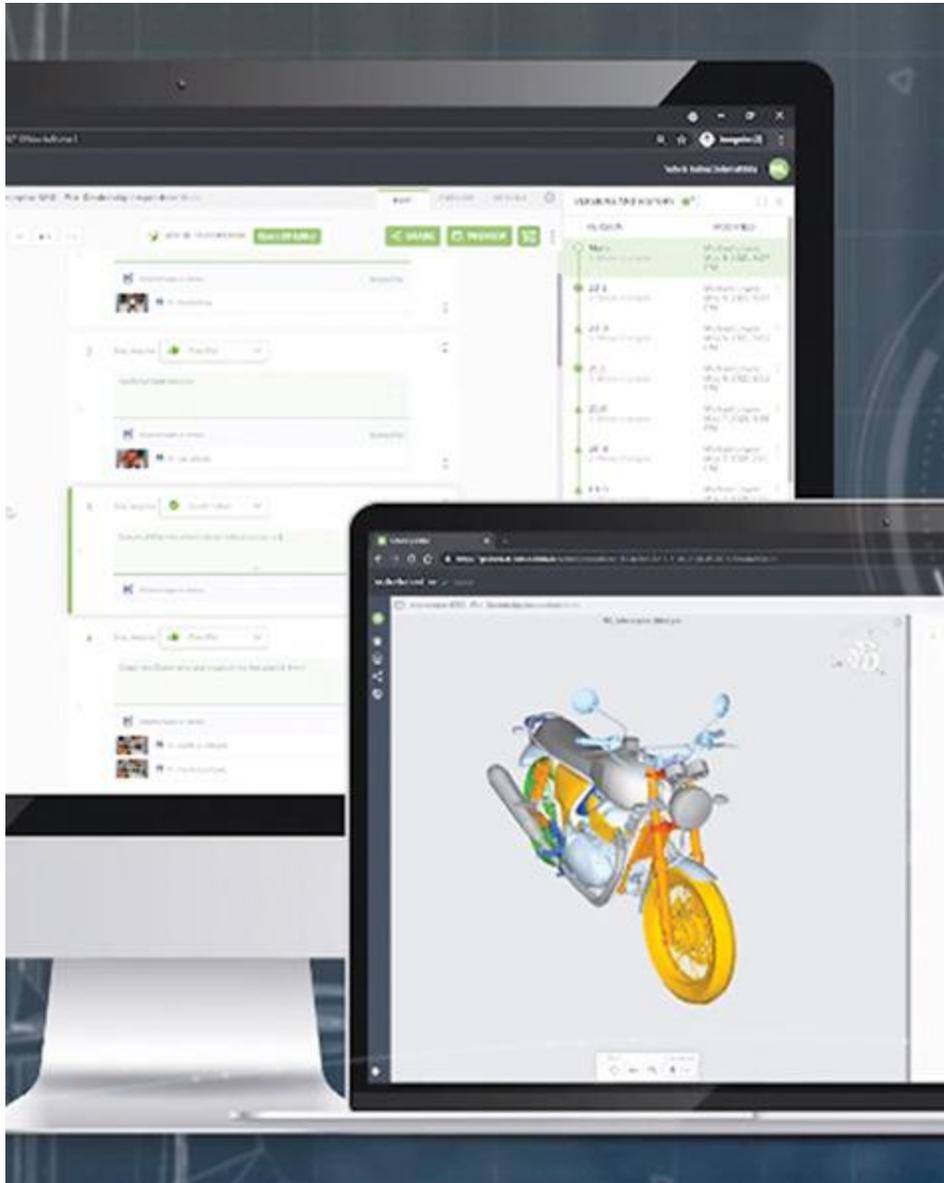


Figura 3.28 Ejemplo de utilización de Vuforia

Fuente: <https://www.ptc.com/en/products/vuforia/vuforia-instruct>

<sup>53</sup> <https://developer.vuforia.com/>

### 3.1 Realidad aumentada y sistemas de información geográfica

De acuerdo a ESRI<sup>54</sup>, cuando se une la tecnología de realidad aumentada con los sistemas de información geográfica (SIG)<sup>55</sup>, es “posible contar con la conceptualización de la realidad en un entorno con elementos para poder visualizar desde un dispositivo”. Esta conjunción permite la utilización de los datos geoespaciales, así como sus bases de datos asociadas y sobreponerlas como una capa o *layer* en una visualización de realidad aumentada. Para ello existen diversas soluciones enfocadas al aprovechamiento de esta unión tecnológica:

- vGIS<sup>56</sup> es una plataforma de visualización que permite integrar realidad aumentada, datos geoespaciales y datos del tipo BIM, tiene costo y existe para Apple, Android y Windows Microsoft. Tiene convenios con ESRI y Autodesk. Figura 3.29, 3.30 y 3.31.



Figura 3.29 Imagen demostrativa del uso de vGIS

Fuente: <https://www.vgis.io/>

---

<sup>54</sup> <https://sig.esri.co/arcgisblog/el-entorno-a-traves-de-los-sig-y-la-realidad-aumentada/>

<sup>55</sup> Un SIG es una colección organizada de hardware, software, datos geográficos y personal, diseñada para capturar, almacenar, actualizar, manipular, analizar y mostrar de manera eficiente todas las formas de información geográficamente referenciada. *Understanding GIS, The Arc/Info Method*. ESRI. Copyright 1990, 1991, 1992, 1994.

<sup>56</sup> <https://www.vgis.io/>



Figura 3.30 Imagen demostrativa del uso de VGIS en campo

Fuente: <https://www.vgis.io/>

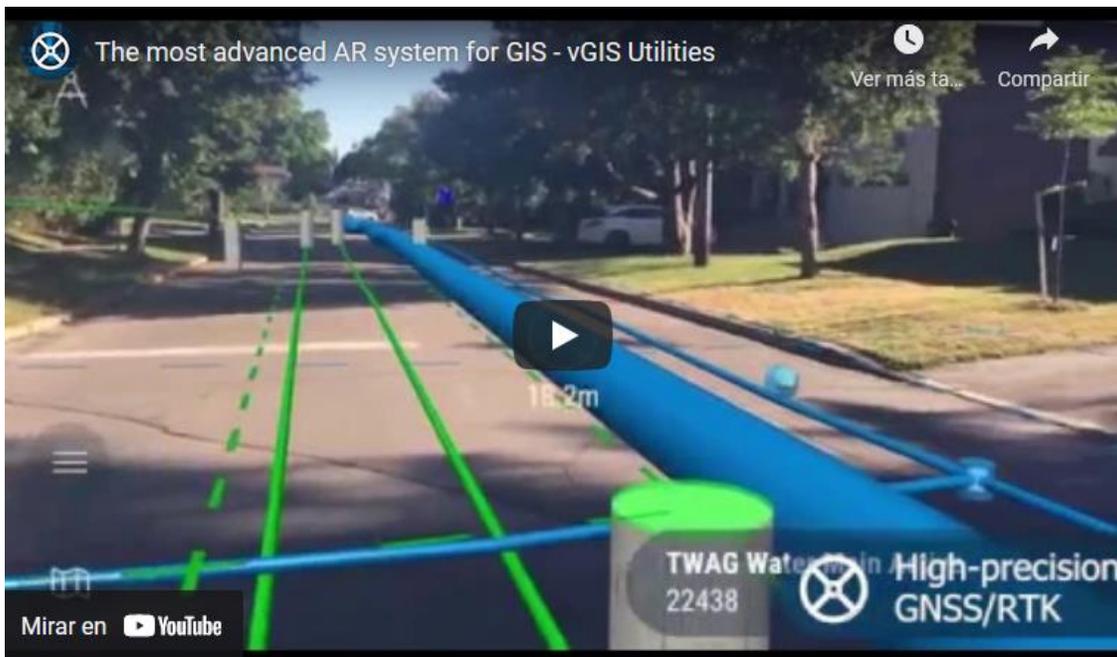


Figura 3.31 Imagen demostrativa del uso de VGIS en campo

Fuente: <https://www.geo-sapience.com/realidad-aumentada-en-el-contexto-sig/>

- AuGEO<sup>57</sup> es una aplicación desarrollada por ESRI para visualizar información geoespacial en un ambiente de realidad aumentada, se requiere contar con acceso de usuario a ArcGIS Online<sup>58</sup>. Figura 3.32.

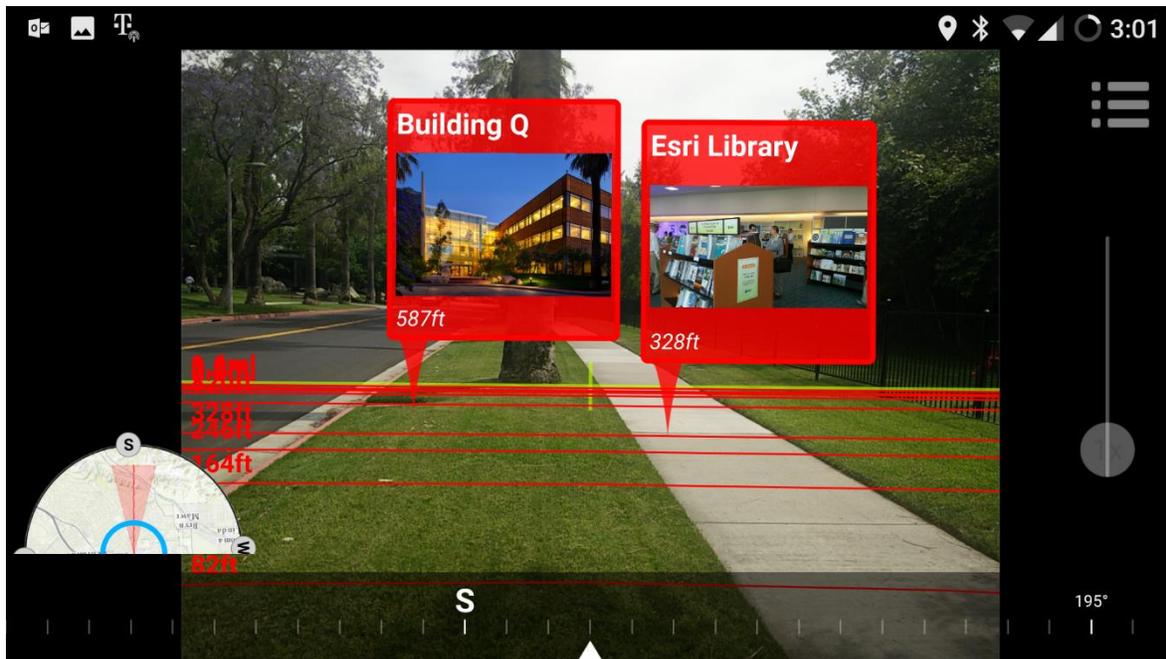


Figura 3.32 Imagen demostrativa del uso de AuGEO en campo

Fuente: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.esri.augeo>

<sup>57</sup> <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.esri.augeo>

<sup>58</sup> <https://www.arcgis.com/index.html>

## 4. La realidad aumentada y el transporte

---

Las aplicaciones de realidad aumentada existen para diversos campos de estudio, entre ellos, el transporte, el cual es una actividad fundamental para la continuidad de la vida del ser humano sobre la tierra, al mover insumos que se requieren para que las cadenas de producción puedan lograr la elaboración de distintos bienes, para desplazar los productos resultantes al punto donde se demandan, en el momento exacto y en las cantidades necesarias o para transportar personas a los centros de trabajo, atención médica, educativos o de esparcimiento.

En cuestiones de transporte, la realidad aumentada se puede aplicar en:

- ✓ La logística como herramienta para reducir los tiempos de ejecución de los procesos y al mismo tiempo incrementar la confiabilidad y cuyo objetivo es la mejora de las operaciones sustanciales. Esta herramienta además se usa para entrenamiento de los empleados que se encuentran ejecutando las operaciones, reduciendo la curva de aprendizaje sin interferir la ejecución normal de los procesos en cuestión.
- ✓ En esa misma área se puede aplicar para la verificación de la integridad de las mercancías, así como la existencia, ubicación, fechas de caducidad, datos sobre manejos o cuidados especiales. En cuanto a la entrega de los productos, es factible el uso del reconocimiento facial para verificar la identidad del que recibe el producto sin necesidad de mostrar una identificación física.
- ✓ En la seguridad del autotransporte, como apoyo a la conducción, utilizando aplicaciones de RA que proporcionen información acerca de la ruta, velocidad, ubicación de incidentes, ubicación en tiempo real del vehículo, identificación de tramos y las características técnicas necesarias, por ejemplo, para que un tractocamión con exceso de dimensiones pueda transitar y superar los obstáculos físicos.
- ✓ También es posible visualizar las partes de un prototipo de motor de auto o tractocamión antes de que sea construido, observar el proceso de montaje, identificar las piezas que necesitan ser reemplazadas y contar con ayuda para la sustitución y calibración paso a paso, los manuales de los vehículos, camiones, tractocamiones, aviones, barcos, podrían ser consultados con esta tecnología, por ejemplo, al enfocar el dispositivo sobre la llanta de un vehículo, se desplegarían los datos técnicos de esta, como la presión a la que debe ir inflada, el rango de velocidad, el peso soportado, el ancho, el tipo

de llanta, el diámetro e incluso mostrar un video explicando cómo cambiarla en caso de ponchadura.

- ✓ La movilidad de las personas es un campo de amplio potencial de desarrollo de la RA para verificar rutas de transporte urbano y suburbano, orígenes-destino, tiempos de recorrido, ubicación en tiempo real de las unidades, generación de reportes de tráfico, accidentes, sobrecupo, frecuencia de paso de unidades, infraestructura existente, así como los servicios que ofrecen a los usuarios.
- ✓ Como apoyo o asistente de geolocalización, navegación e identificación de servicios y lugares, para ubicar sistemas de transporte, conexiones entre los distintos modos, verificar horarios, optimización de lugares específicos para la actividad.
- ✓ En situaciones de emergencias se podría utilizar para proporcionar información sobre acciones que se deben tomar para disminuir o mitigar las afectaciones. Las situaciones pueden ser como cambiar una llanta, pasar corriente o cargar baterías, instrucciones para señalar o colocar balizas en un accidente o desperfecto mecánico. Asimismo, contribuirá a proporcionar primeros auxilios básicos, como también obtener reportes acerca de las condiciones del clima en tramos de carreteras, así como los albergues o puntos donde puedan proporcionar ayuda en caso de requerirse mostrando dirección, teléfono e indicaciones de llegada.
- ✓ Un ejemplo de utilización se da en el sistema de transporte masivo *Transmetro* de la ciudad de Barranquilla, Colombia<sup>59</sup> en donde se implementó un prototipo móvil basado en geolocalización, apoyado en una aplicación de realidad aumentada, con dispositivos *Android*<sup>60</sup> y *OpenGL*<sup>61</sup> que permite visualizar paraderos y rutas, esto con el fin de facilitar a los usuarios los desplazamientos y al mismo tiempo obtener información acerca de la infraestructura existente.
- ✓ En el sector de la construcción de obras de infraestructura dedicadas al transporte es posible visualizar el lugar o realizar una visita virtual, verificar las orientaciones, generar una idea acerca del tamaño, conocer la parte interna, así como los distintos subsistemas que generalmente se encuentran ocultos, por ejemplo, las instalaciones eléctricas, hidráulicas, de seguridad, antisismos, etc. Esto aplica para carreteras, puentes, excavación de taludes,

---

<sup>59</sup> [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-82612015000200012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612015000200012)

<sup>60</sup> [https://www.android.com/intl/es-419\\_mx/](https://www.android.com/intl/es-419_mx/)

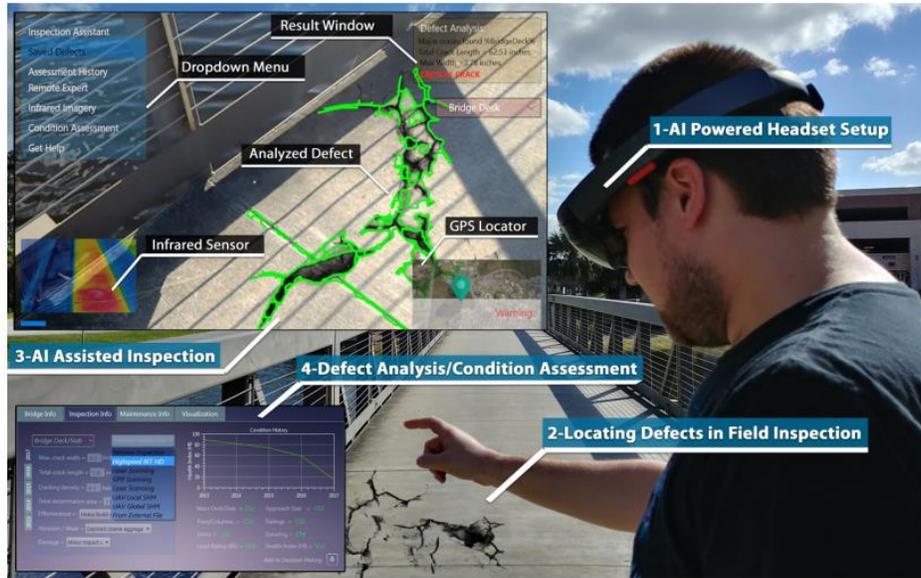
<sup>61</sup> <https://developer.android.com/guide/topics/graphics/opengl?hl=es-419>

casetas de cobro, estaciones de pesos y dimensiones, patios de maniobras, líneas de ferrocarril, aeropuertos, puertos, instalación de grúas.

- ✓ Para visualizar los datos técnicos, estructurales y de mantenimiento de una carretera, un tramo o sección de ésta y sus estructuras asociadas. Para esto, el usuario se debe ubicar en algún punto del tramo, activar la aplicación, contar con acceso a internet y recibirá los datos en su dispositivo móvil que serán desplegados en la pantalla y podrá visualizarlos al mismo tiempo que la carretera. Por ejemplo, para obtener información de un puente, revisar su historial de reparaciones, planos estructurales, videos de construcción, etc.
- ✓ Cuando un usuario pasa por una caseta de cobro, en el ticket de pago viene impreso un código QR. El cual se puede utilizar para dar información virtual y en tiempo real al usuario, por ejemplo:
  - Costo pagado
  - Tiempo de viaje entre casetas
  - Avisos acerca de accidentes
  - Avisos acerca de rutas optimas de traslado
  - Avisos acerca de desviaciones y rutas alternas
- ✓ Existen distintos tipos de señales sobre y a lo largo de una carretera, con la realidad aumentada se pueden observar datos como:
  - Tamaño y características
  - Indicaciones que da la señal
  - Restricciones que impone la señal
  - Sí la señal es turística podrá mostrar información acerca del destino a donde se dirige el usuario, tiempo de llegada, clima, incluso opciones de reservación, lugares para comer, actividades recreativas, etc.
- ✓ En las carreteras se puede aplicar para verificar el tipo de vehículos que circulan y sí cuentan con las características necesarias para hacerlo de acuerdo a la normatividad aplicable por tipo de carretera. Esto se puede lograr al enfocar un vehículo y la aplicación de realidad aumentada mostrará el tipo de camión, las características, regulaciones vigentes de circulación, así como las restricciones junto con los caminos en donde tiene permitido desplazarse.
- ✓ Los usuarios del transporte de pasajeros podrían visualizar la ruta del camión en donde se trasladan, las paradas, velocidad del autobús, así como diversas incidencias que pudieran suceder en el camino, por ejemplo, tráfico pesado, accidentes, desvíos del autobús en caso de que deba tomar una ruta alterna, cálculo de hora posible de llegada.

Algunos casos de uso son:

- ✓ Se ha estado utilizando la Inteligencia Artificial <sup>62</sup>(AI, *Artificial Intelligence*) conjuntamente con la Realidad Mixta o Híbrida<sup>63</sup> para ofrecer una solución que permita la inspección y evaluación de daños como grietas y astillados o desconchados en ciertas partes de la estructura de un puente. De acuerdo con Karaaslan et al., (2019) la utilización de algoritmos avanzados de detección y segmentación de AI genera beneficios al analizar los daños en tiempo real y visualización utilizando realidad mixta. Figura 4.33.



**Figura 4.33 Sistema de realidad mixta (con dispositivos físicos adicionales) integrado con inteligencia artificial**

Fuente: Karaaslan et al., (2019).

- ✓ También para la inspección de estructuras, Mascareñas et al., (2021) desarrolló una herramienta de realidad aumentada que de manera cuantitativa documenta la geometría de las banquetas o aceras que tienen forma irregular, luego la compara con levantamientos topográficos convencionales realizados con anterioridad y de esa manera poder detectar algún elemento de falla estructural. En este caso, también se utiliza un

---

<sup>62</sup> Inteligencia artificial (IA) se refiere a sistemas o máquinas que imitan la inteligencia humana para realizar tareas y pueden mejorar iterativamente a partir de la información que recopilan. <https://www.oracle.com/mx/artificial-intelligence/what-is-ai/>

<sup>63</sup> Es una mezcla de la realidad aumentada con la utilización de algunos dispositivos de la realidad virtual, como pueden ser lentes y audífonos.

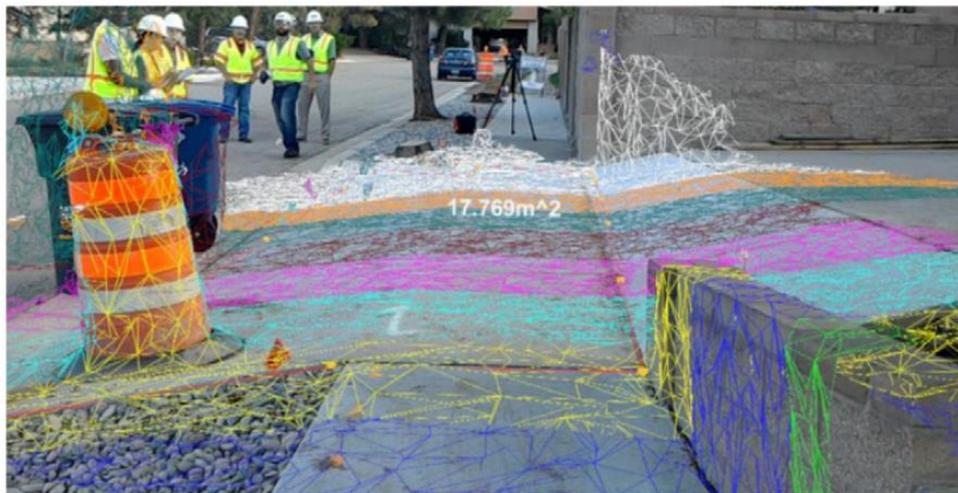
dispositivo HoloLens<sup>64</sup> que cuenta con diversos sensores como cámara y micrófono, unidad de medición inercial, Bluetooth. Figura 4.34.



**Figura 4.34 Sistema de realidad mixta HoloLens**

Fuente: Mascareñas et al., (2021)

Esta aplicación se utiliza para medir banquetas o aceras recién construidas y mostrar los metros cuadrados por los que debe pagar la autoridad a la empresa constructora. Se puede utilizar para verificación estructural de puentes, represas, túneles, caminos. Figura 4.35.

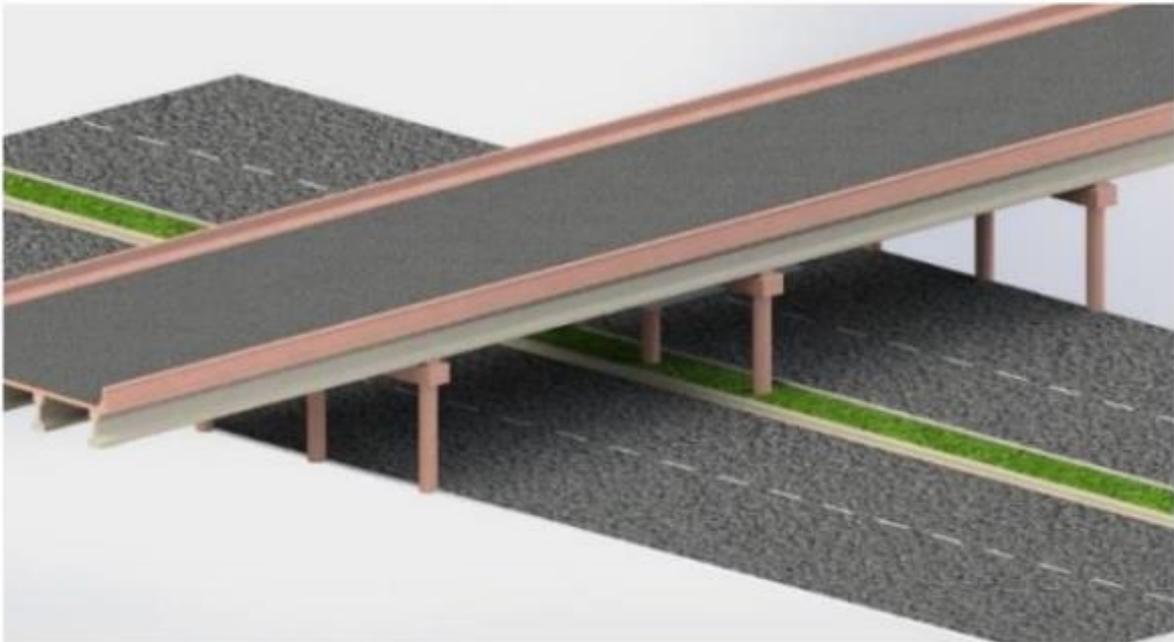


**Figura 4.35 Medición de banquetas, mostrada en el dispositivo de realidad aumentada.**

Fuente: Mascareñas et al., (2021)

<sup>64</sup> <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/hardware>

- ✓ Korkmaz, K. & Tanbour, E. (2018) proponen el uso de la realidad virtual y aumentada para aplicarla en diversas etapas de la construcción de proyectos de carreteras, en específico, en los puentes que conforman los sistemas de carreteras de EU. Los autores consideran en dicha propuesta que es factible utilizarla para reducir los costos de construcción, mejorar los tiempos de entrega del proyecto y apoyar a la gestión en general del proyecto de construcción. Para esto crearon un modelo representativo en realidad virtual y posteriormente se implementó en realidad aumentada para la evaluación de algunas de las etapas de construcción del puente. Su propuesta fue diseñada utilizando las especificaciones del puente, en el modelado se utilizó software CAD<sup>65</sup> y animación del modelo de realidad virtual con Unity 3D<sup>66</sup>. Figura 4.36.



**Figura 4.36 Creación de modelo 3D de un puente**

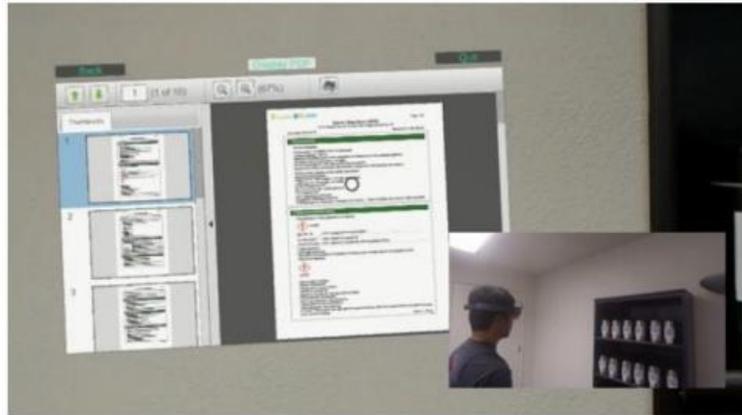
Fuente: Korkmaz, K. & Tanbour, E. (2018)

---

<sup>65</sup> CAD o diseño y dibujo asistido por computadora es una tecnología para el diseño y la documentación técnica, que sustituye el dibujo manual por un proceso automatizado. <https://www.autodesk.mx/solutions/cad-software>

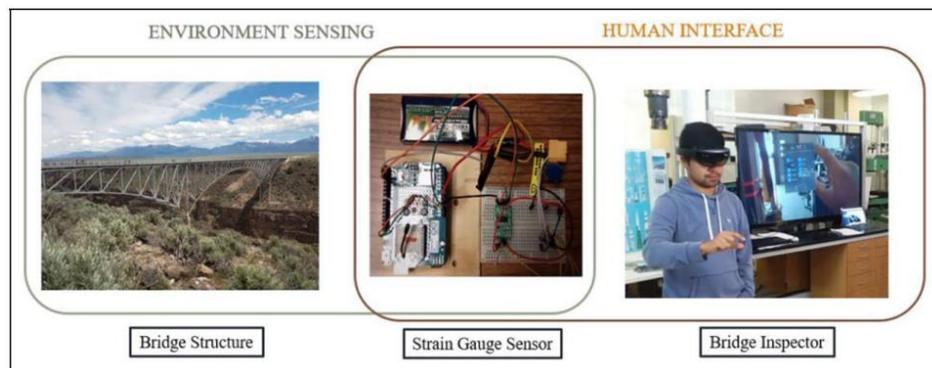
<sup>66</sup> Unity. <https://unity.com/es>

- ✓ Maharjan et al., (2020), propone dos vertientes al uso y aplicación de la realidad aumentada, la primer propuesta es utilizar códigos QR para conectarse en tiempo real a una base de datos que contiene información (informes de inspección, historial de mantenimiento, información sobre el inspector, actualización de la base de datos con nuevas inspecciones) de los activos físicos y visualizarlos utilizando la RA (Figura 4.37), en segundo lugar propone aprovechar la realidad aumentada para interactuar en tiempo real con alguna red de sensores existente que monitoree el entorno físico en obras de infraestructura, en este caso, las galgas extensiométricas<sup>67</sup> (Figura 4.38). Ambas propuestas incorporan el uso de Unity, gafas Hololens y el kit de herramientas de Microsoft.



**Figura 4.37** Escaneo del código QR y despliegue de la información en formato PDF

Fuente: Maharjan et al., (2020)

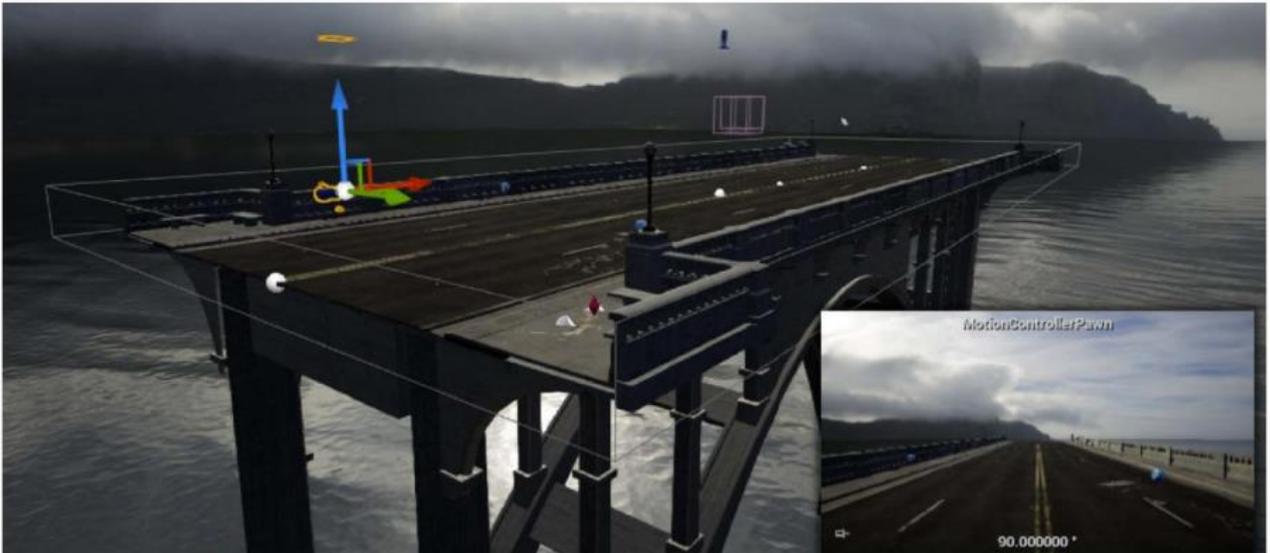


**Figura 4.38** Monitoreo de la estructura de un puente utilizando realidad mixta conjuntamente con una red de sensores de deformación (galgas extensiométricas)

Fuente: Maharjan et al., (2020)

<sup>67</sup> <https://es.omega.com/prodinfo/galgas-extensiometricas.html>

- ✓ Smith et al., (2022), siguiendo la línea de la inspección de puentes, propone aplicar el diseño de interfaces de usuario de realidad aumentada de manera que se pueda promover que la experiencia del usuario sea positiva, para esto se diseñó una aplicación llamada Sistema de gestión de informes de inspección portátil (*Wearable Inspection Report Management System - WIRMS*) que permite a los inspectores identificar y marcar áreas que presenten problemas, estas marcas contienen metadatos como notas grabadas, anotaciones, mediciones digitales e información acerca de la ubicación. Actualmente la plataforma permite crear las anotaciones y automatizar el etiquetado de los defectos identificados. A largo plazo, con los datos obtenidos en campo, se pretende obtener conocimiento del contexto estructural del puente y construir gemelos digitales interactivos aplicando técnicas BIM (Building Information Modeling)<sup>68</sup>.



**Figura 4.39 Prototipo de Realidad Virtual para la aplicación de inspecciones a puentes**

Fuente: Smith et al., (2022)

---

<sup>68</sup> Una metodología de trabajo colaborativa para la concepción y gestión de proyectos de edificación y obra civil. <https://www.espaciobim.com/bim>

## 4.1 Prueba piloto de uso

Para ejemplificar el uso de la Realidad Aumentada se pagó una licencia básica del software *Augmented Class*<sup>69</sup>. Es una aplicación que cuenta con soporte para Android. Figura 4.40.

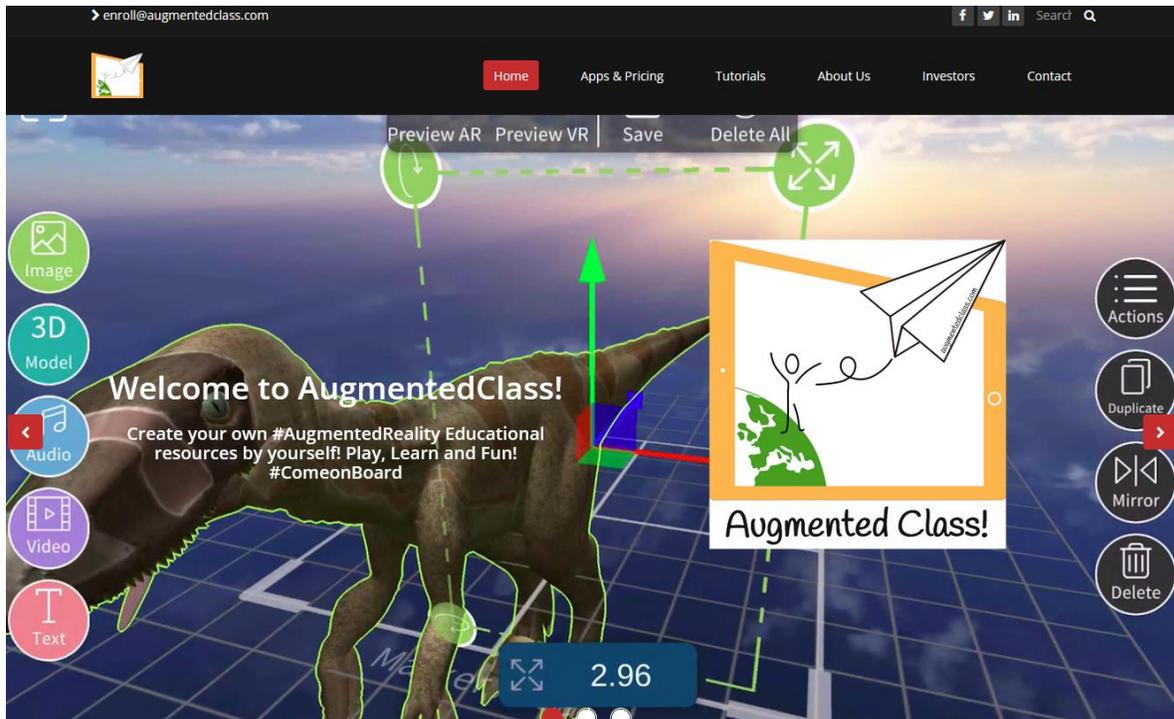


Figura 4.40 Plataforma Augmented Class

Fuente: [www.augmentedclass.com](http://www.augmentedclass.com)

Este software permite la utilización de marcadores predefinidos para activar la presentación de la realidad aumentada, puede ser a partir de un solo marcador o la utilización de varios de ellos en secuencia. Cada que se utiliza un marcador se activara una parte de la realidad aumentada y el software queda a la espera del siguiente marcador para mostrar la secuencia que sigue.

También es posible generar la visualización de la realidad aumentada a partir del enfoque o vista de un área u objeto. Para esto se demanda mayor capacidad de cómputo, que la imagen captada con la cámara sea de buena calidad y existan

<sup>69</sup> <http://www.augmentedclass.com/>

buenas condiciones de iluminación y enfoque para que funcione correctamente esta opción.

En la prueba piloto que se realizó, se seleccionó una señal indicando la ruta de evacuación en un edificio público. Figura 4.41.



**Figura 4.41 Imagen que servirá de marcador**

Fuente: Elaboración propia.

Es recomendable que antes de generar el ejercicio de realidad aumentada se cuente con el material necesario para ser desplegado, este puede ser imágenes, documentos de texto, videos, audio o modelos 3D.

La información seleccionada para ser ligada o vinculada a través de realidad aumentada fue la siguiente (Ver Figura 4.42):

Señal de  
Ruta de evacuación

- SE RECOMIENDA SEGUIR LA DIRECCIÓN INDICADA POR LA FLECHA.
- Es el camino o **ruta** diseñada específicamente para **que** trabajadores, empleados y público en general evacuen las instalaciones en el menor tiempo posible y con las máximas garantías de seguridad.

Figura 4.42 Imagen con la información que se mostrará en el escenario

Fuente: Elaboración propia.

Al entrar a la aplicación *Augmented Class* se selecciona la opción Inventor, que es donde se construye el escenario de realidad aumentada.

Se selecciona la opción Marcador Simple, Figura 4.43.



Figura 4.43 Selección de opción Marcador Simple

Fuente: Elaboración propia.

Aparece el constructor de escenarios, que es donde se agrega en primer lugar el marcador que activará la realidad aumentada, ver Figura 4.44. Enseguida seleccionarla de la lista de imágenes disponibles, ver Figura 4.45.

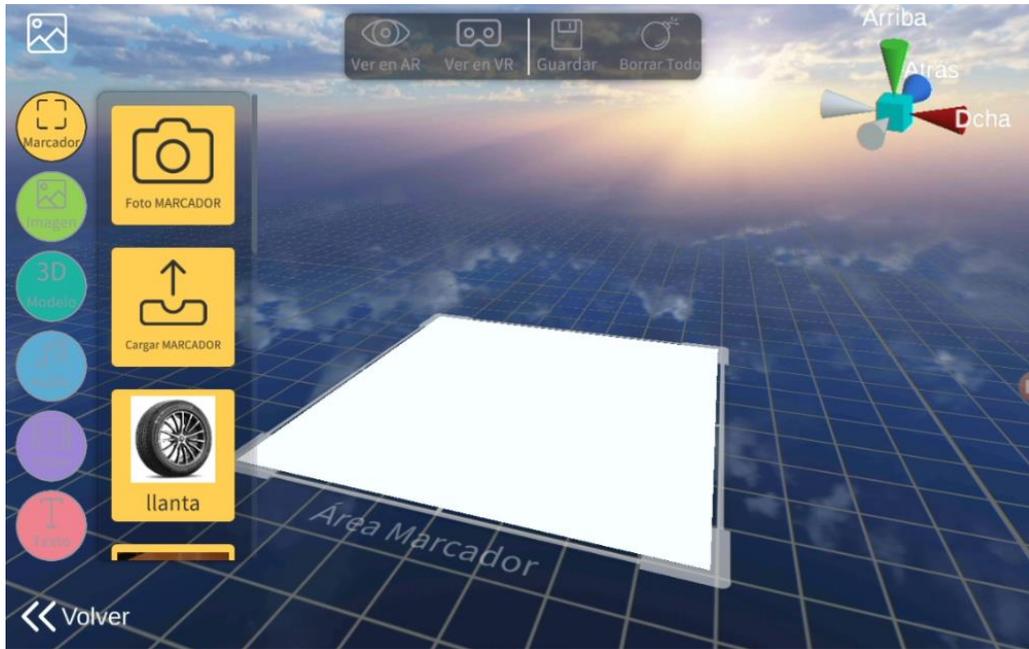


Figura 4.44 Constructor de escenarios

Fuente: Elaboración propia.

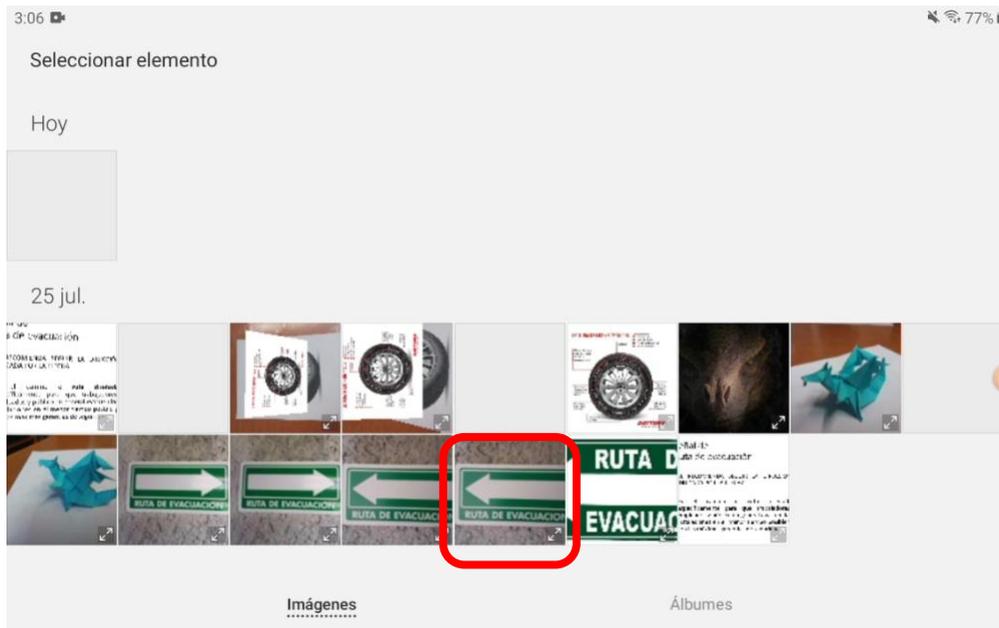


Figura 4.45 Selección de marcador

Fuente: Elaboración propia.

Se coloca el marcador en el área que le corresponde y se ajusta el tamaño y orientación, Figura 4.46.



Figura 4.46 Colocación y ajuste de marcador

Fuente: Elaboración propia.

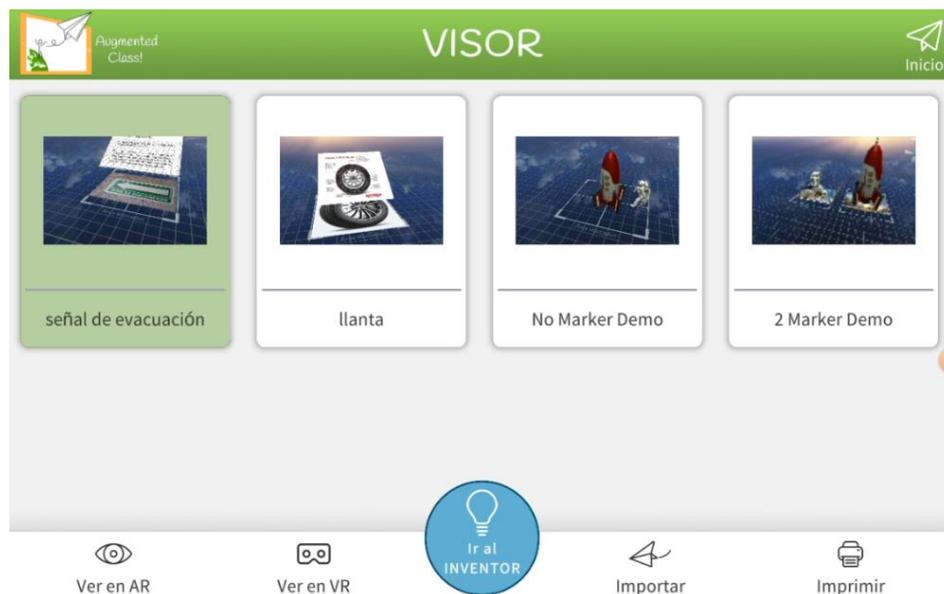
Se repite la operación con la imagen que contiene la información del marcador, Figura 4.47.



Figura 4.47 Colocación y ajuste de información para marcador

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente opción, seleccionar Visor, luego el escenario recién creado, Figura 4.48.



**Figura 4.48 Selección de escenario recién creado**

Fuente: Elaboración propia.

Al enfocar hacia la imagen real o impresa del marcador elegido, el software la escaneará y comparará con el marcador seleccionado. Figura 4.49.



**Figura 4.49 Enfocando imagen similar al marcador**

Fuente: Elaboración propia.

Si la imagen es reconocida como marcador entonces se realizará el vínculo y se mostrará la imagen con los datos seleccionados en la posición definida por el desarrollador. Figura 4.50.

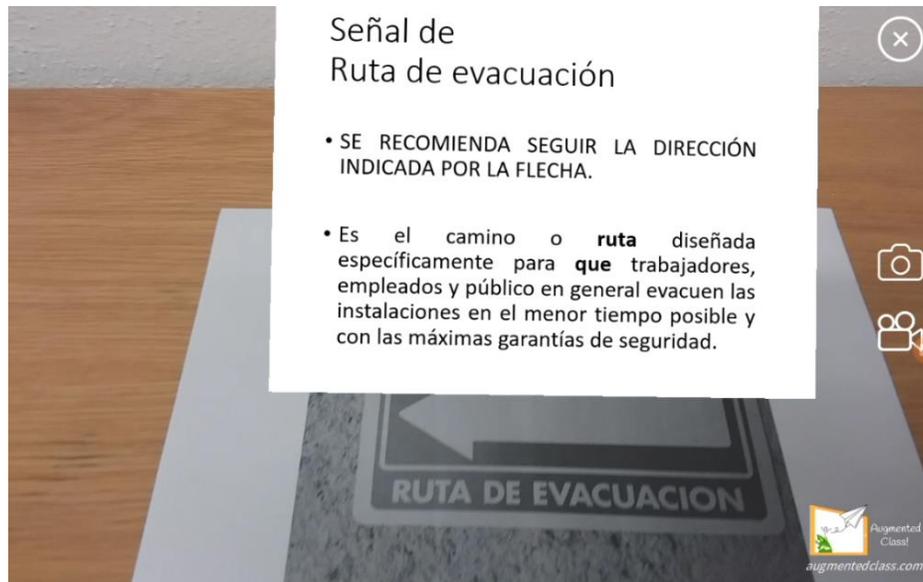


Figura 4.50 Mostrando datos correspondientes al marcador

Fuente: Elaboración propia.

También se realizó un ejercicio enfocado a la visualización de datos en una llanta de auto. Figuras 4.51, 4.52, 4.53, 4.54.

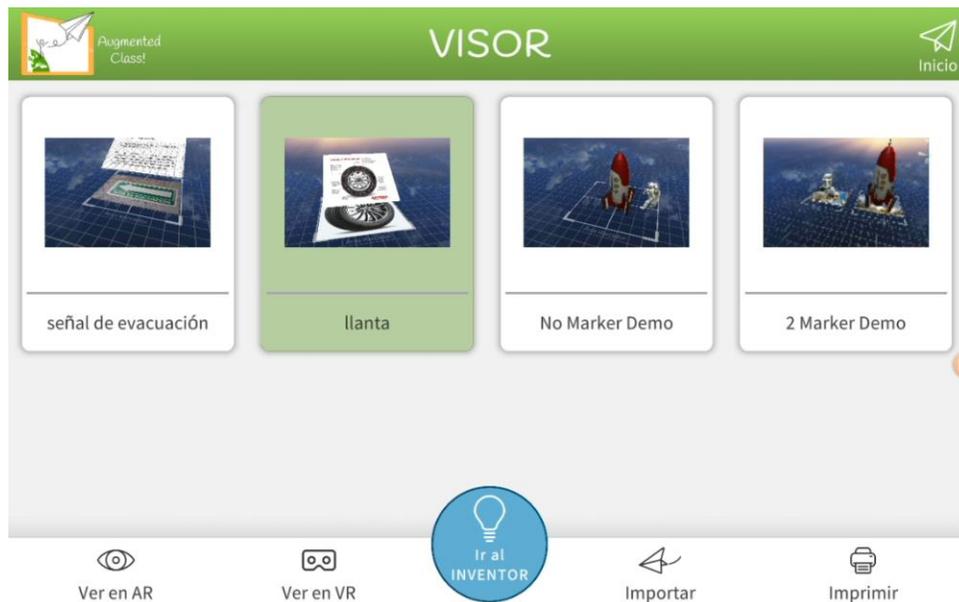


Figura 4.51 Selección de escenario en el Visor

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.52 Ubicación y enfoque al marcador definido

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.53 Generando la identificación del marcador

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.54 Mostrando datos relacionados al marcador

Fuente: Elaboración propia.

La Figura 4.55 muestra el código QR que, al escanearlo y abrir la liga, es posible visualizar un video que muestra la secuencia básica de construcción de escenarios de realidad aumentada utilizando Augmented Class.



Figura 4.55 Código QR para visualizar video sobre el procedimiento de generación de escenarios de realidad aumentada utilizando Augmented Class

Fuente: Elaboración propia utilizando <https://www.qrcode-monkey.com/es/#>



## Conclusiones

---

La tendencia en las aplicaciones de realidad aumentada se encuentra enfocada principalmente hacia aspectos de mercadotecnia, industriales, de servicios, rastreo de artículos y mercancías; en México, las experiencias de aplicación en el transporte aún son pocas y se encuentran enfocadas al transporte urbano, por ejemplo, el Sistema de Transporte Colectivo Metro de la Ciudad de México<sup>70</sup>.

Se ha identificado que, para poder diseñar, crear, implantar y utilizar todo el potencial de una solución RA en el transporte, se requiere el conocimiento, compromiso y aceptación por parte del usuario final, en términos de su plena inserción organizacional. Asimismo, se requieren datos de entrada que contengan la información correcta y actualizada necesaria para ser visualizados, también es indispensable contar con los equipos móviles que cumplan con los requisitos mínimos necesarios en cuanto a capacidad, velocidad y memoria para poder desplegar los contenidos en 2D, 3D, audiovisuales, videos, presentaciones y documentos diversos. Se requieren pruebas de desempeño con la aplicación, datos, conexión en tiempo real y usarla en situaciones verdaderas en donde se pueda evaluar, generar casos de uso y alimentar el proceso de retroalimentación del sistema para desarrollar las oportunidades de mejora.

La realidad aumentada utiliza computadoras y otros elementos tecnológicos para crear simulaciones dinámicas, en 2D y 3D, con poderosos gráficos, audio y contenido táctil. En el proceso de simulación con fines prácticos y utilitarios, el usuario ingresa al mundo aparentemente real, sumergiéndose en un entorno derivado artificialmente que define de qué está hecha esa realidad. Y aunque adquirir este tipo de tecnología es costoso, existe un amplio potencial de uso, sobre todo si se definen objetivos y alcances claros.

Los usos de la realidad aumentada varían ampliamente, con la excepción de las múltiples aplicaciones militares, los más comunes son la investigación y la simulación con fines de desarrollo de productos realizados por empresas de nueva creación, destacándose por iniciativas y aplicaciones sumamente creativas, que responden a diversos campos de trabajo e innovación con un espectro ilimitado de posibilidades, sin perder de vista que, aunque parezca obvio, una experiencia virtual nunca será real, aun con el uso de las más avanzadas tecnologías existentes.

---

<sup>70</sup> <https://www.terra.com.mx/tendencias/2022/1/6/metro-cdmx-paso-paso-para-ver-el-mapa-en-3d-de-todas-las-lineas-desde-instagram-22644.html>

En cualquier caso, una experiencia de realidad aumentada cuidadosamente diseñada puede acercar la interacción a la mente, proporcionar una sensación de control sobre el entorno, y facilitar enormemente el aprendizaje y la formación hacia el diseño de soluciones innovadoras.

La inserción, implementación, aplicación y uso en el transporte, no ha permeado, en primer lugar, porque las características, beneficios y requerimientos no se conocen ni entienden a profundidad y tampoco lo que la tecnología podría ofrecer y resolver; en segundo lugar, no existe capacitación suficiente y específica para el sector; la tercera causal alude a los costos de implementar una solución de realidad aumentada que suelen ser elevados, por todos los componentes de una solución de RA integral, a saber: cursos para el personal, software (en algunos casos se debe comprar una licencia de uso), equipos con suficientes capacidades para poder ejecutar la aplicación, datos actualizados, verificados y oportunos y por último, se necesita generar proyectos de diseño, implementación, uso y de mercadotecnia para ofrecérselos a los usuarios de la infraestructura del transporte existente como carreteras, puentes, casetas, etc.

Por otro lado, se debe enfatizar en las ventajas ofrecidas por la RA, tanto en términos económicos, como por ejemplo al interactuar el usuario con la aplicación se pueden generar ahorros en costos de viajes, ministración de viáticos y supervisiones en persona en la realización de un proyecto. Asimismo, el despliegue y uso de datos relacionados con la infraestructura también puede ser de gran ayuda para la seguridad del usuario, ya que le permitiría poder tomar decisiones, por ejemplo, cuando se visualiza información acerca de las señales de distintos tipos en un tramo de carretera o cuando la información de una vialidad o ruta de transporte aplica la RA y se comunica a los usuarios por medios inalámbricos para, de este modo, decidir utilizar una ruta diferente o dirección alterna.

Se considera necesario que la SICT integre y amplíe la investigación así como la definición de políticas de uso y aplicación de las nuevas tecnologías, tales como los datos masivos geoespaciales, la inteligencia artificial, BIM y GeoBIM, la realidad virtual y aumentada, ajustándose al plan nacional de desarrollo actual y las tendencias internacionales de investigación, implementación, uso y aprovechamiento, ya que en otros países la interacción y resultados obtenidos entre el sector público, privado y la academia llevan un avance sustancial y bien definido.

Existen desafíos y oportunidades para su aplicación en la gestión integral de los distintos modos de transporte, se requieren fuentes de información actualizadas, metodologías bien estructuradas, difusión e interacción con otras instituciones, homologación de procedimientos y arquitecturas, así como el óptimo aprovechamiento de los datos para impulsar la movilidad, la sustentabilidad y el eficaz uso de los recursos asignados.

## Bibliografía

---

- Akselsson, R., Källqvist, C., Bednarek, V., Cepciansky, M., Trollås, A., Davies, R., Eriksson, J., Olsson, R., Johansson, G. *Virtual Reality in air traffic control*. (2000). In Proceedings of the International Ergonomics Association/Human Factors and Ergonomics Society. USA. Vol 6, 273-275. Disponible en <http://lup.lub.lu.se/luur/download?func=downloadFile&recordId=1882714&fileId=2219868>
- Azuma, R. (1997). *A survey of augmented reality*. Presence, 355–385.
- ESRI. (1994). *Understanding GIS, The Arc/Info Method*. Copyright 1990, 1991, 1992, 1994.
- Karaaslan, E., Bagci, U. y Catbas, F. (2019). *Artificial Intelligence Assisted Infrastructure Assessment using Mixed Reality Systems*. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2673(12), 413–424. Disponible en <https://doi.org/10.1177/0361198119839988>
- Korkmaz, K., Tambour, E. (2018). *Augmented reality technology for highway construction project delivery*. Eastern Michigan University.
- Maharjan, D., Agüero, M., Mascarenas, D., Fierro, R. y Moreu, F. (2020). *Enabling human–infrastructure interfaces for inspection using augmented reality*. Structural Health Monitoring. Disponible en <https://doi.org/10.1177/1475921720977017>
- Mascareñas, D., Ballor, J., McClain, O., Mellor, M., Shen, C., Bleck, B., Morales, J., Yeong, L., Narushof, B., Shelton, P., Martinez, E., Cattaneo, A., Harden, T. y Moreu, F. (2020). *Augmented reality for next generation infrastructure inspections*. Structural Health Monitoring. Disponible en <https://doi.org/10.1177/1475921720953846>
- Mejía Luna, J. (2012). *Realidad virtual, estado del arte y análisis crítico*. Trabajo final de Máster. Universidad de Granada. Disponible en <https://docplayer.es/4891709-Universidad-de-granada-master-en-desarrollo-de-software-realidad-virtual-estado-del-arte-y-analisis-critico.html>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., Kishino, F. (1995). *Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum*. International Society for Optics and Photonics. 2351(1), 282-292.
- Smith, A., Duff, C., Sarlo, R. y Gabbard, J. (2022). *Wearable Augmented Reality Interface Design for Bridge Inspection*. Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW), 497–501.

Trujillo, L., Ramírez, P., Santos, J., Martín, A., Carrillo, F. (2014). *La simulación por ordenador como herramienta de aprendizaje de procesos reales en prácticas de planta piloto*. X Foro Internacional sobre Evaluación de la Calidad de la Investigación y de la Educación Superior. ISBN 978-84-697-0237-6, 461-467.

Vatsavai, R., Chandola, V., Klasky, S. (2012). *Spatiotemporal data mining in the era of big spatial data: algorithms and applications*. Oak Ridge National Laboratory.

Vázquez, J., Morales, E., González, J. y Backhoff, M. (2017). *Datos masivos geoespaciales aplicados al transporte*. Publicación técnica No. 502. México: Instituto Mexicano del Transporte.

❖ Páginas Web consultadas:

Acoustical Society of America. (s. f.). *The Convolvotron: Real-time demonstration of reverberant virtual acoustic environments*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://asa.scitation.org/doi/10.1121/1.404833>

Amazon Web Services, Inc. (s. f.). *¿Qué es una API? - Guía sobre las API para principiantes - AWS*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://aws.amazon.com/es/what-is/api/>

Android. (s. f.). *Android | La plataforma que desafía límites*. [Artículo en línea]. Disponible en [https://www.android.com/intl/es-419\\_mx/](https://www.android.com/intl/es-419_mx/)

Android. (s. f.). *Android | La plataforma que desafía límites*. [Artículo en línea]. Disponible en [https://www.android.com/intl/es-419\\_mx/](https://www.android.com/intl/es-419_mx/)

Android Developers. (s. f.). *OpenGL ES. Desarrolladores de Android*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://developer.android.com/guide/topics/graphics/opengl?hl=es-419>

Apple (México). (s. f.). *iOS 15*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.apple.com/mx/ios/ios-15/>

ARCore. (s. f.). *Google AR & VR*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://arvr.google.com/arcore/>

artoolkitX. (s. f.). *artoolkitX*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.artoolkitx.org/>

artoolkitX. (s. f.). *GitHub*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://github.com/artoolkitx>

Autodesk. (s. f.). *Software de diseño CAD | Diseño asistido por computadora 2D y 3D*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.autodesk.mx/solutions/cad-software>

Azmi Studio. (s. f.). *Augmented Reality in Real Estate Solution - Azmi Studio*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://azmistudio.com/augmented-reality-in-real-estate-solution/>

Biblioguías at Biblioteca CEPAL, Naciones Unidas. (s. f.). *Gestión de datos de investigación: Compresión y normalización*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://biblioguías.cepal.org/c.php?q=495473&p=4398013>

BIM A+. (s. f.). *The very beginning of the digital representation - Ivan Sutherland Sketchpad*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://bimaplus.org/news/the-very-beginning-of-the-digital-representation-ivan-sutherland-sketchpad/>

Biografías.es. (s. f.). *William Gibson - Biografía de William Gibson*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.biografias.es/famosos/william-gibson.html>

Burdea. Coifet. (s. f.). *Components of a VR system*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.researchgate.net/figure/Components-of-a-VR-system-I-input-O-output-From-Burdea-G-Coiffet-P-Virtual-fig1-44622469>

Cambridge Dictionary | English Dictionary, Translations & Thesaurus. (s. f.). *QR code*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles/qr-code>

Castellanos, C. (s. f.). *VRML, Virtual Reality Modeling Language*. [Artículo en línea]. Disponible en <http://www.dit.upm.es/~santiago/externos/docencia/doctorado/drci/trabajos0001/ccastellanos/introduccion.htm>

Centro de noticias Microsoft. (s. f.). *Momentos destacados en la historia de Microsoft*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://news.microsoft.com/es-es/2015/04/06/historia-microsoft-40-aniversario/>

CFT San Agustín. (s. f.). *Ingeniería del Software un Enfoque Práctico*. [Artículo en línea]. Disponible en <http://digital.cftsa.cl/elibros/Ingenieriadel%20software%20un%20enfoque%20practico/287/>

Crehana. (s. f.). *Estándares para el diseño de interfaces gráficas*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.crehana.com/blog/disen-productos/estandares-diseno-interfaces-graficas/>

Dan Wilcox Class Pages. (s. f.). *Brief History on Interactivity*. [Artículo en línea]. Disponible en <http://class.danomatika.com/2017/spring/creative/history>

Definicion.de. (s. f.). *Definición de háptica*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://definicion.de/haptica/>

Definicion.de. (s. f.). *Definición de realidad aumentada*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://definicion.de/realidad-aumentada/>

Dpto. de Informática de Sistemas y Computadores: UPV. (s. f.). *Realidad Aumentada: ARToolkit para animación de personajes*. [Artículo en línea]. Disponible en [https://www.disca.upv.es/magustim/val/pfcs\\_anteriors/arToolkit/ARToolkit.html](https://www.disca.upv.es/magustim/val/pfcs_anteriors/arToolkit/ARToolkit.html)

Dialnet. (s. f.). *La simulación por ordenador como herramienta de aprendizaje de procesos reales en prácticas de planta piloto*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6441091>

Digital Transformation Solutions to Unlock the Value of IIoT | PTC. (s. f.). *Vuforia Instruct | PTC*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.ptc.com/en/products/vuforia/vuforia-instruct>

Electronic Visualization Laboratory. (s. f.). *The Cosmic Worm in the CAVE®: Steering a High Performance Computing Application from a Virtual Environment*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.evl.uic.edu/pubs/1280>

Edu Trends. (s. f.). *Realidad Aumentada y Realidad*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://innovacioneducativa.upm.es/recursos/edu-trends-realidad-aumentada-realidad-virtual>

Espacio BIM. (s. f.). *BIM o Metodología BIM (Qué es) Más Que Tecnología*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.espaciobim.com/bim>

Espinosa, R. (2021.). *Hype Cycle 2021, ¿qué hay de nuevo?*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://resbla.com/2021/08/30/hype-cycle-2021-que-hay-de-nuevo/>

Esri Colombia. (s. f.). *El entorno a través de los SIG y la realidad aumentada*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://sig.esri.co/arcgisblog/el-entorno-a-traves-de-los-sig-y-la-realidad-aumentada/>

ESRI. (s. f.). *ArcGis*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.arcgis.com/index.html>

Facultat d'Informàtica de Barcelona. (s. f.). *Simulació*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.fib.upc.edu/retro-informatica/avui/simulacio.html>

Fernández, Y. (2022, 23 de mayo). *Cómo usar la navegación con realidad aumentada de Google Maps usando Live View*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.xataka.com/basics/como-usar-navegacion-realidad-aumentada-google-maps-usando-live-view>

Free essay examples and research papers. (s. f.). *Simulación por computadora*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://xdoc.mx/preview/simulacion-por-computadora-5e28aeeed13d9>

Gartner. (s. f.) *Hype Cycle*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.gartner.mx/es/metodologias/hype-cycle>

Geekno. (s. f.). *Pokémon GO. ¿Dónde se encuentran los Pokémon de cada tipo?*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.geekno.com/donde-se-encuentran-los-pokemon-de-cada-tipo.html>

GeoSapience. (s. f.). *Realidad aumentada en el contexto geográfico SIG*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.geo-sapience.com/realidad-aumentada-en-el-contexto-sig/>

Gestión de Objetos Digitales de Aprendizaje para el webcente. (s. f.). *Códigos QR para la REALIDAD AUMENTADA: ideas para su uso educativo*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://webcente.blogspot.com/2020/02/codigos-qr-para-la-realidad-aumentada.html>

Google Developers. (s. f.). *ARCore 1.0 y actualizaciones nuevas para Google Lens*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://developers-latam.googleblog.com/2018/03/anunciamos-de-arcore-10-y.html>

Google Developers. (s. f.). *Build new augmented reality experiences that seamlessly blend the digital and physical worlds | ARCore | Google Developers*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://developers.google.com/ar>

Google Lens. (s. f.). *Google Lens - Busque lo que ve*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://lens.google/intl/es-419/howlensworks/>

Google Maps. (s. f.). *Google*. [Plataforma de navegación]. Disponible en <https://www.google.com/maps>

hmn.wiki. (s. f.). *Myron W. Krueger*. [Artículo en línea]. Disponible en [https://hmn.wiki/es/Myron\\_W.\\_Krueger](https://hmn.wiki/es/Myron_W._Krueger)

iat20. (2019, 27 de noviembre). ▷ *Realidad aumentada. ¿Qué es? Características y tipos - IAT*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://iat.es/tecnologias/realidad-aumentada/>

IDIS. (s. f.). *Espada de Damocles*. Investigaciones sobre el Diseño de Imagen y Sonido. [Artículo en línea]. Disponible en <https://proyectoidis.org/espada-de-damocles/>

IDIS. (s. f.). *Myron Krueger*. Investigaciones sobre el Diseño de Imagen y Sonido. [Artículo en línea]. Disponible en <https://proyectoidis.org/myron-krueger/>

IDIS. (s. f.). *Myron Krueger*. Investigaciones sobre el Diseño de Imagen y Sonido. [Artículo en línea]. Disponible en <https://proyectoidis.org/myron-krueger/>

IDIS. (s. f.). *VideoPlace*. Investigaciones sobre el Diseño de Imagen y Sonido. [Artículo en línea]. Disponible en <https://proyectoidis.org/videoplace/>

Library.Co - plataforma para compartir documentos. (s. f.). *Simulación de sistemas asistida por computador*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://1library.co/article/simulación-de-sistemas-asistida-por-computador.y4j52jky>

Linux.org. (s. f.). Linux [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.linux.org/>

LLC, E. O. (s. f.). *AuGeo - Apps on Google Play*. [aplicación]. Disponible en <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.esri.augeo>

McHaney, R. (1991). *Computer Simulation: A Practical Perspective*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.iberlibro.com/9780124841406/Computer-Simulation-Practical-Perspective-McHaney-0124841406/plp>

MDN Web Docs. (s. f.). *ECMAScript - Glosario | MDN*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://developer.mozilla.org/es/docs/Glossary/ECMAScript>

metAClass | Augmented Reality in Education. (s. f.). *metAClass | Augmented Reality in Education*. [Aplicación]. Disponible en <http://www.augmentedclass.com/>

Microsoft. (s.f). *HoloLens Technical Specs (2022)*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.microsoft.com/en-us/hololens/hardware>

Microsoft. (s.f). *HoloLens 2*. (s/f). [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.microsoft.com/es-es/hololens>

Microsoft Support. (s. f.). *XML para no iniciados*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://support.microsoft.com/es-es/office/xml-para-no-iniciados-a87d234d-4c2e-4409-9cbc-45e4eb857d44>

MIT Media Lab. (s. f.). *TELEPRESENCE*. News + Updates. [Artículo en línea]. Disponible en <https://web.media.mit.edu/~minsky/papers/Telepresence.html>

Neosentec. (s. f.). *¿Qué es la Realidad aumentada? - Características y tipos*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.neosentec.com/realidad-aumentada/>

Neuralink. (s. f.). *Neuralink*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://neuralink.com/>

Niantic Labs. (s. f.). *Una historia de cómo ver el mundo de una forma diferente*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://nianticlabs.com/es/>

Nintendo. (s. f.). *Sitio Oficial para México*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.nintendo.com/es-mx/>

NTS SEIDOR. (s. f.). *Todas las versiones del sistema operativo Android (12 incluida)*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.nts-solutions.com/blog/versiones-android.html>

OGC. (s. f.). *OGC® Augmented Reality Markup Language 2.0 (ARML 2.0)*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.ogc.org/standards/arml>

OGC. (s. f.). *The Home of Location Technology Innovation and Collaboration*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.ogc.org/>

Omega. (s. f.). *¿Qué son las galgas extensiométricas? ¿Cómo se usan?*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://es.omega.com/prodinfo/galgas-extensiometricas.html>

Onirix. (s. f.). *Realidad aumentada web en mapas geolocalizados: búsquedas del tesoro con webAR*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.onirix.com/es/realidad-aumentada-web-en-mapas-geolocalizados-busquedas-del-tesoro-con-webar/>

Oracle | Cloud Applications and Cloud Platform. (s. f.). *¿Qué es la inteligencia artificial (IA)?*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.oracle.com/mx/artificial-intelligence/what-is-ai/>

Plataforma Virtual Educativa ITCA-FEPADE. (s. f.). *Diseño de la interfaz de usuario | selección de técnicas de ingeniería de software*. [Artículo en línea]. Disponible en [https://virtual.itca.edu.sv/Mediadores/stis/35\\_diseo\\_de\\_la\\_interfaz\\_de\\_usuario.html](https://virtual.itca.edu.sv/Mediadores/stis/35_diseo_de_la_interfaz_de_usuario.html)

Polhemus. (s. f.). *Polhemus is the premier precision motion tracking company*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://polhemus.com/>

Profile Software Services. (s. f.). *Qué es un algoritmo informático: características, tipos y ejemplos*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://profile.es/blog/que-es-un-algoritmo-informatico/>

QRCode Monkey. (s. f.). *El generador de código QR personalizados con Logotipo*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.qrcode-monkey.com/es/>

Ramírez, I. (2022, 21 de junio). *Google Lens a fondo: todo lo que puedes hacer con la app de reconocimiento de objetos de Google*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.xatakandroid.com/tutoriales/google-lens-a-fondo-todo-que-puedes-hacer-app-reconocimiento-objetos-google>

Ramiro, M., Ramiro, T. Bermúdez, M. (2013.). X Foro internacional sobre evaluación de la investigación y de la educación superior (FECIES). Disponible en <http://www.ugr.es/~aepc/XFORO/FECIES2013.pdf>

Red Hat. (s. f.). *¿Qué es un SDK?*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.redhat.com/es/topics/cloud-native-apps/what-is-SDK>

Rivadeneira, J. (s. f.). *Desarrollo de una aplicación de realidad aumentada, para educación y tele-educación*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://slideplayer.es/slide/1647101/>

Rock Content. (s. f.). *Realidad aumentada: ¿qué es, cómo funciona y para qué sirve?*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://rockcontent.com/es/blog/realidad-aumentada/>

Sabater, J., Saltaren, R., Ibarra-Zannatha, J., Rodriguez, L., Vivas, A., Politti, J., Serracin, J., Rubio, E. (2013). *Robótica médica – Notas prácticas para el aprendizaje de la robótica en bioingeniería*. [Artículo en línea]. Disponible en [https://www.researchgate.net/figure/Figura-19-Primera-version-de-VPL-DataGlove\\_fig44\\_287995531](https://www.researchgate.net/figure/Figura-19-Primera-version-de-VPL-DataGlove_fig44_287995531)

Salesforce.com. (s. f.). *SaaS: Qué es, características y ejemplos*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.salesforce.com/mx/saas/>

SciELO Colombia- Scientific Electronic Library Online. (s. f.). *Prototipo móvil de realidad aumentada para sistema de transporte masivo en la ciudad de Barranquilla*. [Artículo en línea]. Disponible en

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-82612015000200012](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612015000200012)

Second Life Official Site. (s. f.). *Virtual Worlds, Virtual Reality, VR, Avatars, and Free 3D Chat*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://secondlife.com/>

SpaceX. (s. f.). *SpaceX*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.spacex.com/>

Sudo Null - Latest IT News. (s. f.). *Real virtuality*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://sudonull.com/post/24592-Real-virtuality-yesterday-today-and-tomorrow>

Tesla. (s. f.). *Autos eléctricos, energía solar y limpia*. [Artículo en línea]. Disponible en [https://www.tesla.com/es\\_mx](https://www.tesla.com/es_mx)

Terra, R. (2022, 6 de enero). *Metro CDMX: PASO a PASO para ver el mapa en 3D de todas las líneas desde Instagram*. Terra México. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.terra.com.mx/tendencias/2022/1/6/metro-cdmx-paso-paso-para-ver-el-mapa-en-3d-de-todas-las-lineas-desde-instagram-22644.html>

Todo en realidad virtual. (s. f.). *Morton Heilig, padre de la realidad virtual*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://todoenrealidadvirtual.wordpress.com/2016/06/18/morton-heilig-padre-de-la-realidad-virtual/>

UNIVIDA | FUP VIRTUAL. (s. f.). *Google anuncia la llegada de kits del Proyecto Tango a 12 nuevos países*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://unividafup.edu.co/bienestar/google-anuncia-la-llegada-de-kits-del-proyecto-tango-a-12-nuevos-paises/>

UniteAR. (s. f.). *Create Augmented Reality with no coding*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.unitear.com/>

Unity. (s. f.). *Unity*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://unity.com/es>

Vuforia Developer Portal. (s. f.). *Vuforia Developer Portal*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://developer.vuforia.com/>

vGIS. (s. f.). *Leading augmented reality solutions for BIM, GIS and 3D scans*. [Artículo en línea]. Disponible en <https://www.vgis.io/>

Warren Robinett's Home Page. (s. f.). *NASA Virtual Environment Workstation*. [Artículo en línea]. Disponible en <http://warrenrobinett.com/nasa/index.html>

Wikimedia. (2008, 14 de octubre). *Google Street View*. [Artículo en línea]. Disponible en [https://es.wikipedia.org/wiki/Google\\_Street\\_View](https://es.wikipedia.org/wiki/Google_Street_View)



**COMUNICACIONES**  
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



**Km 12+000 Carretera Estatal 431 “El Colorado Galindo”**  
Parque Tecnológico San Fandila, Mpio. Pedro Escobedo,  
Querétaro, México. C.P. 76703  
Tel: +52 (442) 216 97 77 ext. 2610  
Fax: +52 (442) 216 9671

[publicaciones@imt.mx](mailto:publicaciones@imt.mx)

<http://www.imt.mx/>