

---

# **GEOAR, INTEGRACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN EN AMBIENTES DE REALIDAD AUMENTADA**

---

**Autor**

**Juan Manuel Suárez Rodríguez**

**Trabajo de grado en modalidad de investigación presentado como requisito parcial  
para optar por el título de máster en Ciencias de la Información y las  
Comunicaciones**

**Directora: Alexandra Abuchar Porras**

**Docente de Planta Universidad Distrital**

**Ingeniera de Sistemas, Especialista en Multimedia para la Docencia, Especialista en  
Docencia Universitaria, Máster en Informática Aplicada a la Educación**

**Codirectora: Sandra Yanet Velazco Flórez**

**Docente de Planta Universidad de La Salle**

**Ingeniera Civil, Especialista en Sistemas de Información Geográfica, Doctora en  
Informática**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones  
Énfasis en Geomática  
Bogotá, Colombia  
abril de 2022**

*Merci mes sœurs, merci ma mère, merci mon père,  
merci à la plus jolie femme de la terre.*

## **Agradecimientos**

---

A mi directora Alexandra Abuchar y codirectora Sandra Velazco por su tiempo, dedicación y seguimiento en cada etapa de la realización de este proyecto, obteniendo las bases teóricas y prácticas para su realización.

Al Grupo de Investigación Comercio Electrónico Colombiano (GICOECOL) y a su director José Ignacio Rodríguez por darme el apoyo, aval y viabilidad para el desarrollo de este proyecto de investigación. Al profesor Roberto Cárdenas por establecer las bases conceptuales de la investigación y orientar, enfocar y limitar el proyecto durante su etapa inicial.

A mi hermana Paola Andrea Suárez, Ingeniera Catastral y Geodesta de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y compañera de Maestría, por suministrarme las imágenes satelitales y darme las bases conceptuales para aplicar la metodología propuesta sobre estas, dando así un alcance mucho más amplio a la investigación.

A mi familia y a mi novia por las pruebas, apoyo, aportes y sugerencias realizadas en diferentes etapas del proyecto, dándome una visión más amplia del alcance de la investigación y posibles futuros escenarios de aplicación.

A las personas que me ayudaron a realizar las pruebas, a aquellos que compartieron conmigo clase, a aquellos que alguna vez preguntaron y se interesaron por mi proyecto y a todos los que directa o indirectamente estuvieron allí apoyándome. A todos mil gracias.

## Contenido

---

Lista de Figuras .....	6
Resumen .....	8
Palabras Clave .....	8
Introducción .....	9
2. Problema de Investigación.....	10
2.1 Planteamiento del Problema.....	10
2.2 Formulación del Problema .....	11
2.3 Sistematización del Problema.....	12
3. Pregunta de Investigación .....	13
4. Objetivos.....	14
4.1 Objetivo General.....	14
4.2 Objetivos Específicos .....	14
5. Justificación .....	15
6. Estado del Arte .....	16
6.1 Marco Teórico.....	16
6.2 Historia y Evolución .....	17
6.3 Realidad Aumentada Geoespacial.....	22
6.4 Marco Conceptual.....	26
6.5 Marco Espacial .....	28
7. Impacto.....	29
8. Limitaciones.....	33
9. Metodología.....	34
9.1 Colección de Datos.....	35

9.2	Procesamiento de los Datos en Software GIS .....	36
9.3	Uso de Scripts sobre los Datos Procesados .....	40
9.4	Implementación del Modelo .....	44
10.	Resultados .....	46
10.1	Análisis .....	46
10.2	Pruebas .....	46
9.2.1	Interacción en Realidad Aumentada .....	46
9.2.2	Despliegue de Imágenes Satelitales .....	48
11.	Producto Final .....	58
11.1	App GeoAR Colombia .....	58
11.2	App GeoAR Raster .....	60
12.	Conclusiones.....	62
13.	Investigaciones Futuras .....	63
14.	Referencias.....	64

## Lista de Figuras

---

Figura 1. Es posible visualizar un DEM con un Software GIS.....	11
Figura 2. Sistema de Realidad Aumentada de Sutherland. ....	18
Figura 3. Primer DataGlove en Realidad Virtual. Proyecto VIEW de la NASA.....	19
Figura 4. ARToolKit.....	20
Figura 5. Reconocimiento de marcadores con una cámara de IPad en AR.....	24
Figura 6. Vista a nivel y escala humana de un escenario inundado en Miami .....	25
Figura 7. Descomposición del Término GeoAR.....	27
Figura 8. Artículos de Realidad Aumentada Publicados anualmente en Colombia.....	30
Figura 9. Proceso Metodológico .....	34
Figura 10. Interfaz de Instalación del Plugin .....	35
Figura 11. Modelos Digitales de Elevación que cubren el área de Colombia.....	36
Figura 12. Ubicación del Geoproceso Merge en QGIS.....	37
Figura 13. Ventana de Ejecución del Geoproceso Merge.....	37
Figura 14. Resultado del Departamento de Cundinamarca con el Merge.....	38
Figura 15. Ubicación del Geoproceso Clip en QGIS.....	38
Figura 16. Ventana de Ejecución del Geoproceso Clip.....	39
Figura 17. Resultado del Departamento de Cundinamarca con el Clip.....	39
Figura 18. DEM en formato TIF de cada Departamento de Colombia Procesados.....	40
Figura 19. Plugins implementados en Unity.....	41
Figura 20. Resultado Obtenido con el Script HeightmapFromTexture .....	41
Figura 21. Resultado Obtenido con el Script TerrainObjExporter .....	42
Figura 22. Objetos 3D Correspondientes a cada Departamento Colombiano.....	42
Figura 23. Simbología Asignada al DEM y Elementos Adicionales en QGIS.....	43

Figura 24. Simbología Exportada y Usada como Textura en el Objeto 3D .....	43
Figura 25. Uso de Vuforia para Implementar AR Usando los DEM Procesados .....	44
Figura 26. Es Posible Acercarse, Alejarse o Moverse Alrededor del DEM Procesado..	44
Figura 27. Vista del DEM Procesado y Convertido a Objeto 3D en AR .....	45
Figura 28. Interacción con el DEM en AR.....	47
Figura 29. Imagen Satelital Worldview 3 Usada para Realizar Pruebas .....	48
Figura 30. Objeto 3D visto en AR de la imagen multiespectral con bandas 863 .....	50
Figura 31. Objeto 3D visto en AR de la imagen multiespectral con bandas 863 .....	51
Figura 32. Objeto 3D visto en AR de la imagen multiespectral con bandas 841 .....	52
Figura 33. Objeto 3D visto en AR de la imagen multiespectral con bandas 841 .....	53
Figura 34. Objeto 3D visto en AR de la imagen SWIR con bandas 631.....	54
Figura 35. Objeto 3D visto en AR de la imagen SWIR con bandas 631.....	55
Figura 36. Objeto 3D visto en AR de la imagen multiespectral con bandas 321 .....	56
Figura 37. Objeto 3D visto en AR de la imagen multiespectral con bandas 321 .....	57
Figura 38. AppGeoARColombia .....	58
Figura 39. Relieves de La Guajira y Magdalena en AR .....	59
Figura 40. El usuario rodea el target para rotar y se acerca al DEM para zoom. ....	59
Figura 41. AppGeoARRaster.....	60
Figura 42. El usuario rodea el target para rotar y se acerca al DEM para zoom. ....	61
Figura 43. Cambio de simbología del DEM basada en combinaciones de bandas. ....	61

## **RESUMEN**

---

Los Modelos Digitales de Elevación (DEM por sus siglas en inglés) son estructuras numéricas de datos que representan la distribución espacial de elevación, aportando información cuantitativa y continua para la visualización de variables. Por otro lado, la Realidad Aumentada es un sistema que involucra al usuario y complementa la visualización del mundo real a través de elementos virtuales. Vincular la Realidad Aumentada con los Modelos Digitales de Elevación, genera un gran aporte para la visualización, interacción y comprensión de fenómenos.

Los satélites que orbitan la tierra transmiten imágenes detalladas de la superficie terrestre, lo que permite obtener información digital con alta periodicidad de extensas zonas de territorio. ¿Qué hacer con esta cantidad de información?, uno de los usos más directos es la visualización, pero una visualización interactiva e inmersiva que facilite la interpretación y permita vincular a muchos más usuarios. Una visualización efectiva que aporta la Realidad Aumentada.

Desafortunadamente no existe una metodología que permita usar cualquier tipo de Modelo Digital de Elevación como insumo de un desarrollo de Realidad Aumentada, sin contar con herramientas ni software privativo o plantillas estándar para este fin.

En este proyecto de investigación se generó una metodología que permite vincular los Modelos Digitales de Elevación con ambientes de Realidad Aumentada, de tal forma que provee un impacto positivo en la habilidad de interpretación del relieve, de imágenes satelitales, e incluso permite realizar aplicaciones educativas o modelos de fenómenos naturales.

## **PALABRAS CLAVE**

---

Augmented Reality, Digital Elevation Models, Mobile Learning, Geographic Information Systems.



## INTRODUCCIÓN

---

La cuarta revolución industrial no se define por un conjunto de tecnologías emergentes en sí mismas, sino por la transición hacia nuevos sistemas (Schwab, 2016). La Realidad Aumentada es una tecnología emergente que presenta una transición hacia nuevos sistemas, entre estos, los Sistemas de Información Geográfica, dando origen a la Realidad Aumentada Geoespacial o GeoAR.

En este proyecto de investigación se implementó un vínculo entre los Sistemas de Información Geográfica y la Realidad Aumentada, mediante una metodología práctica y directa para convertir un Modelo Digital de Elevación en un objeto en tercera dimensión (3D) que pueda ser visualizado en Realidad Aumentada y analizar de forma interactiva e inmersiva la topografía o elevación de una superficie, abriendo una gran cantidad de posibilidades para simulaciones, comercio, gestión, análisis de riesgos, planes de desarrollo y por supuesto educación.

La modelación es el proceso mediante el cual se crea una representación de un objeto o hecho real para investigar su comportamiento, dimensionamiento o existencia. Partiendo de esta definición, este proyecto implementó un modelamiento 3D en ambientes de Realidad Aumentada de la elevación de extensas regiones de nuestro país, tomando como insumo los Modelos Digitales de Elevación del territorio colombiano.

Tanto la fidelidad del modelo, como la calidad de la textura y simbología del objeto 3D final, dependió en gran parte de la resolución espacial (mínimo nivel de detalle) del Modelo Digital de Elevación. Por lo tanto, una limitante en la calidad del producto final fue precisamente su resolución espacial. Si esta no es adecuada, posiblemente se generará un objeto 3D con relieve tosco o exagerado.

Al final, se logró visualizar Modelos Digitales de Elevación en Realidad Aumentada, de tal forma que permite ofrecer información acerca de la estructura y las relaciones que se dan allí, así como facilitar su estudio sustituyéndolo en determinadas etapas del conocimiento, y representar diferentes variables obteniendo una mejora visual e interacción respecto a una representación 2D.

## 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

---

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la evolución de sensores en los dispositivos móviles, se hace cada vez más adaptable la Realidad Aumentada de diversas formas y con muchos componentes. Por supuesto, el componente espacial no se ha quedado atrás, permitiendo interactuar con mapas y datos geográficos del entorno a través de la Realidad Aumentada. En un contexto de Sistemas de Información Geográfica, se pueden visualizar elementos tipo vector, como lo son puntos, líneas y polígonos en Realidad Aumentada. Pero desafortunadamente con los elementos tipo ráster<sup>1</sup> esta integración no es tan notoria, los datos no son de fácil obtención, el recurso computacional es mayor, y las herramientas existentes están en sectores comerciales y privados ajenos a la academia y al público en general.

Razones que hacen que la investigación y el desarrollo de la Realidad Aumentada Geoespacial se vea limitada, ocasionando que el análisis y la visualización de archivos en formato ráster dependa de los Sistemas de Información Geográfica y genere una ausencia de metodologías libres, que permita convertir un Modelo Digital de Elevación en un objeto 3D para integrarlo en ambientes de Realidad Aumentada.

La importancia de una visualización de un ráster como objeto 3D en Realidad Aumentada versus a una visualización en 2D o 3D de un ráster sin procesamiento haciendo uso de un software de Sistemas de Información Geográfica, es que el primero, a diferencia de las demás formas de visualización, permite tener interacción en 3D con un aspecto más real, mejora la comprensión y aporta información visual a problemas complejos.

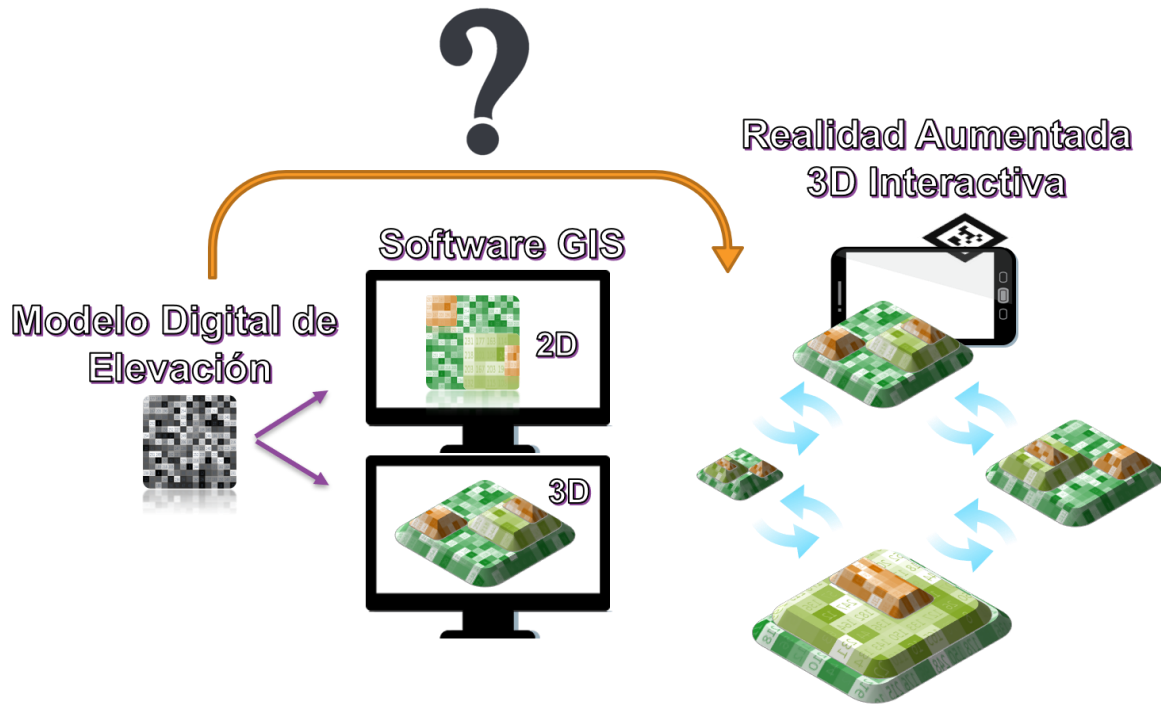
En este proyecto se implementó una metodología práctica y directa que hace uso de datos abiertos y herramientas de fácil acceso, como QGIS, Unity y Vuforia, de tal forma que

---

<sup>1</sup> Un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información. Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados.

permite integrar formatos tipo ráster como los Modelos Digitales de Elevación en Realidad Aumentada, permitiendo el desarrollo del área de estudio y la generación de un aporte técnico relacionado.

Figura 1. Es posible visualizar un DEM con un Software GIS



*El software GIS permite la visualización de elementos Raster, pero ¿cómo visualizar un raster sin usar un software GIS y mejorar su interpretación y visualización? Fuente: Elaboración Propia*

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuál sería el procedimiento para convertir los Modelos Digitales de Elevación a objetos 3D que puedan integrarse en ambientes de Realidad Aumentada, sin hacer uso de herramientas y software privativo para este fin?

### **1.3 SISTEMATIZACION DEL PROBLEMA**

- ¿Existe un formato que sirva de intermediario entre el Modelo Digital de Elevación y los ambientes de Realidad Aumentada?
- ¿Cómo usar y manipular los Modelos Digitales de Elevación obtenidos en el nuevo formato?
- ¿Se pueden desarrollar aplicaciones usando como insumo estos Modelos Digitales de Elevación previamente convertidos?

## 2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

---

¿Cuál sería el procedimiento para convertir los Modelos Digitales de Elevación a objetos 3D y que puedan integrarse en ambientes de Realidad Aumentada, sin hacer uso de herramientas y software privativo para este fin?

La extrusión es el proceso de expansión vertical de una forma 2D plana para generar una forma 3D (ESRI, n.d.-b). Por ejemplo, es posible extruir puntos para generar postes huecos, líneas para generar barreras o fronteras y polígonos para generar cajas.

Si se aplica este mismo concepto, pero no sobre elementos en formato vector, sino sobre elementos de tipo ráster como los Modelos Digitales de Elevación, podríamos extruir sus píxeles a una altura que depende del valor que posea cada uno de estos. Implementar este procedimiento en un script, de tal forma que se pueda generar un Modelo Digital de Elevación en 3D, aportaría a la integración de estos con la Realidad Aumentada.

Integrar scripts con un software modelador, facilitará la extrusión de Modelos Digitales de Elevación para su posterior conversión a objetos 3D y su integración en Realidad Aumentada.

## 3. OBJETIVOS

---

### 3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una aplicación de Realidad Aumentada Geoespacial, haciendo uso de los Modelos Digitales de Elevación

### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir Modelos Digitales de Elevación en ambientes de Realidad Aumentada.
- Convertir Modelos Digitales de Elevación a objetos 3D.
- Integrar objetos 3D a ambientes de Realidad Aumentada.

## 4. JUSTIFICACIÓN

---

El vínculo entre Realidad Aumentada y los Modelos Digitales de Elevación provee un impacto positivo en la habilidad de interpretación del relieve e incluso permite realizar modelos de fenómenos naturales, representando ciudades reales en un entorno 3D con una experiencia interactiva e inmersiva.

Debido a la evolución de los sensores en los dispositivos móviles, se hace cada vez más adaptable la Realidad Aumentada de diversas formas y con muchos componentes. Por supuesto, el componente espacial no se ha quedado atrás, permitiendo interactuar con mapas y datos geográficos del entorno a través de la Realidad Aumentada. En un contexto de Sistemas de Información Geográfica, se visualizan elementos tipo vector, como lo son puntos, líneas y polígonos en Realidad Aumentada. Pero desafortunadamente con los elementos tipo ráster esta integración no es tan notoria, los datos no son de fácil obtención, el recurso computacional es mayor, y las herramientas existentes están en sectores comerciales y privativos ajenos a la academia y al público en general.

Razones que hacen que la investigación y el desarrollo de la Realidad Aumentada Geoespacial se vea limitada, ocasionando que el análisis y la visualización de archivos en formato ráster dependa de los Sistemas de Información Geográfica y genere una ausencia de metodologías libres, que permita convertir un Modelo Digital de Elevación en un objeto 3D para integrarlo en ambientes de Realidad Aumentada.

Uno de los elementos ausentes en el desarrollo de estos ambientes inmersivos, son los datos tipo ráster como los Modelos Digitales de Elevación, ya que se requiere hacer un tratamiento previo de los datos para poder convertirlos a un objeto 3D y puedan ser usados e integrados en escenarios de Realidad Aumentada.

## 5. ESTADO DEL ARTE

---

### 5.1 MARCO TEÓRICO

Es inevitable no reconocer la popularidad que ha alcanzado la Realidad Aumentada (AR por sus siglas en inglés) en la última década, principalmente por la evolución de los teléfonos inteligentes y el uso de la tecnología en publicidad. La Realidad Aumentada proporciona una experiencia convincente, casi "mágica" que capta la atención del usuario de una manera que facilita llamar la atención sobre el mensaje de marketing. (Billinghurst, Clark, & Lee, 2014). La proliferación de dispositivos móviles y la mejora de su capacidad informática y de comunicación ha generado una serie de nuevas tecnologías (Ghouaiel, Cieutat, & Jessel, 2011), permitiendo el acceso a muchos tipos de sensores, tales como GPS, giroscopios, cámaras, acelerómetros y otros (Comport, Marchand, Pressigout, & Chaumette, 2006).

Debido a esto y a que la mayor parte de la investigación y desarrollo han tenido lugar en laboratorios militares y gubernamentales en lugar de entornos académicos o industriales (Billinghurst et al., 2014), erróneamente se piensa que AR es algo reciente, algo que nació hace poco y que conceptualmente se está formando.

AR es un sistema que permite al usuario ver el mundo real con objetos virtuales superpuestos, siendo un complemento de la realidad y dando la idea al usuario que los objetos virtuales y reales coexisten en el mismo espacio (Azuma, 1997). Dichos espacios pueden estar compuestos de objetos o información de audio o texto con los cuales el usuario puede interactuar (Badard, 2006). Desde sus inicios se ha adoptado que cualquier sistema que tenga las siguientes tres características, se considera AR: 1. Combina lo real y lo virtual, 2. es interactivo en tiempo real y 3. está registrado en tres dimensiones (Azuma, 1997).

Adicional a esto, AR es un esfuerzo realizado por científicos e ingenieros para hacer invisibles las interfaces de las computadoras y mejorar la interacción del usuario con el mundo real (Billinghurst et al., 2014). Desde la creación de las primeras computadoras ha habido un impulso para crear interfaces intuitivas, un objetivo general es hacer que la



interfaz de la computadora sea invisible y hacer que interactuar con la computadora sea tan natural como interactuar con objetos del mundo real, eliminando la separación entre lo digital y lo físico. AR es una de las primeras tecnologías que hace esto posible (Billinghurst et al., 2014), al hacer que los datos y programas sean accesibles visualmente, se proponen computadoras que se adapten al ser humano.

Con el paso del tiempo y precisamente gracias a esta evolución tecnológica, cada vez se tiene más información almacenada en enormes bases de datos y repositorios, contenido digital que se genera por segundo a grandes cantidades a nivel mundial. Por ejemplo, los satélites en órbita transmiten imágenes detalladas de la superficie terrestre, lo que permite actualizar los mapas digitales cada 16 a 20 días. Esto lleva a la siguiente pregunta: ¿cómo usar todos estos datos de manera eficiente? (Wexelblat, 1993). La visualización es una de las opciones para hacer un uso más efectivo de los datos. El objetivo de la visualización es representar los datos de manera que sean perceptibles y, por lo tanto, capaces de involucrar a los sistemas sensoriales humanos (Wexelblat, 1993).

Por lo tanto, se cuenta con una tecnología novedosa, que, aunque no es nueva, si recientemente se ha facilitado su acceso al público. Se sabe en qué consiste, qué es y su énfasis con la visualización de datos. Pero ¿qué utilidad tiene?, ¿cómo aprovechar el potencial mostrando en el mundo real información virtual?, la cantidad de sectores en los que se ha implementado la Realidad Aumentada es enorme y cada vez va más en aumento.

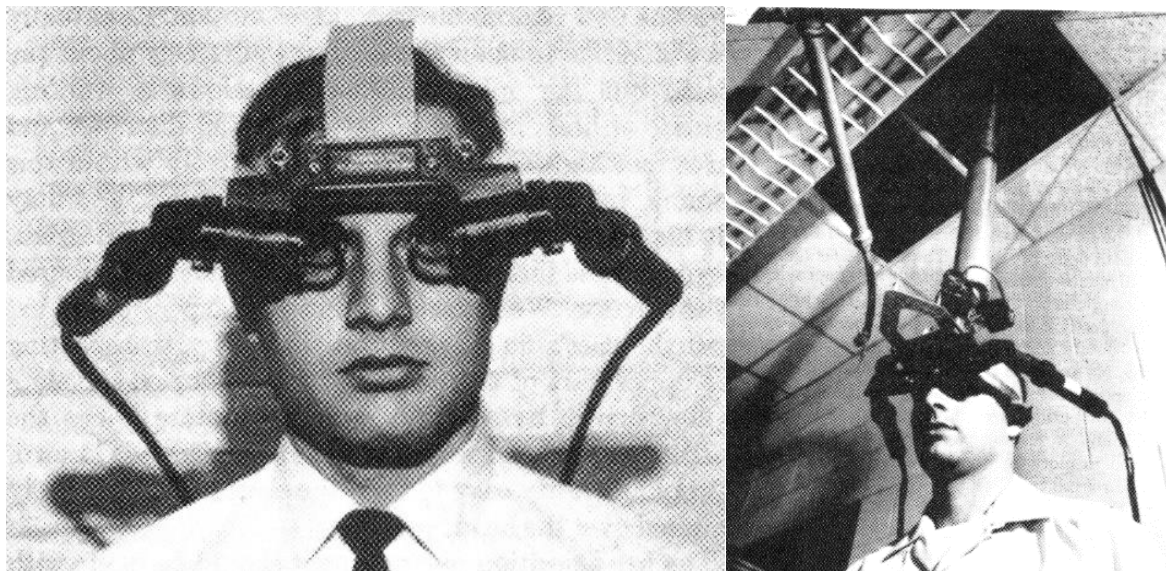
## **5.2 HISTORIA Y EVOLUCIÓN**

Como se mencionó anteriormente, la evolución tecnológica ha sido fundamental para la consolidación y acceso al público de AR, tanto el software como el hardware están cada vez más disponibles, al igual que las herramientas que permiten incluso a los no programadores crear aplicaciones AR (Billinghurst et al., 2014).

Sus orígenes se remontan a la década de los 60 donde Iván Sutherland desarrolla Sketchpad, la primera aplicación de gráficos interactivos del mundo en el MIT (Sutherland, 1963). Poco después se mudó a la Universidad de Harvard y con Bob Sproull, creó el primer

prototipo de sistema llamado Head Mounted Display (HMD) (Sutherland, 1968), sin embargo era bastante costoso, contenía muchos componentes personalizados y solo se podía mostrar un mundo virtual muy simplista.

*Figura 2. Sistema de Realidad Aumentada de Sutherland.*



*Fuente: Sutherland, 1968*

Solo fue hasta la década de los 80 y gracias a la disponibilidad de televisores LCD pequeños y baratos y máquinas de gráficos por computadora más potentes de Silicon Graphics Inc., que fue posible crear un sistema más sólido. En 1981, la National Aeronautics and Space Administration (NASA) construyó su propio HMD a partir de un casco de motocicleta y pantallas LCD sacadas de televisores Sony Watchman, además estaba conectado a un sistema de seguimiento magnético.

Este se convirtió en el proyecto VIEW (Virtual Interface Environment Workstation), el cual incorporó la primera interfaz de guante que medía los ángulos de flexión de las articulaciones de los dedos e incluía un rastreador para medir la posición y orientación de la mano ("NASA Virtual Environment Workstation," n.d.). Por lo tanto, la mano del usuario

podía interactuar con el mundo virtual: agarrar objetos virtuales o usar gestos con las manos como comandos.

*Figura 3. Primer DataGlove en Realidad Virtual. Proyecto VIEW de la NASA*



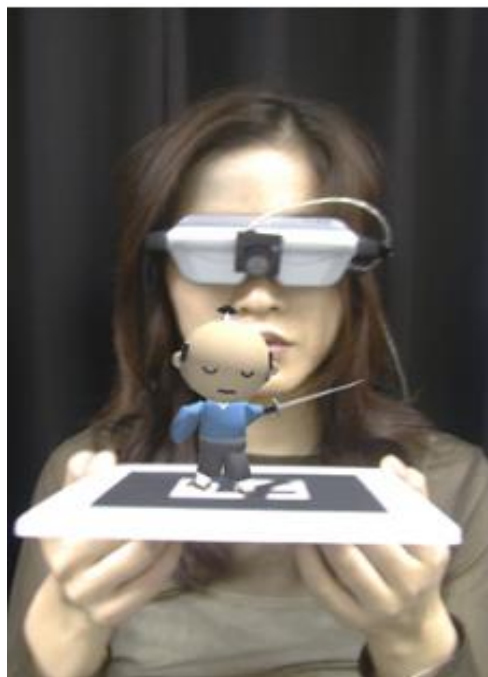
*Fuente: "NASA Virtual Environment Workstation"*

A mediados de la década de los 80 Jaron Lanier junto con Thomas Zimmerman dejan la empresa Atari para fundar "VPL Research Inc". VPL se hizo famoso por fabricar el guante DataGlove y el EyePhone HMD. Esto significaba que a fines de los años 80, las tecnologías estaban disponibles para permitir a las personas realizar investigaciones AR (Billinghurst et al., 2014) en entornos académicos e industriales.

Finalizando la década de los 90 y combinando computadoras portátiles con GPS y haciendo uso del seguimiento basado en la visión por computadora, se producen una serie de interfaces AR para mostrar información en el mundo real (Starner et al., 1997). También se demostró como usar estas mismas para ver y crear modelos CAD en exteriores (Thomas, Piekarski, & Gunther, 2001).

En 1996, Jun Rekimoto desarrolló un sistema de seguimiento de visión por computadora simple basado en un código de matriz impreso (Rekimoto, 1998). Poco tiempo después, Kato junto con Billinghurst desarrollaron la librería de seguimiento ARToolKit, que también proporcionaba un seguimiento de visión por computadora en tiempo real de un marcador cuadrado (Kato & Billinghurst, 1999). ARToolKit fue importante porque resolvió dos problemas fundamentales; 1. Rastrea el punto de vista del usuario, 2. Permitía la interacción con objetos del mundo real. ARToolKit se lanzó como software de código abierto en 2000 y se convirtió en una de las librerías AR más utilizadas, lo que hace que sea mucho más fácil para los investigadores y desarrolladores realizar sus propias aplicaciones AR (Billinghurst et al., 2014). ARToolWorks se estableció en 2001 para comercializar el software ARToolKit y se convirtió en la primera compañía AR enfocada en probar herramientas para desarrolladores. (Billinghurst et al., 2014).

*Figura 4. ARToolKit*



*Fuente: Kato, Billinghurst, Poupyrev, Imamoto, & Tachibana, 2000*

Todos estos avances permitieron abrir cada vez más y nuevos espacios académicos y de investigación. Fue así que en 1998 comenzó la primera conferencia de investigación dedicada a AR, el Taller Internacional IEEE/ACM sobre AR (IWAR), y el Simposio Internacional sobre AR (ISAR) en 2000 (Billinghurst et al., 2014), permitiendo la socialización, publicación e investigación científica y académica.

En 1997 los teléfonos móviles recibieron las primeras cámaras, generando nuevos retos e investigación en temas de AR, fue allí cuando Möhring y Bimber demostraron la primera aplicación AR basada en teléfonos móviles en 2004 (Möhring, Lessig, & Bimber, 2004).

AR basado en Flash surgió a finales del 2008 cuando Adobe agregó soporte de cámara a su popular plataforma Flash. Un par de desarrolladores japoneses apodados Sqoosha y Nyatla portaron la biblioteca ARToolKit a Flash creando FLARToolKit, y por primera vez las personas pudieron tener una experiencia AR desde sus navegadores web (Billinghurst et al., 2014), esto condujo a una gran cantidad de experiencias AR basadas en la web.

El lanzamiento del iPhone en 2007 proporcionó una plataforma de teléfono inteligente que era fácil de desarrollar, con un procesador lo suficientemente rápido para el seguimiento de la visión por computadora en tiempo real y potentes gráficos en 3D. Sin embargo, fue el lanzamiento del primer teléfono Android en octubre de 2008 lo que proporcionó un impulso significativo al AR móvil (Billinghurst et al., 2014). Android combinó la cámara y los gráficos con los sensores de GPS y brújula, creando la plataforma perfecta para AR al aire libre. Aprovechando esta plataforma, la compañía austriaca Mobilizy lanzó Wikitude a finales de 2008. Wikitude permitió a los usuarios ver etiquetas virtuales superpuestas en vivo en el mundo real, brindando información sobre puntos de interés que los rodean (Billinghurst et al., 2014). Desde entonces, se han lanzado una serie de otras plataformas AR, como Sekai Camera, Junaio y Layar, y han sido utilizados por decenas de millones de personas.

Actualmente los usuarios pueden acceder fácilmente a la tecnología, que va desde la web, hasta teléfonos inteligentes o incluso gafas con visores como Google Glass. Es más sencillo desarrollar aplicaciones AR con librerías gratuitas disponibles como ARToolKit y Qualcomm's Vuforia, y herramientas que hacen posible que incluso los no programadores creen experiencias AR (Billinghurst et al., 2014).

En resumen, la historia de la investigación y el desarrollo de AR se puede dividir en cuatro fases (Billinghurst et al., 2014), así: 1. Pre 80: Experimentación temprana que ayuda a definir e concepto AR y muestra los tipos de tecnología que requieren. 2. 1980 - 1990, Investigación Básica: Investigación sobre posibles tecnologías como el seguimiento, las pantallas y los dispositivos de entrada. 3. 1990 - 2007, Herramientas, Aplicaciones: Uso de tecnologías de AR para desarrollar aplicaciones y explorar técnicas de interacción, usabilidad y diseño. 4. 2007 a la Actualidad, Aplicaciones Comerciales: AR disponible en varias áreas de aplicaciones como juegos, medicina, dispositivos móviles y marketing.

Aún quedan varios elementos por desarrollar y afinar, el uso de la nube para implementar servicios web o servicios de procesamiento para AR (Badard, 2006), facilitar la navegación y la precisión en ambientes interiores, vincularlo con nuevos sectores o tecnologías o incluso el acceso a hologramas que ya bastante bien se vio con el presentador virtual de CNN ("CNN Hologram TV First - YouTube," n.d.). Así mismo como se ha observado, la evolución constante de los recursos computacionales tanto de portátiles como móviles, han permitido acceder cada vez más fácil a AR, e implementarla en diversos campos y sectores.

### **5.3 REALIDAD AUMENTADA GEOESPACIAL**

Las tecnologías de interfaz avanzadas como AR y los modos de interacción con esta, son importantes debido a que pueden cambiar la forma en que adquirimos conocimiento espacial (Hedley, Billinghurst, Postner, May, & Kato, 2002). Esto es especialmente importante ya que estas tecnologías emergentes emplean diferentes mecanismos por los cuales las personas interactúan con información espacial visual y adquieren conocimiento (Hedley et al., 2002).

Los Sistemas de Información Geográfica (GIS por sus siglas en inglés) son una nueva área emergente de aplicación de AR que admite la manipulación y el énfasis de los datos dentro de un marco geográfico. Por ejemplo, un GIS permite analizar posibles sitios para nuevas ubicaciones de negocios, lo que se conoce como Geomarketing. Tal análisis podría involucrar la visualización de información demográfica con información geográfica, añadir esto en un entorno AR y el usuario no solo puede tomar decisiones en términos de la

demografía, sino que puede visualizar físicamente el sitio en 3D apoyado en Realidad Aumentada Geoespacial. A esto se abren muchas posibilidades, tales como, agregar información básica sobre los edificios circundantes, ver la ubicación y orientación del sitio, combinar datos de tráfico o tipos de construcciones. El usuario no solo podrá visualizar todo esto, sino que los empresarios, financieros, empleados y consultores también pueden evaluar y examinar los sitios que se están considerando (Wexelblat, 1993).

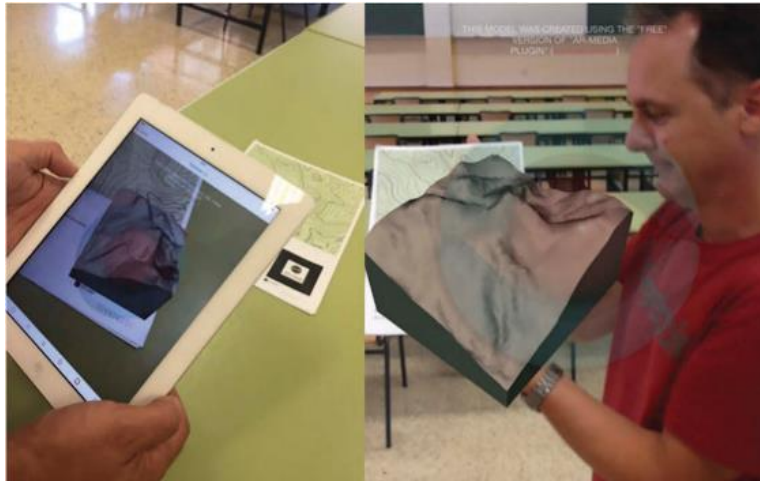
Otros de los posibles usos de la Realidad Aumentada Geoespacial, son aplicaciones de ayuda a la navegación para las personas al aire libre. Estas personas podrían ser soldados que avanzan hacia su objetivo, excursionistas perdidos en el bosque o turistas que buscan direcciones para llegar a su destino previsto. Hoy, estos individuos deben sacar un mapa físico o un dispositivo móvil donde esté almacenada la cartografía y asociar lo que ven en el entorno real que los rodea con las marcas en el mapa 2D (Azuma, 1997). Un diseñador urbano podría mostrar a los clientes cómo se vería un nuevo estadio mientras caminan por la zona cercana, para comprender mejor cómo el proyecto del estadio afectaría a los residentes cercanos (Azuma, 1997).

Los satélites que orbitan la tierra transmiten imágenes detalladas de la superficie terrestre, lo que permite obtener información digital con alta periodicidad de extensas zonas de territorio, mientras que la Realidad Aumentada facilita la visualización de manera efectiva este tipo de información. La Teledetección puede detectar una gran variedad de condiciones ambientales y fenómenos naturales, tales como, sequías, detección de efectos por cambio climático, deficiencias en la planificación y control poblacional, o los Modelamientos Digitales de Elevación. Ser capaz de usar Realidad Aumentada y obtener una visión general de grandes superficies de territorio puede ser de gran utilidad en el manejo de tierras agrícolas y de distribución, control en la propagación de enfermedades o toma de decisiones sobre la asignación de recursos en tiempos de sequía u otras crisis ambientales (Wexelblat, 1993).

Investigaciones previas relacionadas con la visualización DEM en AR, encontraron un impacto positivo en la habilidad de interpretación del relieve en estudiantes, mostrando el potencial de esta innovadora herramienta de enseñanza (Carbonell Carrera & Bermejo Asensio, 2017); esto se desarrolló haciendo uso ARPlugin for SketchUp ("AR-media," n.d.) y cinco modelos diferentes cada uno con su respectivo marcador impreso que debe ser

escaneado con la cámara de un iPad. Gracias a este estudio se encontró un impacto positivo en la habilidad de interpretación del relieve en estudiantes, mostrando el potencial de esta innovadora herramienta de enseñanza.

*Figura 5. Reconocimiento de marcadores con una cámara de iPad en AR*



*Fuente: Carbonell Carrera & Bermejo Asensio, 2017.*

También se realizaron modelos animados de inundaciones, representando ciudades reales en un entorno 3D con una experiencia interactiva e inmersiva (Reyes & Chen, 2017). Para esto, se importaron datos LIDAR en Blender (“Blender,” n.d.) y con ayuda del módulo BlenderGIS (Domlysz, 2016) se crea una superficie 3D que posteriormente será importada al software Unity (“Unity,” n.d.). Allí usando Object2Terrain (Haines, 2014a) se le da la forma deseada al terreno y se agregan construcciones de OSM (“OSM2World,” n.d.). En este estudio se concluye que se puede ayudar a los usuarios a estudiar los desastres pasados, así como los posibles eventos de previstos.



Figura 6. Vista a nivel y escala humana de un escenario inundado en Miami



Fuente: Reyes & Chen, 2017

Aunque no se explica el paso a paso metodológico para obtener el resultado GeoAR, estas investigaciones hacen uso de herramientas privativas o datos LIDAR que son de difícil acceso, además es un insumo costoso computacionalmente. Sin embargo, el producto final es muy realista y llamativo, y las conclusiones aportan enormemente al área de investigación.

La aplicación y utilidad de AR en los GIS y DEM tiene un amplio abanico de opciones y desafíos, entender y visualizar datos espaciales en 3D en un marco geográfico, dotaría de un amplio entendimiento sobre fenómenos y modelos.

Como se puede apreciar, GeoAR surgió principalmente gracias a la integración de AR con GIS y/o DEM, ya que estos dos aportan el componente geoespacial y facilitan su manipulación y visualización. Una integración que cada vez toma más fuerza y utilidad debido a la flexibilidad de diferentes herramientas que hacen posible esto. En este proyecto de investigación se implementó una nueva metodología práctica y directa para convertir un DEM a un objeto 3D, y sobre todo con datos de fácil acceso.

## **5.4 MARCO CONCEPTUAL**

Realidad Aumentada (AR): sistema que permite al usuario ver el mundo real con objetos virtuales superpuestos, siendo un complemento de la realidad y dando la idea al usuario que los objetos virtuales y reales coexisten en el mismo espacio (Azuma, 1997). Dichos espacios pueden estar compuestos de objetos o información de audio o texto con los cuales el usuario puede interactuar (Badard, 2006). Desde sus inicios se ha adoptado que cualquier sistema que tenga las siguientes tres características, se considera AR: 1. Combina lo real y lo virtual, 2. es interactivo en tiempo real y 3. está registrado en tres dimensiones (Azuma, 1997).

Sistemas de Información Geográfica (GIS): de la misma forma que los textos han pasado del papel al ordenador (antes leíamos libros, ahora podemos leer libros digitales o páginas web), los mapas también han dado ese salto cualitativo con la aparición de los GIS. Sin embargo, el GIS es mucho más que una nueva forma de cartografía, GIS es un sistema que integra tecnología informática, personas e información geográfica (Olaya, 2011), y cuya principal función es capturar, analizar, almacenar, editar y representar datos georreferenciados (Korte, 2001)

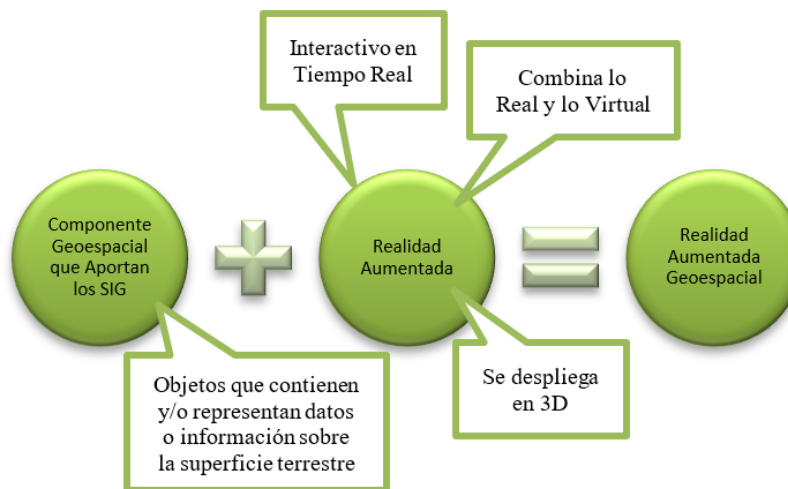
Formato Ráster: es una matriz de celdas o píxeles organizadas en filas y columnas, en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los ráster son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, modelos digitales o incluso mapas escaneados (ESRI, n.d.-a).

Modelo Digital de Terreno (DTM): estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua (Felicísimo, 1994). El tipo de DTM más conocido es el Modelo Digital de Elevación (DEM), un caso particular en el que la variable representada es la cota del terreno en relación con un sistema de referencia concreto.

Simulación: proceso de diseñar y desarrollar un modelo computarizado de un sistema o proceso y conducir experimentos con este modelo con el propósito de entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias con las cuales se pueda operar el sistema (Coss Bu, 2015).

Realidad Aumentada Geoespacial (GeoAR): es importante entender el adjetivo geoespacial, definido por diferentes fuentes así: Perteneciente o relacionado con la posición relativa de las cosas en la superficie de la tierra<sup>2</sup>. Relacionado a la información que identifica dónde se encuentran las características particulares en la superficie de la tierra, como los océanos y las montañas<sup>3</sup>. Perteneciente o relacionado con el análisis de datos geográficos de múltiples fuentes y tecnologías, utilizando métodos estadísticos y, a menudo, resultando en la visualización por computadora de las ubicaciones bajo estudio<sup>4</sup>. Perteneciente o relativo a una ubicación geográfica, especialmente datos<sup>5</sup>. El común denominador de cada definición es: “perteneciente o relacionado con la ubicación de los datos o información sobre la superficie terrestre”, incluso una definición habla del análisis y la visualización por computadora. Por lo tanto, y basados en la definición inicial de AR, GeoAR se puede definir como un “sistema que permite al usuario ver el mundo real con objetos virtuales superpuestos, objetos que contienen y/o representan datos o información sobre la superficie terrestre, identificando donde se encuentran las características particulares”.

Figura 7. Descomposición del Término GeoAR



Fuente: Elaboración Propia

<sup>2</sup> <https://www.dictionary.com/browse/geospatial>

<sup>3</sup> <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles/geospatial>

<sup>4</sup> <https://www.thefreedictionary.com/geospatial>

<sup>5</sup> <https://wikidiff.com/geographic/geospatial>

## **5.5 MARCO ESPACIAL**

De acuerdo con el planteamiento del problema y los objetivos propuestos, la investigación se enmarcó espacialmente en el territorio colombiano.

Se hizo uso de los Modelos Digitales de Elevación que cubren el territorio colombiano y se convirtieron a objetos 3D que pueden ser usados en ambientes de Realidad Aumentada.

La metodología implementada es satisfactoria, se convirtieron alrededor de 130 archivos en formato ráster que representan los Modelos Digitales de Elevación a 32 objetos 3D que representan cada uno de los departamentos colombianos y pueden ser usados en ambientes de inmersión de Realidad Aumentada.

## 6. IMPACTO

---

Al recordar la historia de AR, se recalca que el primer prototipo de sistema de Realidad Aumentada se creó en la década de los 60, el primer DataGlove se creó en los 80, la librería de código abierto ARToolKit se lanzó en el 2000 y desde el 2001 se empezó a usar AR con los Llamados MagicBook. ¿Y mientras tanto en Colombia, cuando se empezó a conocer de AR en el país?, ¿será que es una tecnología nueva, o, por el contrario, es algo antiguo pero que solamente hasta hace un par de años se empezó a conocer?, ¿se ha investigado AR en Colombia?

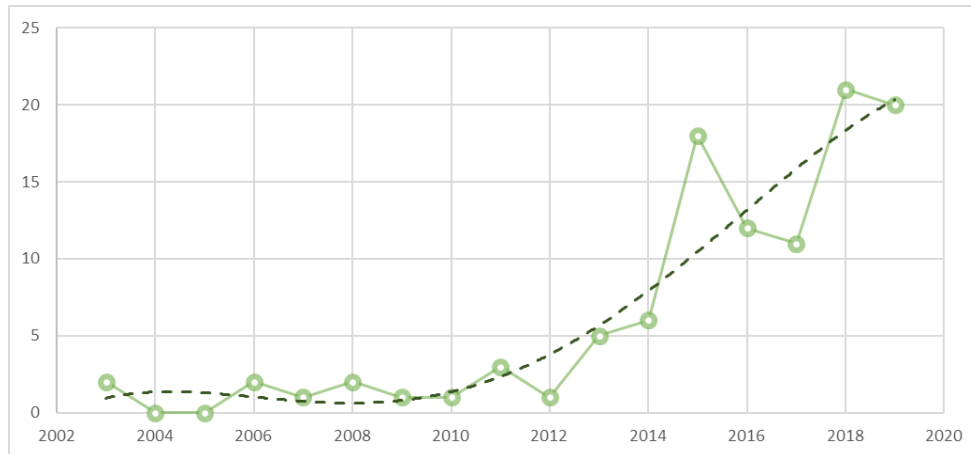
Si se tiene de referencia que entre 1990 al 2007 se hizo uso libre y abierto de tecnologías de AR para desarrollar aplicaciones y explorar técnicas de interacción, usabilidad y diseño, Colombia no está tan alejada del escenario AR a nivel mundial. En el 2003 y 2006 aparecen las primeras investigaciones AR en el país, investigaciones relacionadas con persistencia de objetos en interiores (Gutiérrez, Márquez, & Trefftz, 2003), sistemas adaptativos para realidad mixta (Orozco, Esteban, & Trefftz, 2006) e incluso ambientes que sirvan de soporte para la enseñanza de cálculo multivariado (Orozco et al., 2006). Varias de estas, se empezaron a realizar por parte de la Universidad EAFIT<sup>6</sup> gracias a su Laboratorio de Realidad Virtual.

Sin embargo, si se tiene de referencia la cantidad de publicaciones científicas realizadas, Colombia tiene una enorme desventaja frente a países como Estados Unidos que tiene más de 5.000 publicaciones; Alemania y Japón con más de 2.000 cada uno; y China, Italia y Francia con más de 1.000 publicaciones; Colombia escasamente alcanza un poco más de 100 publicaciones en esta área iniciando desde el año 2003, pero mostrando un crecimiento exponencial en la investigación desde el año 2015 (Díaz, Hincapié, & Moreno, 2015) (Encarnação et al., 2014).

---

<sup>6</sup> Siglas de Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico. Es una universidad colombiana cuyo campus principal se encuentra en El Poblado, al sur de Medellín

Figura 8. Artículos de Realidad Aumentada Publicados anualmente en Colombia.



Se observa la tendencia creciente desde el 2015. Se espera seguir aportando al desarrollo del área de estudio. Fuente: Elaboración Propia usando información del portal SCOPUS<sup>7</sup>.

Junto a la Universidad EAFIT, universidades como la Universidad del Cauca FIET<sup>8</sup> (Aguilera, Alarcón, Guerrero, & Collazos, 2006) y la Universidad Militar Nueva Granada<sup>9</sup> (Araque, Díaz, Pérez-Gutiérrez, & Uribe, 2011) son algunas de las pioneras en investigación y número de publicaciones AR realizadas, aportando investigaciones académicas que incrementan el interés y abren el camino a futuros investigadores en campos como Ciencias de la Computación, Ingeniería, Matemáticas y Ciencias Sociales.

---

<sup>7</sup> Scopus es una de las mayores bases de datos de resúmenes y citas de literatura revisada por pares: revistas científicas, libros y actas de congresos

<sup>8</sup> La Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones (FIET), es una unidad académica ampliamente reconocida como pionera y líder a nivel nacional y latinoamericano en la formación integral en las áreas de Informática, Telecomunicaciones, Telemática, Electrónica y Automatización Industrial. Está ubicada en Popayán, Cauca.

<sup>9</sup> La Universidad Militar Nueva Granada es una universidad del orden nacional con régimen orgánico especial, su sede principal se encuentra en la ciudad de Bogotá

Adicionalmente, desde 1947 Colombia hace parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura – UNESCO<sup>10</sup>, organización internacional con sede en París, Francia, y que tiene programas como observatorios de estructuras educativas, foros de educación secundaria, redes, sistemas de información, estudios, institutos, centros, entre otros (“UNESCO - ...:Ministerio de Educación Nacional de Colombia:::,” n.d.), y por lo tanto un fuerte vínculo con tecnologías móviles como AR.

La UNESCO en el 2013 publicó unas directrices para las políticas de aprendizaje móvil (Unesco, 2013), políticas que también enmarcan el desarrollo y evolución de AR a nivel Colombia, además de proponer nuevos esquemas para implementar este tipo de tecnologías en la academia e impulsar el conocimiento y el desarrollo educativo.

Con esto se visualiza un futuro bastante prometedor de AR en Colombia, aún queda por investigar y aplicar en temas como medicina, astronomía, física, psicología, química, entre otros. Así mismo, aprovechar el escenario mundial actual donde la tecnología móvil es un instrumento poderoso que puede brindar un apoyo pedagógico de diversos modos.

La metodología implementada para pasar de un Modelo Digital de Elevación a un objeto 3D, abre la posibilidad a que muchos más investigadores e incluso usuarios ajenos a la programación o a los Sistemas de Información Geográfica se interesen en la Realidad Aumentada Geoespacial y puedan hacer uso de una gran variedad de recursos e insumos para desarrollar sus propios proyectos. Aportando en la formación de nuevos investigadores y fortaleciendo el escenario de Realidad Aumentada del país.

Este proyecto de investigación aporta una metodología práctica y directa que permite convertir un Modelo Digital de Elevación en un objeto 3D, documentado y ejemplificado para que pueda ser replicado, utilizado, referenciado o mejorado por otros investigadores.

La metodología permitió convertir alrededor de 130 archivos en formato ráster que representan los Modelos Digitales de Elevación a 32 objetos 3D que representan cada uno de los departamentos colombianos y pueden ser usados en ambientes de inmersión de

---

<sup>10</sup> United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

Realidad Aumentada. Finalmente se logró desarrollar una aplicación de Realidad Aumentada Geoespacial.

Este proyecto también abre las puertas para que se vislumbre la posibilidad de implementar GeoAR en otras áreas o sectores, haciendo un aporte académico y técnico, al usar tecnologías emergentes, interactivas y novedosas como la Realidad Aumentada. Así como poder integrar la Realidad Aumentada Geoespacial en otros sectores y campos de investigación.



## 7. LIMITACIONES

---

Debido a que la mayor parte de la investigación y desarrollo de la Realidad Aumentada han tenido lugar en laboratorios militares y gubernamentales en lugar de entornos académicos o industriales (Billinghurst et al., 2014), erróneamente se piensa que la Realidad Aumentada es algo reciente y mucho más aun cuando se le agrega el componente geoespacial que proveen los Sistemas de Información Geográfica.

Procesar, almacenar y visualizar datos en formato ráster como los Modelos Digitales de Elevación o las imágenes satelitales requieren un recurso computacional adicional, y la mayoría de las herramientas existentes están en sectores comerciales y privativos ajenos a la academia y al público en general. Adicionalmente, la obtención de los datos no es tan fácil en muchas ocasiones y se requiere un conocimiento técnico importante.

Estas razones hacen que la investigación y el desarrollo de la Realidad Aumentada Geoespacial con un enfoque ráster se vea limitada, ocasionando que el análisis y la visualización de archivos en este formato dependa de los Sistemas de Información Geográfica y genere una ausencia de metodologías libres, que permita convertir un Modelo Digital de Elevación en un objeto 3D para integrarlo en ambientes de Realidad Aumentada

Por otro lado la metodología propuesta tiene como limitación la resolución espacial y tamaño de los Modelos Digitales de Elevación o imágenes satelitales, esto afecta la calidad final del objeto 3D a obtener.

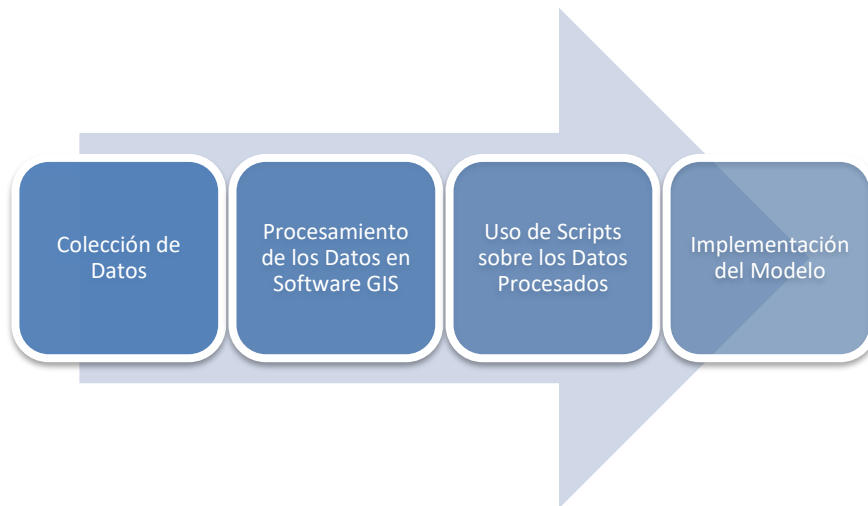
## 8. METODOLOGÍA

---

El proceso metodológico implementado concluye en la obtención de Objetos 3D que representan la geografía y el relieve colombiano, es decir, concluye en la obtención de un modelo o simulación que permite representar diferentes variables en GeoAR ganando una mejora visual e interacción respecto a una representación 2D.

Las etapas para realizar un estudio de simulación están definidas como: definición del sistema, formulación del modelo, colección de datos, implementación del modelo, validación, experimentación, interpretación y documentación (Coss Bu, 2015). Usando esas etapas de referencia, la metodología implementada en este proyecto consta de 4 etapas muy bien definidas y diferenciadas entre sí: colección de los datos, procesamiento de los datos en Software GIS, uso de scripts sobre los datos procesados e implementación del modelo.

*Figura 9. Proceso Metodológico*



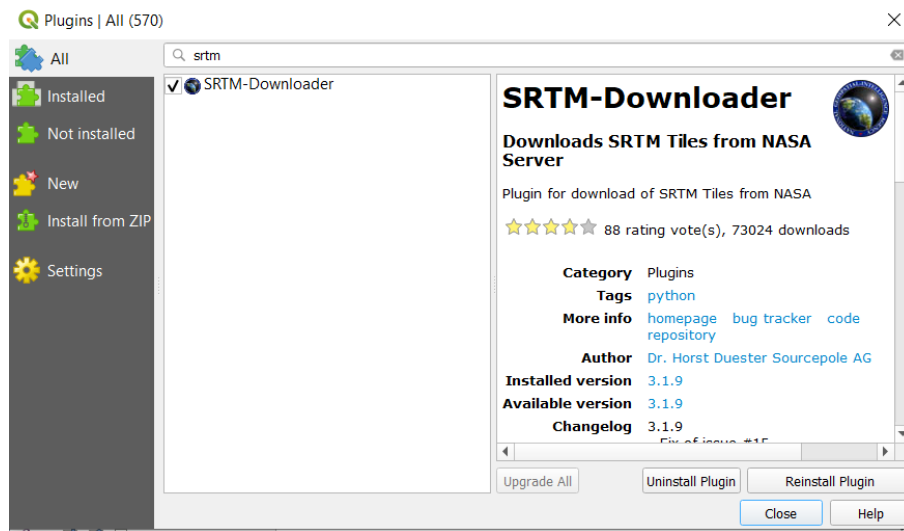
*Fuente: Elaboración Propia*

A continuación, se describe en detalle cada una de las etapas descritas previamente.

## 8.1 COLECCIÓN DE DATOS

Se usó el software GIS QGIS para instalar el plugin SRTM-Downloader<sup>11</sup>. Este es un plugin que permite descargar múltiples Modelos Digitales de Elevación sin necesidad de recurrir a descargas individuales en la página web de la NASA<sup>12</sup>.

Figura 10. Interfaz de Instalación del Plugin



Fuente: Elaboración Propia

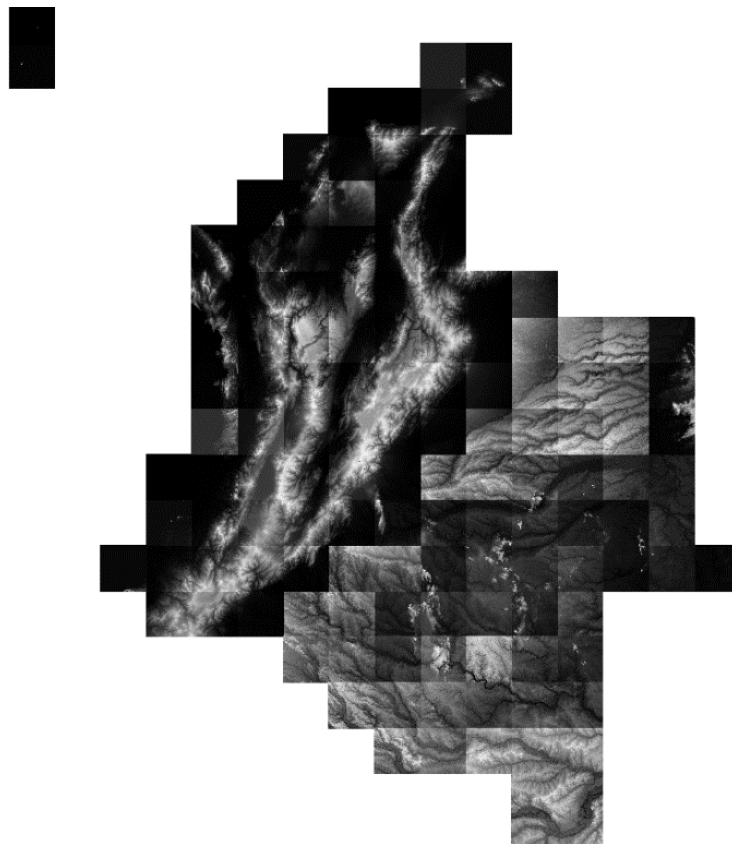
Antes de ejecutar el plugin, es importante definir al área de estudio sobre la cual se descargarán automáticamente los Modelos Digitales de Elevación. Así que se usó un archivo que representa la extensión geográfica de Colombia para definir este límite. De esta forma se obtiene los DEM que cubren la extensión de Colombia, e incluso se puede replicar para descargar archivos DEM de cualquier zona geográfica.

---

<sup>11</sup> Plugin para descargar Tiles SRTM de la NASA - <https://github.com/hdus/SRTM-Downloader>

<sup>12</sup> <https://earthdata.nasa.gov/>

Figura 11. Modelos Digitales de Elevación que cubren el área de Colombia



Fuente: Elaboración Propia

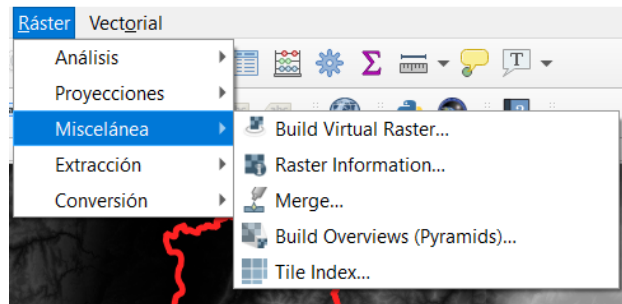
## 8.2 PROCESAMIENTO DE LOS DATOS EN SOFTWARE GIS

Se procesaron los datos y se obtuvieron 134 archivos DEM en formato HGT. Al contar con esta cantidad de ráster que cubren diferentes zonas de Colombia, se hizo necesario “unir” y “cortar” ráster para obtener un solo Modelo Digital de Elevación por departamento. Se usaron los geoprocursos Merge y Clip sobre la información ráster para este fin.

La función Merge representa una colección agrupada o fusionada de ráster. Se usa al tener varios ráster que se desea tratar como un único elemento, por ejemplo, para calcular las mismas estadísticas para todos, o al realizar un balance de color para no tener que hacerlo

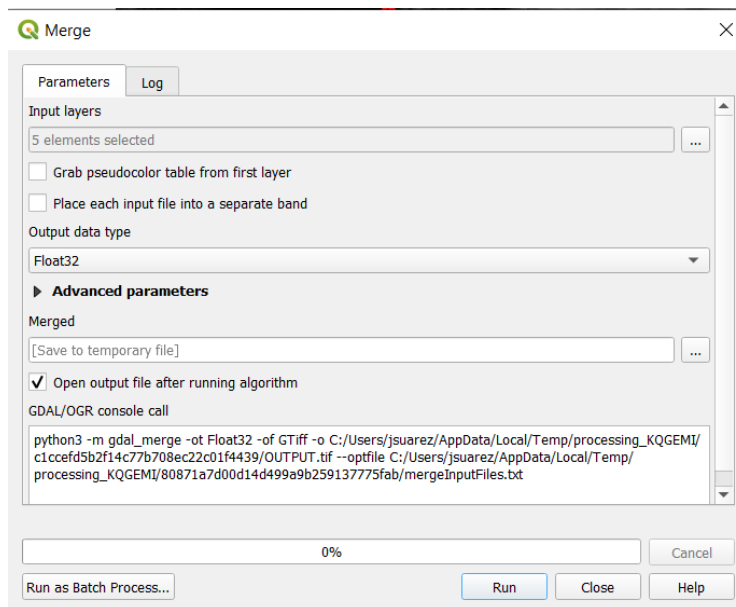
en cada imagen por separado (“Merge Raster Function,” n.d.). En este caso, para obtener un DEM por departamento que se servirá de base en la obtención de un Objeto 3D.

Figura 12. Ubicación del Geoproceso Merge en QGIS



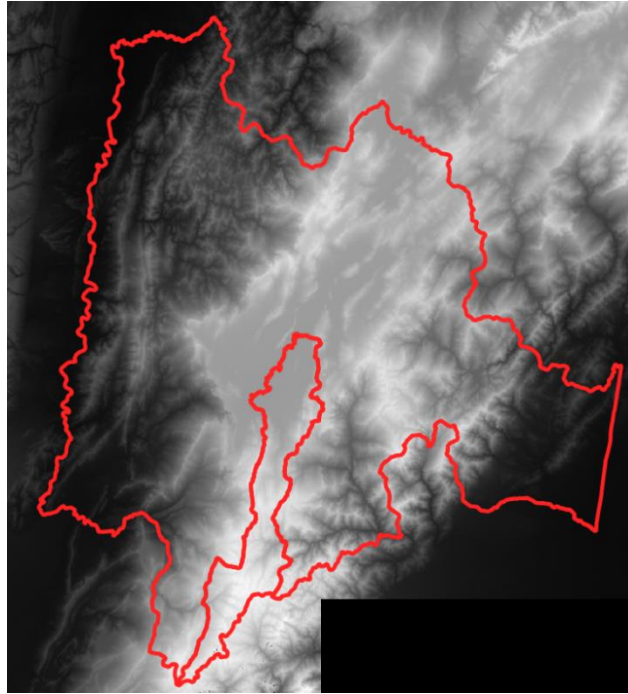
Fuente: Elaboración Propia

Figura 13. Ventana de Ejecución del Geoproceso Merge



Fuente: Elaboración Propia

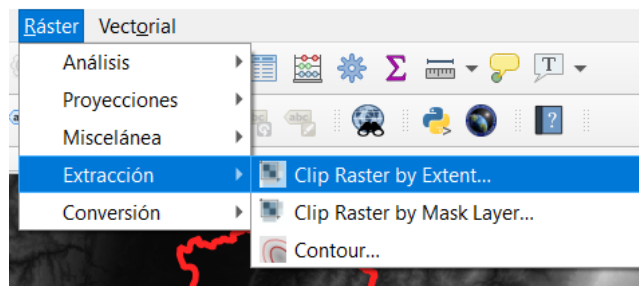
Figura 14. Resultado del Departamento de Cundinamarca con el Merge



Fuente: Elaboración Propia

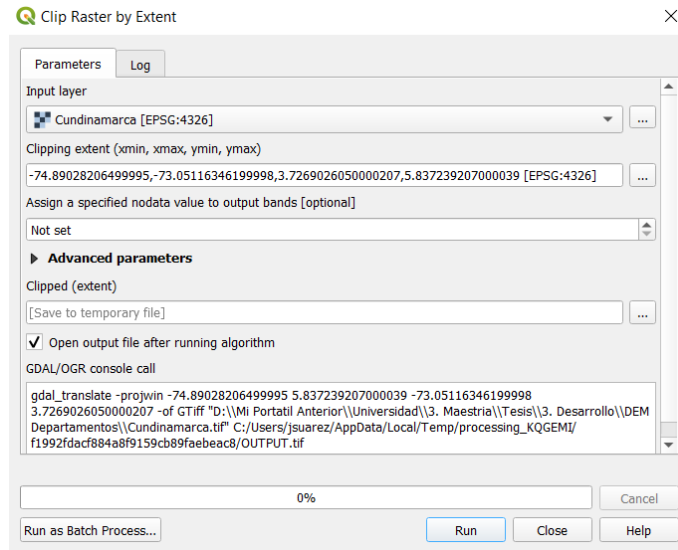
Una vez resumidos los 134 DEM en solo 32, uno por departamento, se usó el geoproceso Clip. El geoproceso Clip recorta cualquier ráster mediante una capa de máscara vectorial ("Clip Raster by Mask Layer," n.d.) y permite darle la forma y silueta del departamento.

Figura 15. Ubicación del Geoproceso Clip en QGIS



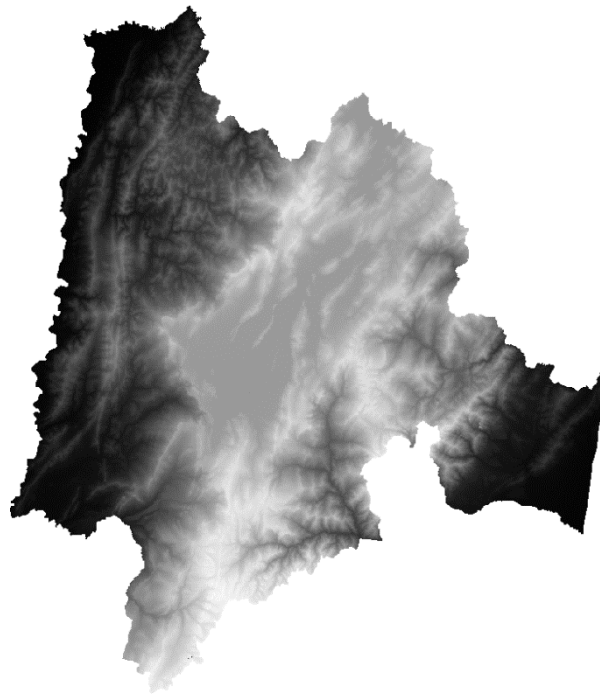
Fuente: Elaboración Propia

Figura 16. Ventana de Ejecución del Geoproceso Clip



































Fuente: Elaboración Propia

Figura 17. Resultado del Departamento de Cundinamarca con el Clip



Fuente: Elaboración Propia

Figura 18. DEM en formato TIF de cada Departamento de Colombia Procesados

 Amazonas_Clip Archivo TIF 1,04 GB	 Antioquia_Clip Archivo TIF 559 MB	 Arauca_Clip Archivo TIF 155 MB	 Atlantico_Clip Archivo TIF 23,3 MB	 Bolívar_Clip Archivo TIF 385 MB
 Boyaca_Clip Archivo TIF 322 MB	 Caldas_Clip Archivo TIF 62,8 MB	 Cauqueta_Clip Archivo TIF 904 MB	 Casanare_Clip Archivo TIF 323 MB	 Cauca_Clip Archivo TIF 289 MB
 Cesar_Clip Archivo TIF 198 MB	 Choco_Clip Archivo TIF 431 MB	 Córdoba_Clip Archivo TIF 179 MB	 Cundinamarca_Clip Archivo TIF 191 MB	 Guainía_Clip Archivo TIF 578 MB
 Guaviare_Clip Archivo TIF 411 MB	 Huila_Clip Archivo TIF 253 MB	 La Guajira_Clip Archivo TIF 260 MB	 Magdalena_Clip Archivo TIF 169 MB	 Meta_Clip Archivo TIF 628 MB
 Nariño_Clip Archivo TIF 250 MB	 Norte de Santander_Clip Archivo TIF 194 MB	 Putumayo_Clip Archivo TIF 349 MB	 Quindío_Clip Archivo TIF 16,4 MB	 Risaralda_Clip Archivo TIF 43,5 MB
 San Andres y Providencia_Clip Archivo TIF 17,4 MB	 Santander_Clip Archivo TIF 246 MB	 Sucre_Clip Archivo TIF 123 MB	 Tolima_Clip Archivo TIF 197 MB	 Valle del Cauca_Clip Archivo TIF 179 MB
 Vaupes_Clip Archivo TIF 477 MB	 Vichada_Clip Archivo TIF 650 MB			

Fuente: Elaboración Propia

### 8.3 USO DE SCRIPTS SOBRE LOS DATOS PROCESADOS

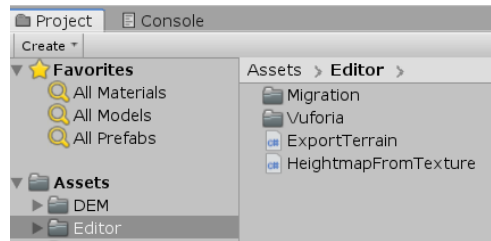
Se obtuvieron 32 DEM, uno por cada departamento de Colombia en formato TIF, y como la finalidad de estos es poder mostrarlos en ambientes de Realidad Aumentada, se hace necesario usar software modelador y de desarrollo de ambientes de este tipo. Para tal fin usamos Unity.

Usando el software Unity se hizo uso de dos scripts que permiten realizar el procedimiento deseado, estos son:

- HeightmapFromTexture plugin desarrollado en JavaScript (Haines, 2012) por Eric Haines y transcrito a C# (Lesmasa, 2017) por “lesmasamuray”.
- TerrainObjExporter (Haines, 2014b) plugin desarrollado en JavaScript por Eric Haines y transcrito a C# por Yun Kyu Choi



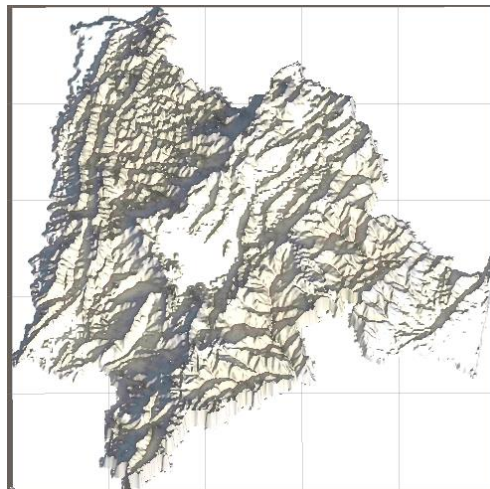
Figura 19. Plugins implementados en Unity



Fuente: Elaboración Propia

Los plugin se importaron e implementaron en un proyecto de Unity, proyecto en el cual se importaron también los 32 DEM procesados previamente. Allí se creó un elemento Terrain<sup>13</sup> y sobre este se ejecutó el Script HeightmapFromTexture. Este script moldea el terrain y le da la forma del DEM seleccionado con un proceso similar al de extrusión.

Figura 20. Resultado Obtenido con el Script HeightmapFromTexture



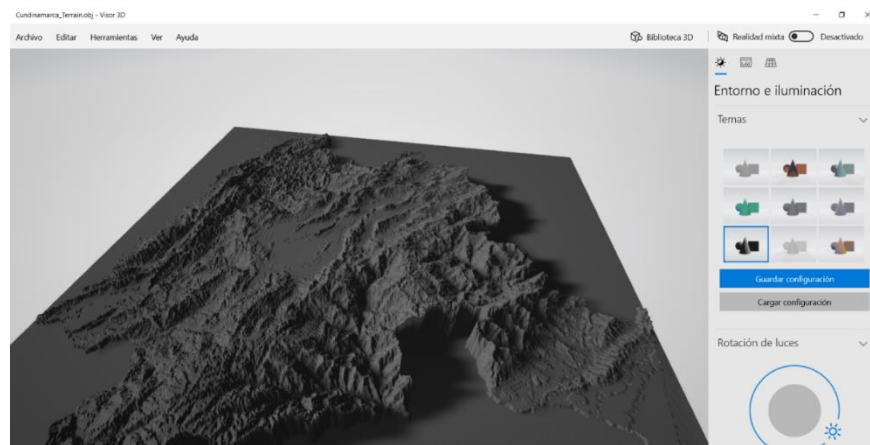
Fuente: Elaboración Propia

---

<sup>13</sup> Asset de terreno correspondiente a la vista del proyecto. El paisaje inicialmente será un plano grande, plano. Sin embargo, puede utilizar herramientas para añadir características.

Una vez se obtiene un terrain con la forma del DEM, se procede a exportarlo como un objeto 3D. Para esto se usa en el segundo Script, TerrainObjExporter. Esto genera un nuevo archivo con formato 3D para ser ejecutado directamente en Windows, usado en software modelador o implementado en ambientes de Realidad Aumentada. Este procedimiento se realizó igualmente con los 32 departamentos de Colombia.

Figura 21. Resultado Obtenido con el Script TerrainObjExporter



Fuente: Elaboración Propia

Figura 22. Objetos 3D Correspondientes a cada Departamento Colombiano



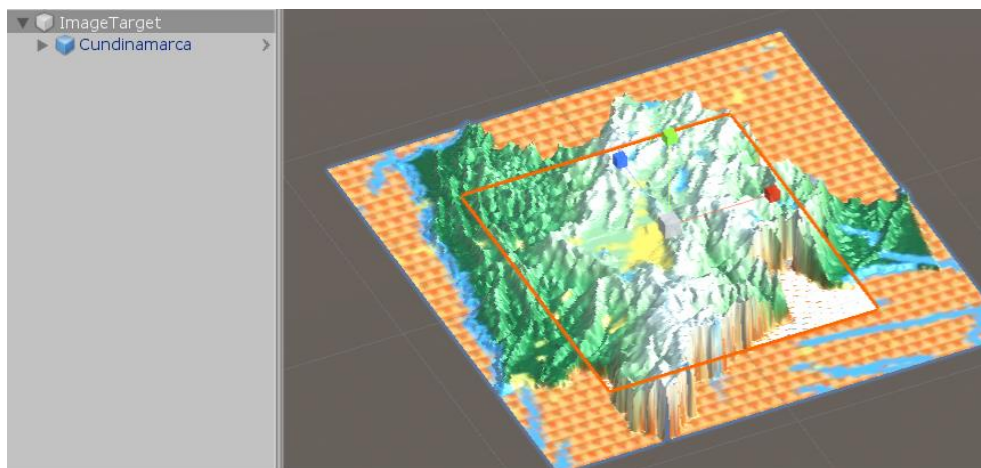
Fuente: Elaboración Propia



## 8.4 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

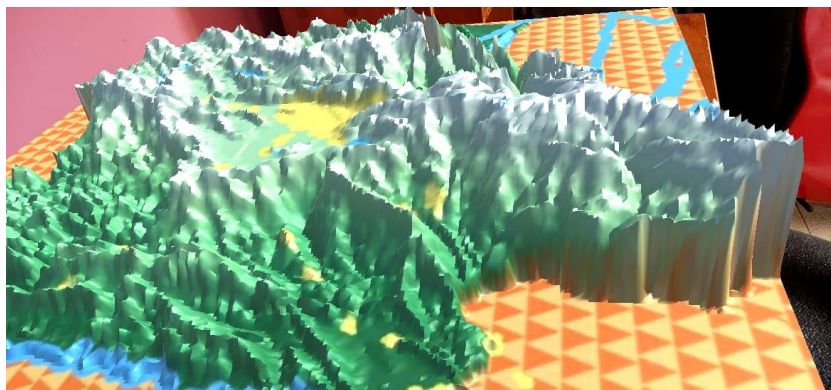
Actualmente existen varias plataformas para implementar Realidad Aumentada, sin embargo y teniendo en cuenta el enfoque académico y de investigación, se hace uso de Vuforia. Vuforia permite usar Realidad Aumentada de forma gratuita, aunque con ciertas limitaciones de consumo.

Figura 25. Uso de Vuforia para Implementar AR Usando los DEM Procesados



Fuente: Elaboración Propia

Figura 26. Es Posible Acercarse, Alejarse o Moverse Alrededor del DEM Procesado



Fuente: Elaboración Propia

Figura 27. Vista del DEM Procesado y Convertido a Objeto 3D en AR



Fuente: Elaboración Propia

## 9. RESULTADOS

---

### 9.1 ANÁLISIS

Realmente la metodología propuesta es bastante flexible y permite generar productos 3D que sirven de insumo en ambientes de Realidad Aumentada. Sin embargo, ¿es posible usar otros tipos de datos?, ¿tal vez DEM o imágenes satelitales con un formato diferente o una resolución mayor?, ¿es posible añadirle interacción al usuario?

Más allá de sugerir o implementar una metodología, la idea es que este procedimiento abra las puertas a una gran gama de posibilidades donde se puedan vincular DEM en ambientes de Realidad Aumentada con diferentes usos y fines, ya sea educación, investigación o análisis en el campo de lo que se llama GeoAR.

Por lo tanto, se realizaron una serie de pruebas donde se aplicó la misma metodología, pero se añadieron elementos adicionales como interacción, el uso de DEM con resoluciones diferentes, el no uso de software GIS para procesar los datos e incluso la visualización de combinaciones de bandas de imágenes satelitales.

### 9.2 PRUEBAS

#### 9.2.1 Interacción en Realidad Aumentada

En vista de que la metodología propuesta genera un Objeto 3D del DEM con una textura personalizada, se abre la posibilidad de añadir interacción con ese Objeto. Elementos que muestran mensajes al seleccionar o dar clic sobre estos, animaciones, sonidos o elementos multimedia. Generando un amplio abanico en temas educativos.

Para este caso se realizaron ligeras pruebas añadiendo “botones” virtuales encima del DEM de tal forma que cada uno mostrara mensajes diferentes según la interacción del usuario. Se agregaron dos esferas en los extremos del departamento del Tolima con colores diferentes y el usuario al seleccionarlas se desplegarán mensajes diferentes.

Figura 28. Interacción con el DEM en AR



Fuente: Elaboración Propia

Esto demuestra la fácil integración del Objeto 3D obtenido y las posibilidades que se abren con el desarrollo de aplicaciones donde el insumo principal sean elementos de GeoAR.

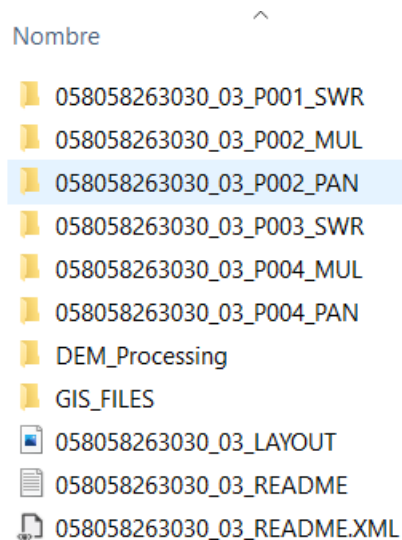
### 9.2.2 Despliegue de Imágenes Satelitales

Durante el desarrollo de la metodología descrita anteriormente se utilizan los DEM suministrados por el SRTM los cuales tienen una resolución espacial de 30m. Así que, para probar los resultados obtenidos con diferentes fuentes de información, se hace uso de los DEM de ALOS PALSAR los cuales tienen una resolución espacial de 12m.

Así mismo en vez de añadir una simbología personalizada al DEM, como se hizo anteriormente, se usarán composiciones de bandas de imágenes satelitales con el fin de poder realizar análisis visual y exploratorio en Realidad Aumentada al combinar estos con los DEM y obtener un producto final en 3D.

Para este caso, se usa una imagen suministrada por el satélite Worldview 3, la cual cuenta con resolución espacial de 4m en SWR, 1.2m en multiespectral y 50 cm en pancromática.

Figura 29. Imagen Satelital Worldview 3 Usada para Realizar Pruebas



Fuente: Elaboración Propia



Las diferentes combinaciones de bandas de esta imagen satelital proveen información para analizar diferentes tipos de coberturas y fenómenos espaciales.

Algunas de las combinaciones que se pueden realizar con la imagen multispectral son:

- 863 (NIR2 - Red Edge – Green): Infrarojo Mejorado
- 841 (NIR2 - Yellow - Coastal Blue): Análisis de Vegetación
- 321 (Green - Blue - Coastal Blue): Batimetría
- 753 (NIR1- Red – Green): Falso Color Estándar

Con la imagen SWIR se encuentran opciones como:

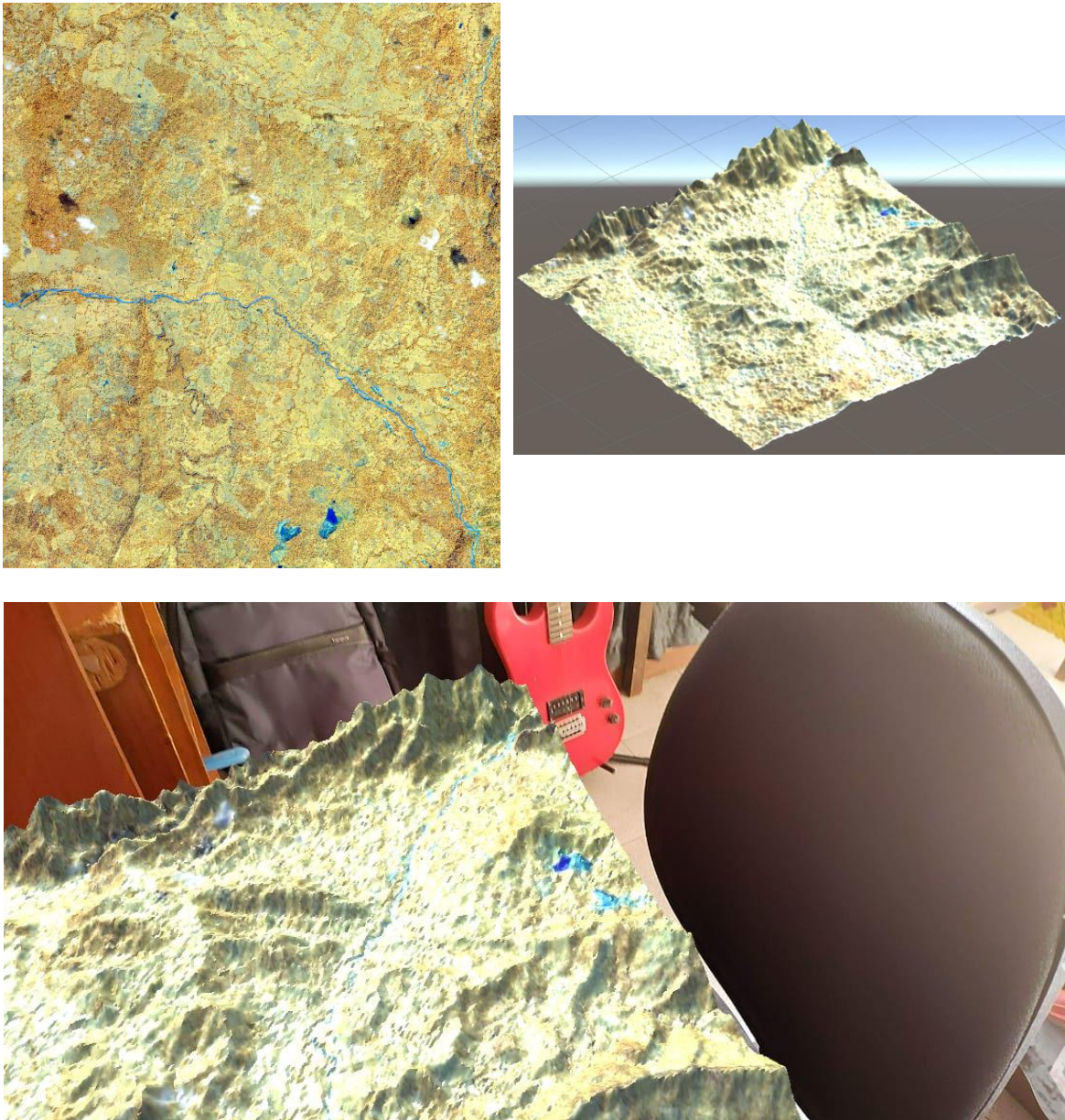
- 148: Identificar Hidrocarburos
- 248: Reconocimiento de polímeros y plásticos
- 631: Análisis de zonas con posibles escenarios de incendios
- 357: Identificación de minerales

Algunas de estas composiciones de bandas fueron las que sirvieron para realizar pruebas de la metodología propuesta, así:

1. Se descargó el DEM ALOS PALSAR de 12m de resolución espacial.
2. En este caso no se hace ningún tipo de tratamiento al DEM y se le aplican los scripts directamente, obteniendo un Objeto 3D que representa el relieve de la zona de estudio en escala de grises.
3. En un software GIS se hacen las combinaciones de bandas para obtener las diferentes tonalidades. Estas se exportan para que puedan ser usadas como texturas sobre el Objeto 3D.
4. Se hace la implementación de Realidad Aumentada con Unity y Vuforia.

La finalidad de este procedimiento es hacer un aporte al análisis e interpretación visual de imágenes satelitales apoyadas en un DEM y vistas en ambientes de Realidad Aumentada, ambientes que no necesitan un software GIS y facilitan la interacción dentro del mundo real. El Objeto 3D obtenido y las diferentes texturas que corresponden a las combinaciones de bandas se visualizan a continuación.

Figura 30. Objeto 3D visto en AR de la imagen multispectral con bandas 863



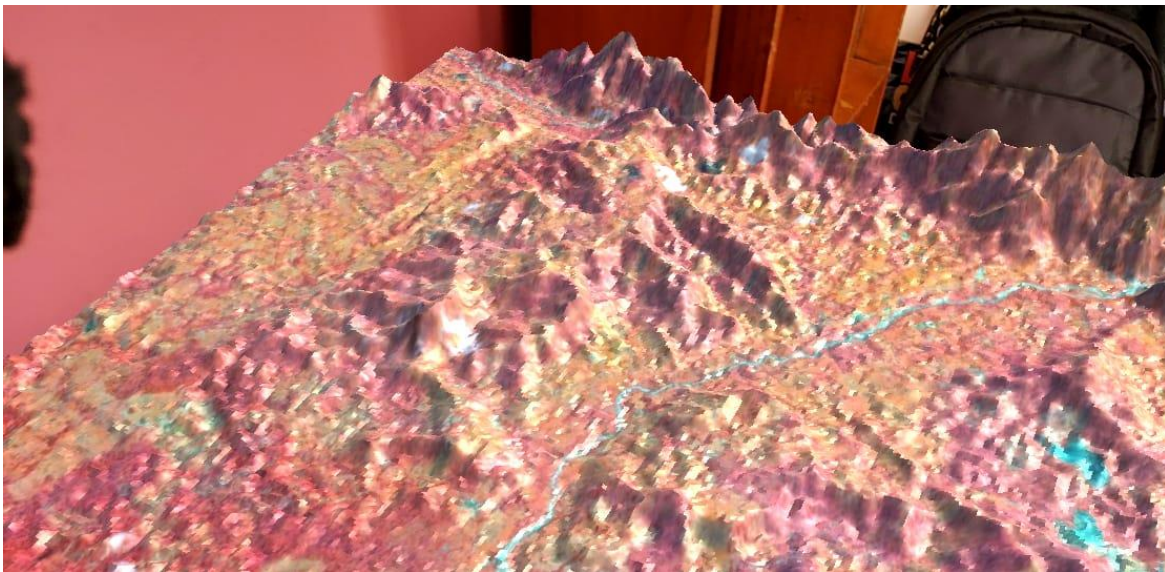
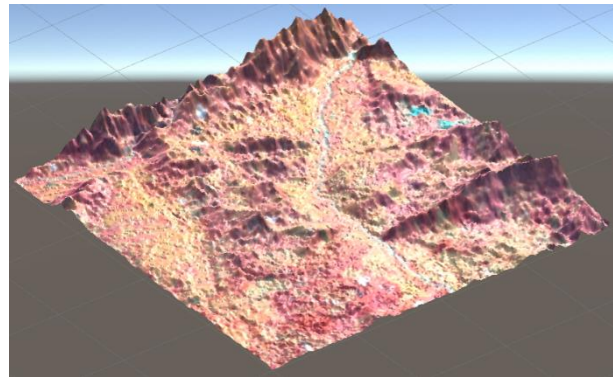
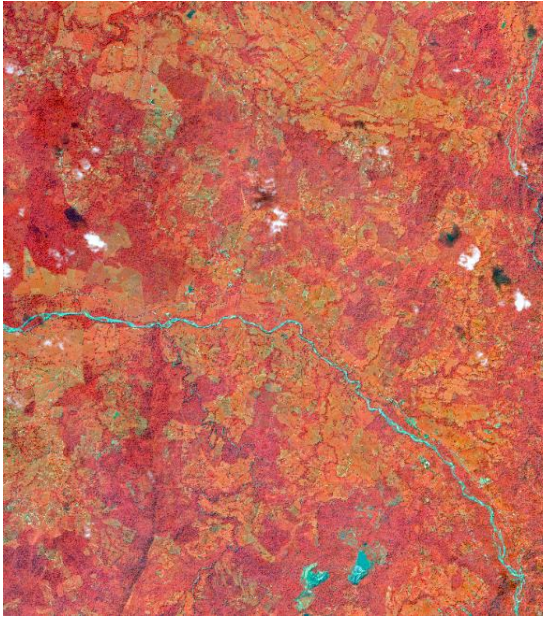
Fuente: Elaboración Propia

Figura 31. Objeto 3D visto en AR de la imagen multiespectral con bandas 863



Fuente: Elaboración Propia

Figura 32. Objeto 3D visto en AR de la imagen multispectral con bandas 841



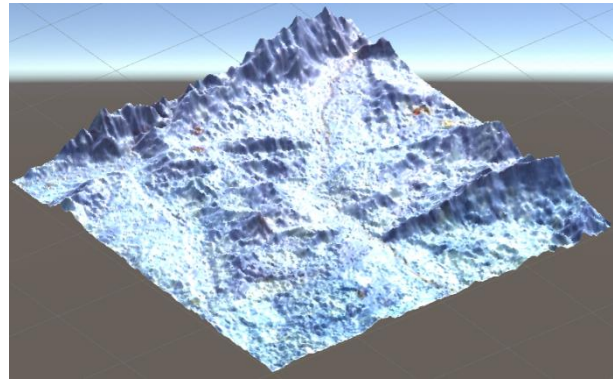
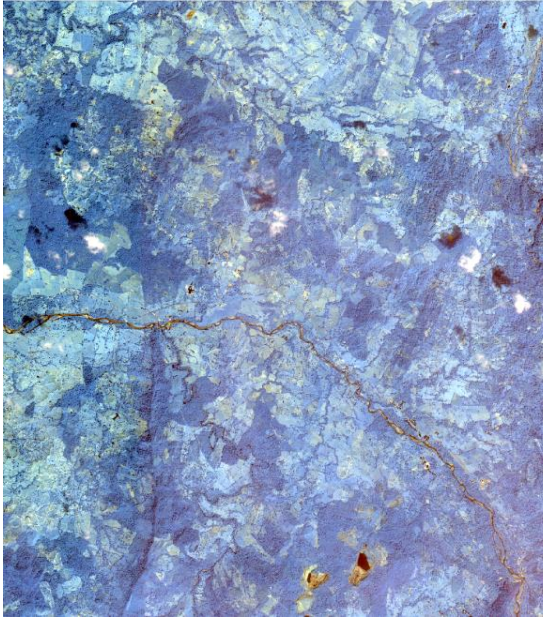
Fuente: Elaboración Propia

Figura 33. Objeto 3D visto en AR de la imagen multispectral con bandas 841



Fuente: Elaboración Propia

Figura 34. Objeto 3D visto en AR de la imagen SWIR con bandas 631



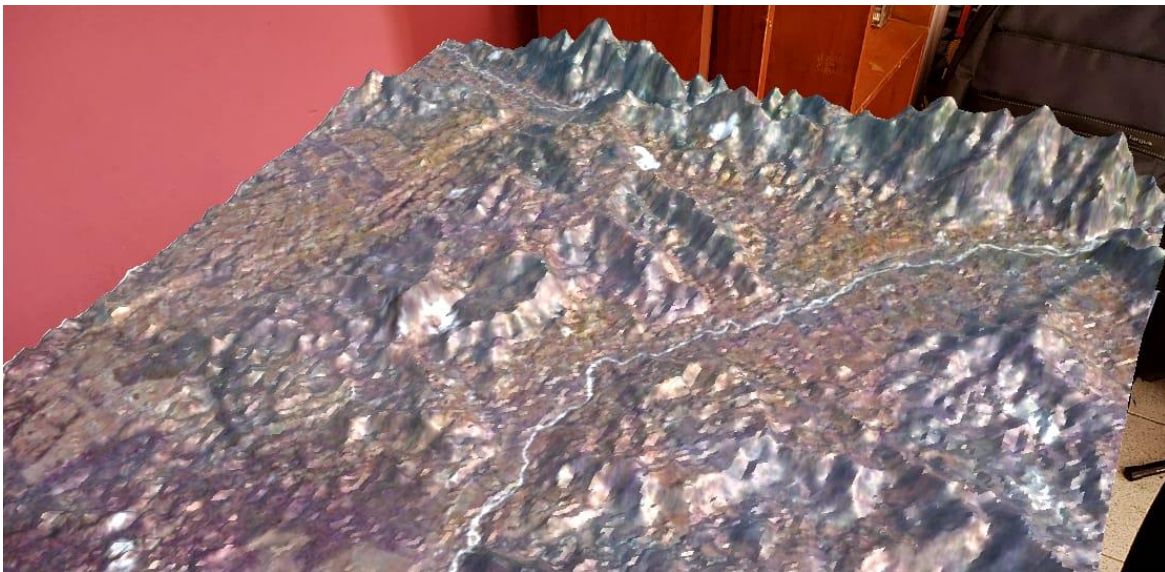
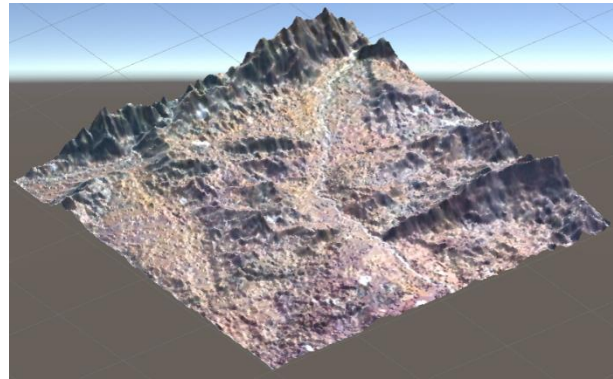
Fuente: Elaboración Propia

Figura 35. Objeto 3D visto en AR de la imagen SWIR con bandas 631



Fuente: Elaboración Propia

Figura 36. Objeto 3D visto en AR de la imagen multispectral con bandas 321



Fuente: Elaboración Propia



Figura 37. Objeto 3D visto en AR de la imagen multiespectral con bandas 321



Fuente: Elaboración Propia

## 10. PRODUCTO FINAL

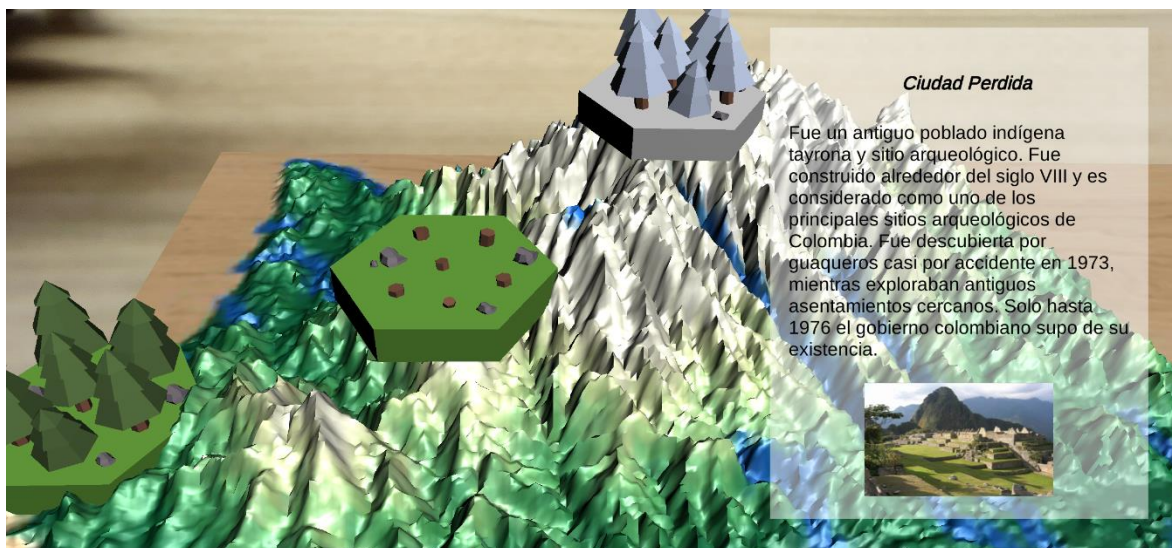
### 10.1 APP GEOAR COLOMBIA

La aplicación de Realidad Aumentada Geoespacial “AppGeoARColombia” ofrece una visualización e interacción en 3D de Modelos Digitales de Elevación que representan cada uno de los departamentos de Colombia. Algunos departamentos contienen cinco (5) puntos de interés con información geográfica y/o histórica, además de una fotografía representativa de la zona.

Una vez el usuario ingresa a la aplicación debe enfocar con la cámara de su dispositivo móvil una imagen preestablecida. De esta forma se desplegará sobre la imagen real un elemento virtual que representa el relieve en 3D junto con los puntos de interés que el usuario puede seleccionar para visualizar en una ventana emergente la información relacionada a dicho punto.

El zoom y navegación de cada DEM lo puede hacer el usuario al mover el dispositivo móvil.

Figura 38. AppGeoARColombia



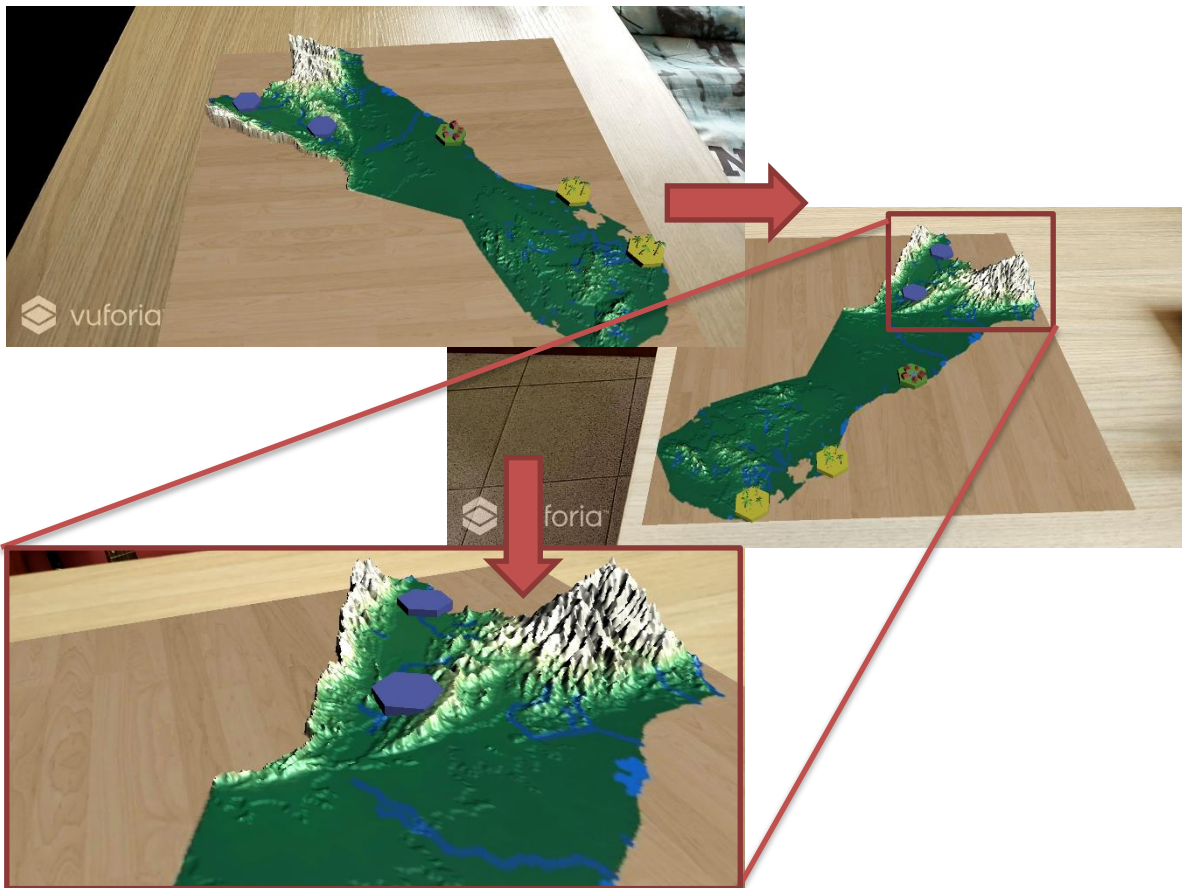
Fuente: Elaboración Propia

Figura 39. Relieves de La Guajira y Magdalena en AR



Fuente: Elaboración Propia

Figura 40. El usuario rodea el target para rotar y se acerca al DEM para zoom.



Fuente: Elaboración Propia

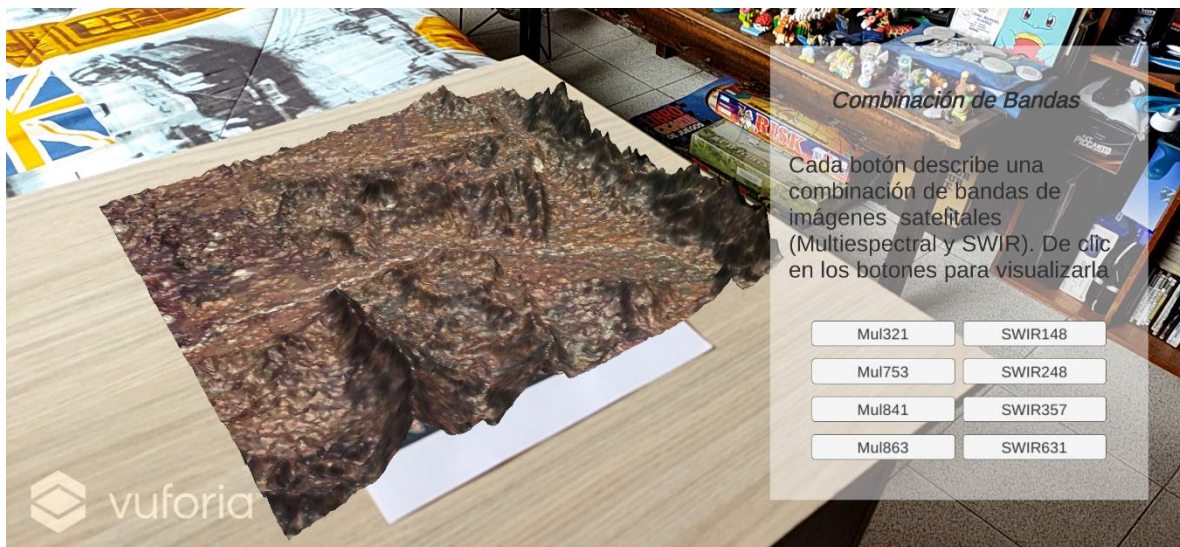
## 10.2 APP GEOAR RASTER

La aplicación de Realidad Aumentada Geoespacial “AppGeoARRaster” ofrece una visualización e interacción en 3D de un Modelo Digital de Elevación. El cual, mediante botones, cambia su coloración para representar ocho (8) diferentes combinaciones de bandas de imágenes satelitales sin necesidad de contar con software de Sistemas de Información Geográfica.

Una vez el usuario ingresa a la aplicación debe enfocar con la cámara de su dispositivo móvil una imagen preestablecida. De esta forma se desplegará sobre la imagen real un elemento virtual que representa el relieve en 3D junto con combinaciones de bandas de imágenes satelitales que el usuario puede cambiar al presionar cada uno de los botones.

El zoom y navegación del DEM lo puede hacer el usuario al mover el dispositivo móvil.

Figura 41. AppGeoARRaster



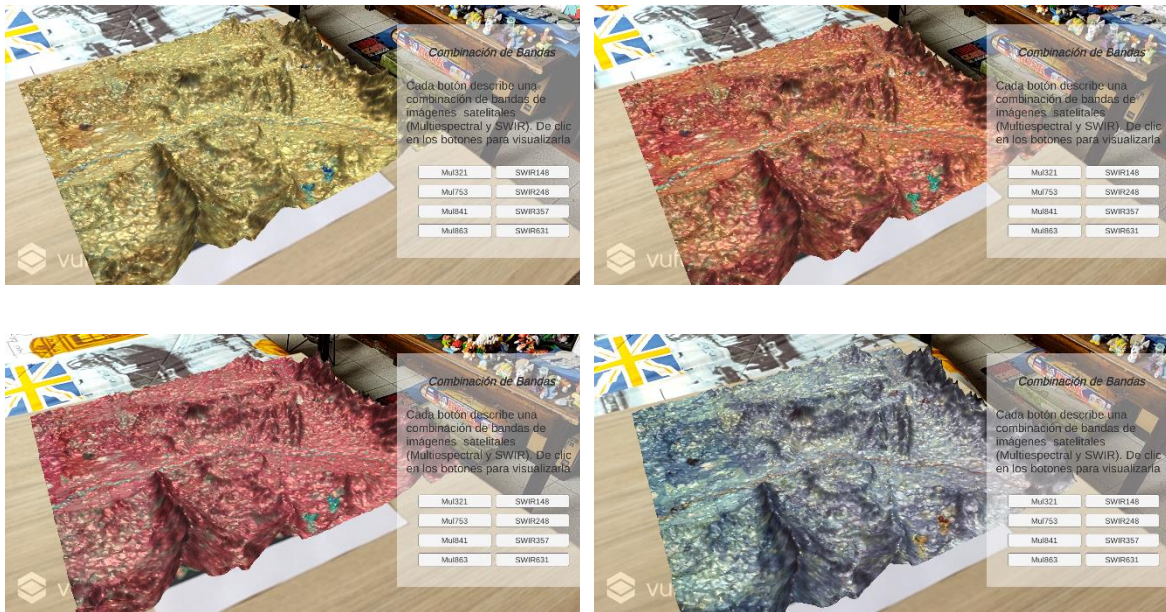
Fuente: Elaboración Propia

Figura 42. El usuario rodea el target para rotar y se acerca al DEM para zoom.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 43. Cambio de simbología del DEM basada en combinaciones de bandas.



Fuente: Elaboración Propia

## 11. CONCLUSIONES

---

Las herramientas y metodologías existentes usan insumos predeterminados, no permiten la personalización que se buscaba del objeto 3D, y no tienen una completa integración en entornos de Realidad Aumentada. Este proyecto de investigación aporta una metodología que permite convertir un DEM en un objeto 3D, documentado y ejemplificado para que pueda ser replicado, utilizado, referenciado o mejorado por otros investigadores. Es lo bastante flexible para ser usada con datos de diferentes formatos, tamaños, resoluciones y simbología, adaptándose a las necesidades e insumos de cada persona.

Los objetos 3D obtenidos permiten la total integración en Realidad Aumentada y es posible añadirles elementos interactivos como botones, menús, imágenes, texto o mensajes emergentes. Por lo tanto, es posible visualizar elementos tipo ráster sin necesidad de usar software GIS, generar una visualización inmersiva y usar estos modelos para desarrollar aplicaciones de Realidad Aumentada Geoespacial.

Esta metodología abre la posibilidad a que muchos más investigadores e incluso usuarios ajenos a la programación o a los Sistemas de Información Geográfica se interesen en la Realidad Aumentada Geoespacial y puedan hacer uso de una gran variedad de recursos e insumos para desarrollar sus propios proyectos. Aportando en la formación de nuevos investigadores y fortaleciendo el escenario de Realidad Aumentada del país. Abre las puertas para que se vislumbre la posibilidad de implementar GeoAR en otras áreas o sectores, haciendo un aporte académico y técnico, al usar tecnologías emergentes, interactivas y novedosas como la Realidad Aumentada.

Contar con un Objeto 3D que modele la elevación, facilitará la implementación de ambientes GeoAR y dará un impacto positivo en la habilidad de interpretación del relieve. Así mismo puede proveer modelos base para estudios o la academia. Ya que se cuenta con una representación real del relieve, permitirá realizar análisis exploratorio de imágenes satelitales, e impactaría favorablemente los procesos de enseñanza-aprendizaje. Dándole un mayor valor y significado práctico al conocimiento al ser un material técnico-didáctico, innovador que mejora las dimensiones cognoscitivas.

## 12. INVESTIGACIONES FUTURAS

---

Algunos de los posibles trabajos futuros que pueden continuar desarrollándose o dar pie a que otros investigadores sugieran nuevas líneas y perspectivas son: mejorar los scripts implementados de tal forma que se optimice la resolución del Objeto 3D, generar una mayor correspondencia haciendo uso de coordenadas entre el DEM y la textura o incluso desarrollar nuevas aplicaciones GeoAR donde se potencialice su aplicabilidad.

Los scripts utilizados en este trabajo usan el concepto de extrusión para “estirar” el terrain según el valor de cada píxel de forma independiente, esto genera modelos 3D no suavizados o con una visualización pixelada en algunos casos. Mejorar los scripts podría optimizar la resolución del Objeto 3D o generarlo de una forma más suavizada teniendo en cuenta la relación entre los valores de los píxeles.

Cabe resaltar que la resolución del producto final es un tanto limitada, debido a que los algoritmos usados hacen una aproximación al DEM y la textura cuenta con una única escala de visualización, a diferencia de la visualización de imágenes satelitales en un software GIS en la que cada escala tiene su propia renderización. Esta limitación puede ser un punto de partida en futuras investigaciones.

Así mismo el desarrollo de nuevas aplicaciones que hagan uso de DEM 3D en ambientes GeoAR de tal forma que potencialice y haga un aporte académico o incluso técnico en diferentes sectores será una gran posibilidad para continuar.

El tamaño o uso de las aplicaciones GeoAR se puede mejorar, pensar en el uso de servicios geográficos web que alojen los modelos 3D harán que las aplicaciones sean más ligeras, y con apoyo del 5G es posible tener un mejor consumo de esos recursos online en tiempo de ejecución.

## 13. REFERENCIAS

---

- Aguilera, F., Alarcón, R. A., Guerrero, L. A., & Collazos, C. A. (2006). A cognitive model of user interaction as a guideline for designing novel interfaces. *IFIP International Federation for Information Processing*, 219, 62–76. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-34831-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-0-387-34831-5_5)
- AR-media. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from [http://www.armedia.it/sketchup\\_arplugin](http://www.armedia.it/sketchup_arplugin)
- Araque, D., Díaz, R., Pérez-Gutiérrez, B., & Uribe, A. J. (2011). Augmented reality motion-based robotics off-line programming. *Proceedings - IEEE Virtual Reality*, 191–192. <https://doi.org/10.1109/VR.2011.5759463>
- Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 42(3), 1451–1462. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2009.03.056>
- Badard, T. (2006). Geospatial service oriented architectures for mobile augmented reality. *Proc. of the 1st International Workshop on Mobile Geospatial Augmented Reality*, 73–77. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.126.6364&rep=rep1&type=pdf>
- Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2014). A survey of augmented reality. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 8(2–3), 73–272. <https://doi.org/10.1561/11000000049>
- Blender. (n.d.). Retrieved from <https://www.blender.org/>
- Carbonell Carrera, C., & Bermejo Asensio, L. A. (2017). Augmented reality as a digital teaching environment to develop spatial thinking. *Cartography and Geographic Information Science*, 44(3), 259–270. <https://doi.org/10.1080/15230406.2016.1145556>
- Clip Raster by Mask Layer. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from [https://docs.qgis.org/2.8/en/docs/user\\_manual/processing\\_algs/gdalogr/gdal\\_extracton/cliprasterbymasklayer.html](https://docs.qgis.org/2.8/en/docs/user_manual/processing_algs/gdalogr/gdal_extracton/cliprasterbymasklayer.html)
- CNN Hologram TV First - YouTube. (n.d.). Retrieved September 19, 2019, from <https://www.youtube.com/watch?v=thOxW19vsTg&t=14s>



- Comport, A. I., Marchand, E., Pressigout, M., & Chaumette, F. (2006). Real-time markerless tracking for augmented reality: The virtual visual servoing framework. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 12(4), 615–628. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2006.78>
- Coss Bu, R. (2015). *Simulación: un enfoque práctico*. (p. 158). p. 158.
- Diaz, C., Hincapié, M., & Moreno, G. (2015). How the Type of Content in Educative Augmented Reality Application Affects the Learning Experience. *Procedia Computer Science*, 75(Vare), 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.12.239>
- Domlysz. (2016). BlenderGIS. Retrieved November 29, 2020, from Github website: <https://github.com/domlysz/BlenderGIS>
- Encarnação, P., Alvarez, L., Rios, A., Maya, C., Adams, K., & Cook, A. (2014). Using virtual robot-mediated play activities to assess cognitive skills. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, 9(3), 231–241. <https://doi.org/10.3109/17483107.2013.782577>
- ESRI. (n.d.-a). ¿Qué son los datos ráster? Retrieved December 6, 2020, from <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>
- ESRI. (n.d.-b). Extruir entidades a una simbología 3D. Retrieved December 6, 2020, from <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/mapping/layer-properties/extrude-features-to-3d-symbology.htm>
- Felicísimo, A. (1994). Modelos digitales del terreno: introducción y aplicaciones a las ciencias ambientales. *Oviedo: Universidad de Oviedo*, 118. Retrieved from <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>
- Ghouaiel, N., Cieutat, J., & Jessel, J. P. (2011). *MARTS: Conception d'un Système Mobile de Réalité Augmentée Dédié au Tourisme*. Retrieved from <http://www.lavoisier.fr/livre/notice.asp?id=3SAWK3ASXA2OWR>
- Gutiérrez, M. D., Márquez, A. M., & Trefftz, H. (2003). Achieving object persistence in an augmented reality indoor environment. *Proceedings of the IASTED International Conference on Computer Science and Technology*, (January 2003), 259–263.
- Haines, E. (2012). HeightmapFromTexture. Retrieved December 6, 2020, from <http://wiki.unity3d.com/index.php/HeightmapFromTexture>

Haines, E. (2014a). Object2Terrain. Retrieved November 29, 2020, from <https://wiki.unity3d.com/index.php/Object2Terrain>

Haines, E. (2014b). TerrainObjExporter. Retrieved December 6, 2020, from <http://wiki.unity3d.com/index.php/TerrainObjExporter>

Hedley, N. R., Billinghamurst, M., Postner, L., May, R., & Kato, H. (2002). Explorations in the use of augmented reality for geographic visualization. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 11(2), 119–133. <https://doi.org/10.1162/1054746021470577>

Kato, H., & Billinghamurst, M. (1999). Marker tracking and HMD calibration for a video-based augmented reality conferencing system. *Proceedings - 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, IWAR 1999*, 85–94. <https://doi.org/10.1109/IWAR.1999.803809>

Kato, H., Billinghamurst, M., Poupyrev, I., Imamoto, K., & Tachibana, K. (2000). Virtual object manipulation on a table-top AR environment. *Proceedings - IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, ISAR 2000*, 111–119. <https://doi.org/10.1109/ISAR.2000.880934>

Korte, G. (2001). *The GIS Book*. 5.

Lesmasa, M. (2017). Heightmap From Texture. Retrieved December 6, 2020, from <https://answers.unity.com/questions/1349349/heightmap-from-texture-script-converter.html>

Merge Raster Function. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/help/data/imagery/merge-raster-function.htm>

Möhring, M., Lessig, C., & Bimber, O. (2004). Video see-through AR on consumer cell-phones. *ISMAR 2004: Proceedings of the Third IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, (Ismar), 252–253.

NASA Virtual Environment Workstation. (n.d.). Retrieved September 19, 2019, from <http://warrenrobinett.com/nasa/index.html>

Olaya, V. (2011). *Sistemas de Información Geográfica*.

Orozco, C., Esteban, P., & Trefftz, H. (2006). Collaborative and distributed augmented reality in teaching multi-variate calculus. *Proceedings of the Fifth IASTED International Conference on Web-Based Education, 2006*(January 2006), 141–145.

OSM2World. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from <http://osm2world.org/>

Rekimoto, J. (1998). Matrix: A Realtime Object Identification and Registration Method for Augmented Reality Jun Rekimoto Sony Computer Science Laboratory Inc. Phone: +81-3-5448-4380 Mail: rekimoto@csl.sony.co.jp. *Proceedings of Asia Pacific Computer Human Interaction 1998 (APCHI'98)*.

Reyes, M. E. P., & Chen, S. C. (2017). A 3D Virtual Environment for Storm Surge Flooding Animation. *Proceedings - 2017 IEEE 3rd International Conference on Multimedia Big Data, BigMM 2017*, 244–245. <https://doi.org/10.1109/BigMM.2017.54>

Starnes, T., Mann, S., Rhodes, B., Levine, J., Healey, J., Kirsch, D., ... Pentland, A. (1997). Augmented Reality Through Wearable Computing. *Proceedings 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality (IWAR'99)*, 3(1), 31–37. <https://doi.org/10.1109/IWAR.1999.803809>

Sutherland, I. E. (1963). Sketchpad a Man-Machine Graphical Communication System. *Massachusetts Institute of Technology*, 507–524.

Sutherland, I. E. (1968). *A head-mounted three dimensional display*.

Thomas, B., Piekarski, W., & Gunther, B. (2001). Using Augmented Reality to Visualise Architecture Designs In An Outdoor Environment. *Proceedings of the Design Computing on the Net*, (C).

Unesco. (2013). *Directrices para las políticas de aprendizaje móvil* (pp. 1–43). pp. 1–43. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002196/219662S.pdf>

UNESCO - ...:Ministerio de Educación Nacional de Colombia:... (n.d.). Retrieved October 7, 2019, from <https://www.mineducacion.gov.co/1621/propertyvalue-37279.html>

Unity. (n.d.). Retrieved November 29, 2020, from <https://unity.com/es>

Wexelblat, A. (1993). Virtual reality: applications and explorations. In *The British Journal of Psychiatry* (Vol. 112). <https://doi.org/10.1192/bjp.112.483.211-a>