

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Artes

Carrera de Diseño Gráfico

**Modelado 3D y aplicación en Realidad Aumentada de la Catedral de la  
Inmaculada Concepción para turistas de Cuenca**


Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Diseñador  
Gráfico

**Autor:**

Bruno Ismael Amaya Arce

**Director:**

Patricio Ismael Carpio Padilla

ORCID:  0000-0001-7200-9264

**Cuenca, Ecuador**

2023-10-19

## Resumen

El siguiente proyecto se centra en generar un prototipo 3D de la Catedral de la Inmaculada Concepción de la ciudad de Cuenca para promover el turismo en la ciudad mediante realidad aumentada, buscando explicar elementos y conceptos de suma importancia para un mejor mejorar la actividad turística que se ha venido viviendo en la ciudad en los últimos años. Pondremos en contexto el crecimiento de las nuevas tecnologías a través del tiempo y como estas podrían significar una potencial ayuda para el desarrollo turístico de la ciudad. Una vez concluido esto, seguiremos con el segundo capítulo en el cual se empieza con el desarrollo técnico de la planificación, un estudio tanto 2D como 3D, se analizará detalladamente cada una de las características visuales del elemento, todo esto con la intención de tener una idea en cuanto a dimensiones y distribución de la edificación, y así poder llegar a la estilización deseada del trabajo. Una vez concluida la parte análoga, empezará el desarrollo digital, en el cual se generará el modelado poligonal usando como herramienta el programa Autodesk Maya 3D, el cual permitirá definir el aspecto final de la Catedral para dar así paso al tercer capítulo. El capítulo final comprenderá todo lo referente a la realidad aumentada, tanto consideraciones que se deba tener para el uso de la misma, en este caso las particularidades de los programas que están destinados a usarse, como los softwares Vuforia y Unity 3D.

*Palabras clave:* diseño digital, inteligencia artificial, turismo cultural, tecnología 3D



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

**Repositorio Institucional:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

### Abstract

This project focuses on generating a 3D prototype of the Cathedral of the Immaculate Conception of the city of Cuenca to promote tourism in the city through the use of innovative technologies such as augmented reality, seeking to explain elements and concepts of utmost importance for a better understanding of the tourist activity that has been taking place in the city in recent years. We will put in context the growth of new technologies over time and how these could mean a potential help for the tourist development of the city. Once this is finished, we will continue with the second chapter in which the technical development of the planning begins, a study both 2D and 3D, each of the visual characteristics of the element will be analyzed in detail, all this with the intention of having a idea in terms of dimensions and distribution of the building, and thus be able to reach the desired stylization of the work. Concluding with the analogous part, the digital development will begin, in which the polygonal modeling will be generated using the Autodesk Maya 3D program as a tool, which will allow defining the final appearance of the Cathedral to give way to the third chapter. The final chapter will cover everything related to augmented reality, both considerations that must be taken for its use, in this case the particularities of the programs that are intended to be used, such as the Vuforia and Unity 3D software.

*Keywords:* digital design, artificial intelligence, cultural tourism, 3D technology



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

**Institutional Repository:** <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

## Índice de contenido

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Índice de contenido .....	4
Índice de figuras .....	6
Introducción.....	11
Capítulo 1: Investigación y Contexto .....	12
1.1 Catedral de la Inmaculada Concepción de Cuenca.....	12
1.1.1 Catedral de la Inmaculada de Cuenca como atractivo turístico.....	13
1.2 Turismo digital en Cuenca.....	14
1.3 Modelado 3D.....	16
1.3.1 Procesos del modelado 3D.....	18
1.3.2 Consideraciones del modelado 3D y su aplicación. ....	23
1.4 Realidad Aumentada.....	25
1.4.1 Realidad aumentada aplicada como medio de interacción turística .....	26
1.4.2 Componentes de Realidad Aumentada .....	28
1.5 Análisis de Homoólogos.....	31
Capítulo 2. Propuesta de Guía Metodológica. ....	35
2.1 Planificaciones .....	35
2.1.2 Recolección, edición y análisis de planos .....	35
2.2 Análisis de Modelado de la Catedral de la Inmaculada 3D.....	37
2.2.1 Diseño de materiales de la Catedral de la Inmaculada .....	38
2.3 Programación y Desarrollo Aplicativo.....	39
2.3.1 Creación de Marcadores en Vuforia .....	40
2.3.2 Desarrollo AR en Unity. ....	40
2.3.3 Particularidades en Unity 3D. ....	41
2.3.4. Códigos y algoritmos utilizados en la ejecución. ....	42
Capítulo 3: Creación de aplicación .....	44
3.1 Proceso de Modelado 3D.....	44
3.2 Aplicación de materiales al modelado 3D.....	49

3.2 Exportación 3D e importación en Unity 3D.....	53
3.3 Diseño y desarrollo de la aplicación en Unity 3D.....	58
3.4 Prototipo beta.....	64
3.4.1 Diseño del imagotipo de la aplicación.....	66
3.4.2 Diseño de placa de difusión.....	67
3.5 Pruebas de usuario.....	69
3.6 Análisis de errores.....	71
Referencias.....	73

## Índice de figuras

Figura 1.....	12
Catedral de la Inmaculada Concepción de Cuenca. ....	12
Figura 2.....	13
Turistas en la ciudad de Cuenca .....	13
Figura 3.....	14
Pantalla de aplicación Visit Cuenca.....	14
Figura 4.....	15
Pantalla de aplicación Visit Cuenca. ....	15
Figura 5.....	16
Pantalla de aplicación Visit Cuenca. ....	16
Figura 6.....	16
Pantalla de aplicación Visit Cuenca. ....	16
Figura 7.....	18
Modelado Poligonal de una infraestructura.....	18
Figura 8.....	19
Automóvil 3D generado en base a Blue Prints.....	19
Figura 9.....	20
Caras y elementos poligonales en Autodesk Maya 2018.....	20
Figura 10.....	21
Aplicación de texturas en Autodesk Maya 2018. ....	21
Figura 11.....	21
Selección de materiales y texturas en Autodesk Maya 2018. ....	21
Figura 12.....	22
Iluminación de ambiente interior digital.....	22
Figura 13.....	25
Representación de un plano cartesiano en 2D y 3D. ....	25
Figura 14.....	26

Proceso de ejecución de realidad aumentada. ....	26
Figura 15.....	27
Realidad Aumentada en dispositivos móviles. ....	27
Figura 16.....	29
Marcadores en AR.....	29
Figura 17.....	30
Manejo y funcionamiento de cámaras AR en Unity 3D. ....	30
Figura 18.....	31
Isotipo de Unity Engine.....	31
Figura 19.....	32
Interpretación en AR del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia .....	32
Figura 20.....	33
Catedral de Notre Dame, modelada y texturizada en 3D .....	33
Figura 21.....	36
Vista Frontal Catedral.....	36
Figura 22.....	36
Vista Posterior Catedral.....	36
Figura 23.....	36
Vista Lateral Izquierda Catedral.....	36
Figura 24.....	37
Vista Superior Catedral. ....	37
Figura 25.....	39
Textura de Ladrillo de la Catedral de Cuenca. ....	39
Figura 26.....	40
Creación de marcadores dentro de Vuforia Engine. ....	40
Figura 27.....	41
Metodología dentro Unity 3D. ....	41
Figura 28.....	42
Imagen escaneable para Realidad Aumentada. ....	42

Figura 29.....	43
Imagen escaneable mediante codificación QR para Realidad Aumentada. ....	43
Figura 30.....	44
Estructura base de la Catedral. ....	44
Figura 31.....	45
Extrusiones de caras del elemento para generar elevaciones. ....	45
Figura 32.....	45
Modificación de vértices según especificaciones. ....	45
Figura 33.....	46
Detalle modelado de una cúpula de la Catedral. ....	46
Figura 34.....	46
Detalle modelado de la entrada principal de la Catedral. ....	46
Figura 35.....	47
Vista general del modelado terminado de la Catedral.....	47
Figura 36.....	47
Vista superior del modelado terminado de la Catedral.....	47
Figura 37.....	48
Vista lateral del modelado terminado de la Catedral. ....	48
Figura 38.....	48
Vista frontal del modelado terminado de la Catedral.....	48
Figura 39.....	49
Vista posterior del modelado terminado de la Catedral.....	49
Figura 40.....	50
Edición en Photoshop de texturas. ....	50
Figura 41.....	50
Textura editada sin fondo. ....	50
Figura 42.....	51
Aplicación de textura en Autodesk Maya. ....	51
Figura 43.....	51



Materiales disponibles en Autodesk Maya.....	51
Figura 44.....	52
Archivos para texturas.....	52
Figura 45.....	52
Puerta aplicada y acoplada a su textura.....	52
Figura 46.....	53
Fachada frontal de la Catedral texturizada.....	53
Figura 47.....	54
Texturizado general de la Catedral.....	54
Figura 48.....	54
Texturizado frontal de la catedral.....	54
Figura 49.....	55
Creación de un nuevo proyecto dentro de Unity 3D.....	55
Figura 50.....	55
Exportación general del proyecto desde Autodesk Maya.....	55
Figura 51.....	56
Importación del elemento dentro de Unity 3D.....	56
Figura 52.....	57
Selección de texturas dentro de archivos.....	57
Figura 53.....	57
Importación de texturas dentro de Unity 3D.....	57
Figura 54.....	58
Configuraciones de la aplicación en Unity 3D.....	58
Figura 55.....	59
Generación de AR Camera en Unity 3D.....	59
Figura 56.....	59
Configuraciones de la aplicación en Unity 3D.....	59
Figura 57.....	60
Creación de licencia de desarrollador en el portal de Vuforia Engine.....	60

Figura 58.....	61
Creación de licencia de desarrollador en el portal de Vuforia Engine. ....	61
Figura 59.....	61
Importación del paquete de desarrollador dentro de Unity 3D. ....	61
Figura 60.....	62
Configuraciones de la aplicación en Unity 3D.....	62
Figura 61.....	62
Importación de la imagen que servirá de disparador AR en Unity 3D. ....	62
Figura 62.....	63
Organización de jerarquías de funcionamiento en Unity 3D. ....	63
Figura 63.....	64
Creación de la aplicación en AR dentro de Unity 3D. ....	64
Figura 64.....	65
Permisos del dispositivo para ejecutar la aplicación. ....	65
Figura 65.....	66
Imagotipo de la aplicación. ....	66
Figura 66.....	66
Logotipo de la aplicación. ....	66
Figura 67.....	67
Isotipo de la aplicación. ....	67
Figura 68.....	68
Diseño de placa de difusión AR de la aplicación. ....	68

### Introducción

La ciudad de Cuenca es un sitio turístico frecuentado de Ecuador, misma que es considerado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Unesco, ya sea por sus diversas plazas y sectores turísticos que necesitan información que refleje su cultura para sus visitantes, sean estos locales o internacionales. En este contexto, La Catedral de la Inmaculada de Cuenca es uno de sus atractivos más visitados por turistas, partiendo de esto, es necesario tomar en cuenta un mejor desarrollo dentro del ámbito turístico mismo que acoja a los nativos digitales en la que exista una mayor interacción dinámica entre el visitante (usuario) y la plaza turística (producto), aprovechando los beneficios tecnológicos que disponemos en la actualidad. Un desarrollo digital adecuado aplicado netamente al turismo en la ciudad puede ser considerado fundamental en su desarrollo, conforme a las potencias mundiales en este campo.

Por este motivo este proyecto se enfocará en desarrollar una propuesta centrada en la aplicación de realidad aumentada para dispositivos Android de la fachada externa de la Catedral de la Inmaculada misma que se encontrará modelada en 3D a detalle y disponible para la ciudadanía de Cuenca y turistas, los cuales podrán escanear un código QR a través de la aplicación antes mencionada, con lo cual se busca promover una manera distinta de conocer y descubrir más acerca de la ciudad y sus sitios turísticos.

## Capítulo 1: Investigación y Contexto

### 1.1 Catedral de la Inmaculada Concepción de Cuenca

Esta edificación religiosa, conocida mayormente como Catedral Nueva o Catedral de Cuenca, cuya construcción empezó en el año de 1880 y terminó en 1975, en ella se pueden apreciar varios estilos arquitectónicos en su estructura, como gótico, románico y renacentista, basando su construcción en la basílica de San Pedro en Roma.

#### Figura 1.

Catedral de la Inmaculada Concepción de Cuenca.



PlanetAndes. (s. f.). 10 mejores cosas que hacer en Cuenca, Ecuador, PlanetAndes, <https://n9.cl/f83n6f>

Los planos constructivos estuvieron a cargo de Juan Bautista Stihle, quien le proporcionó a la estructura 105 metros de largo y 43,5 metros de ancho, así mismo en la fachada exterior de la Catedral se puede apreciar de manera clara sus tres cúpulas de color azul cielo que sobresalen del tejado, la más alta con 53 metros de altura y un diámetro de 12 metros, brindándole a la edificación un aspecto imponente y de gran peso visual. En cuanto a detalles se puede mencionar sus rosetones de gran tamaño, las ventanas bíforas, torreones y vitrales de los muros, todo esto con gran influencia en el estilo gótico y románico.

En la fachada interna sobresalen sus vitrales multicolores realizados por el artista vasco Guillermo Larrazábal, ubicados en las naves laterales. En la nave central se pueden apreciar estructuras en mármol y detalles en pan de Oro, pero lo que llama la atención es el templo, en el cual se encuentra el Baldaquino que forma las cuatro columnas, mismas que cubren el altar mayor con un notable estilo Salomónico.

## 1.1.1 Catedral de la Inmaculada de Cuenca como atractivo turístico

Como es sabido la Catedral de la Inmaculada Concepción de Cuenca es uno de los puntos más frecuentados por turistas, tanto nacionales como extranjeros, ya sea por su impresionante arquitectura o porque podría ser el símbolo religioso más representativo de la ciudad.

A lo largo de los años, este templo religioso ha sido visitado día tras día por religiosos católicos, turistas nacionales e internacionales, los cuales buscan obtener una buena fotografía o una experiencia agradable, debido a que desde hace algunos años es permitido el acceso a la parte superior de la edificación, con lo cual se puede obtener una vista a mayor escala de las cúpulas que la conforman, así como también del centro de la ciudad de Cuenca, sus calles y parques.

Se sabe que durante sus más de 130 años de edificación no ha sufrido cambios significativos en su aspecto general, pero que varias veces se ha visto la necesidad de restauraciones debido a las constantes visitas de los turistas.

### Figura 2.

Turistas en la ciudad de Cuenca



Fundación Municipal Turismo para Cuenca. (s.f.). Cuenca gana su tercer Oscar de turismo. <https://n9.cl/kitb7>

## 1.2 Turismo digital en Cuenca

Un apropiado sistema turístico dentro de una ciudad con altos índices de visitantes extranjeros podría contribuir a un correcto y mucho más amplio desarrollo, Márquez, (2014) menciona:

Hoy en día, el turismo ya no es un producto de lujo, sino que se reconoce como una necesidad y un derecho, ayudando al desarrollo económico de los países y regiones. El turismo cultural es muy importante a la hora de dar a conocer el patrimonio cultural y turístico de los destinos, y ayuda a conservar y mantener este patrimonio. (p. 8)

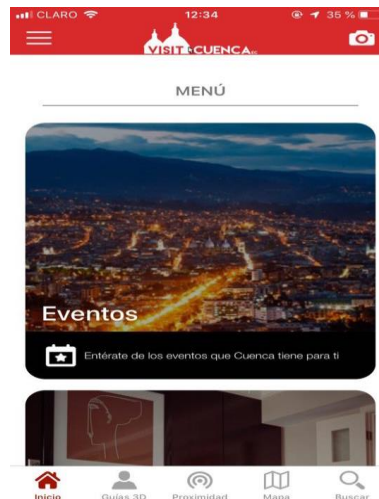
Hablar de Cuenca es hablar de turismo, la ciudad Andina Ecuatoriana gracias a su riqueza tanto arquitectónica como cultura la han bastado para ser catalogada como Patrimonio Cultural de la Humanidad por la Unesco en el año de 1999. Uno de sus sitios turísticos más frecuentados es su centro histórico, mismo que dispone de 200 hectáreas, sede de incontables inmuebles, calles y edificaciones de estilo colonial y republicano de un importante valor histórico para la ciudad y el país.

Cuenca en los últimos años ha tenido un importante avance dentro del campo de la tecnología, brindando internet gratuito en los parques y las plazas, para el disfrute de la ciudadanía y sus visitantes. A la vez ha generado aplicaciones móviles de uso gratuito, una de ellas es “Visit Cuenca” disponibles en tiendas virtuales como “Play Store” o “App Store”, de forma que el usuario disponga de una plataforma digital que le brinde información acerca de los destinos que puede visitar o actividades que pueda realizar, esta aplicación desarrollada gracias a Fundación Municipal Turismo para Cuenca y gracias al del apoyo del Ministerio de Turismo.

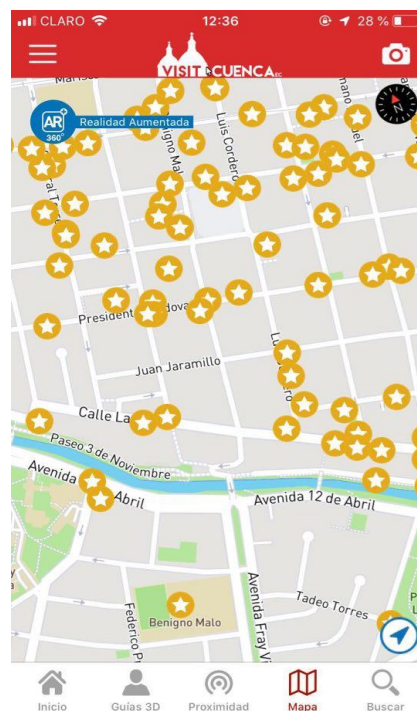
### Figura 3.

Pantalla de aplicación Visit Cuenca.





**Figura 4.**  
Pantalla de aplicación Visit Cuenca.



La aplicación propone información detallada de los museos, hoteles, restaurantes, además de un servicio de mapa virtual de la ciudad y un sistema de guías en 3D y realidad aumentada para conocer datos acerca de lo que desee el turista.

Cabe recalcar que gracias a esta aplicación se puede disfrutar de una experiencia con mayor interactividad al momento de visitar y conocer la ciudad y todo lo que puede ofrecer, mediante una interfaz amigable y sencilla de usar.

**Figura 5.**

Pantalla de aplicación Visit Cuenca.



**Figura 6.**

Pantalla de aplicación Visit Cuenca.



## 1.3 Modelado 3D

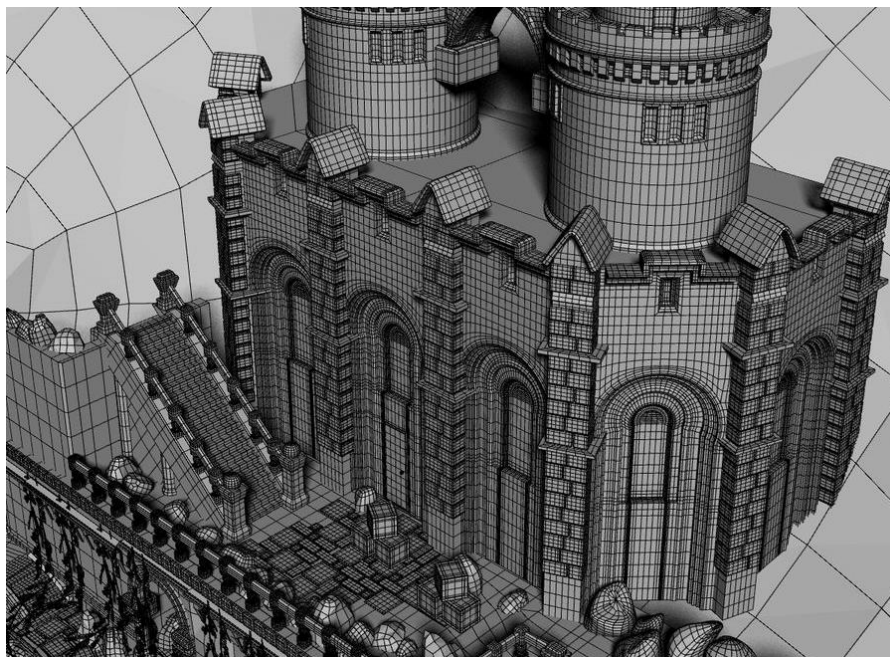
Mediante el modelado poligonal o modelado 3D se pueden generar diferentes resultados, ya sean personajes para animación, objetos con varias funciones, escenarios y ambientaciones, todo esto con distintos fines.



El modelado se puede tomar como el punto de partida de un proyecto con fines 3D, por tanto, es de vital importancia una correcta generación de estos polígonos, ya que si se generan errores en esta fase del proyecto obtendremos diversas complicaciones en las etapas posteriores.

**Figura 7.**

Modelado Poligonal de una infraestructura.



Free3D. (2021). Castillo de fantasía. Free3D. <https://n9.cl/rtnz1>

### **1.3.1 Procesos del modelado 3D**

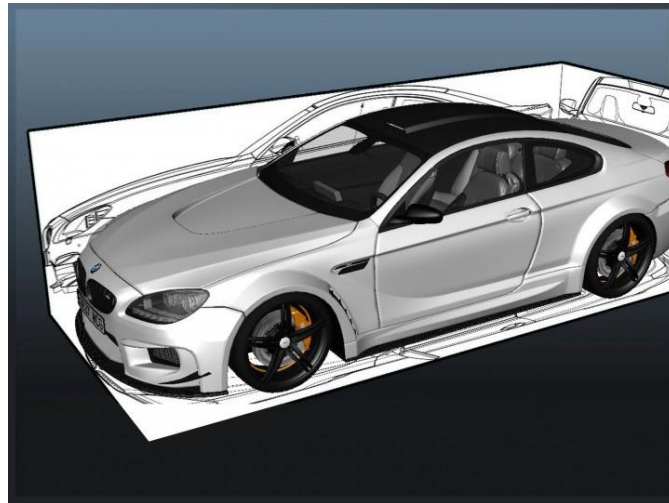
Al hablar de modelado 3D nos referimos a un proceso en el cual generamos elementos en tercera dimensión, los cuales son creados a través de tecnología computarizada, de tal manera, nos referimos a la generación superficies y sólidos dentro de una plataforma digital, usando cualquiera de los programas destinados a esta función, por lo tanto, se debe seguir ciertos pasos o llamadas etapas de creación, las cuales son:

#### **1.3.1.1 Importación de Planos o “BluePrints”**

Las imágenes que importamos dentro del software 3D que vayamos a usar, deberán haber sido preparadas con anterioridad para que de esta manera las medidas sean exactas en casa uno de los planos dentro del espacio tridimensional, ya que las mismas nos servirán como guía constructiva de elemento destinado a ser modelado durante todo el proceso de creación del sólido.

**Figura 8.**

Automóvil 3D generado en base a Blue Prints.



Millergo. (2015). Car Blueprint Setup –Maya/Photoshop Tutorial. <https://n9.cl/thej0>

#### **1.3.1.2 Modelado poligonal.**

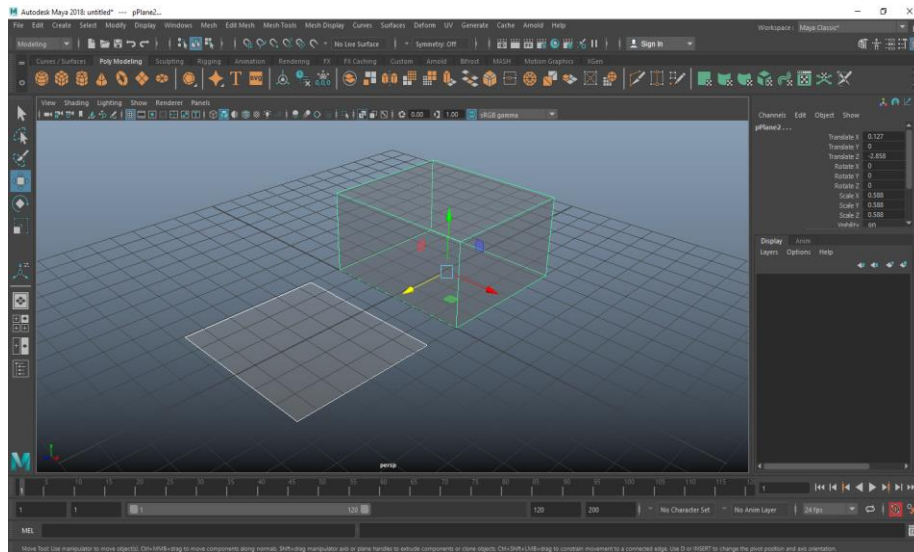
Al hablar de modelado poligonal hacemos referencia al método en el cual se unen puntos o también llamado vértices dentro de un espacio 3D, con lo cual se busca generar volúmenes.

Para nosotros poder generar cualquier objeto o volumen poligonal a través de la técnica de modelado debemos trabajar dentro de un espacio tridimensional digital, por lo tanto, debemos ayudarnos de cualquier software que nos brindan las características apropiadas para realizar dicho trabajo, esto dependerá ya de cada artista digital y sus preferencias, además del tipo de proyecto que se piensa realizar, ya que de esto dependerá la cantidad de polígonos dentro de la escena.

Ya hemos dicho que el modelado 3D se ha aplicado durante los últimos años en diferentes áreas de la vida moderna, ya sea la medicina, la educación, el entretenimiento, entre otros, pero para este proyecto utilizaremos sus beneficios y los aplicaremos en el área turística.

**Figura 9.**

Caras y elementos poligonales en Autodesk Maya 2018



### 1.3.1.3 Texturizado.

Cuando hemos terminado de modelar cada uno de los detalles del objeto, procedemos a la etapa de texturizado, es aquí donde podremos darle más realismo a nuestro proyecto.

Una textura no es más que una imagen que cubre el polígono que tenemos en nuestro espacio de trabajo, esta imagen debe estar modificada y adaptada a cada uno de los ejes cartesianos “

“x”, “y” o “z”, correspondiente al objeto, de otra manera podría tener variaciones o alteraciones no deseadas en el resultado final.

Existen diversas maneras en las que se puede texturizar un objeto, depende del tipo de trabajo que se esté realizando, pero para un proyecto 3D es bastante común usar el método denominado Texture Map, esta se apeg a las especificaciones de los ejes cartesianos y nos facilita el trabajo de texturizado, ya que simplemente convierte un objeto 3D en una imagen bidimensional 2D.

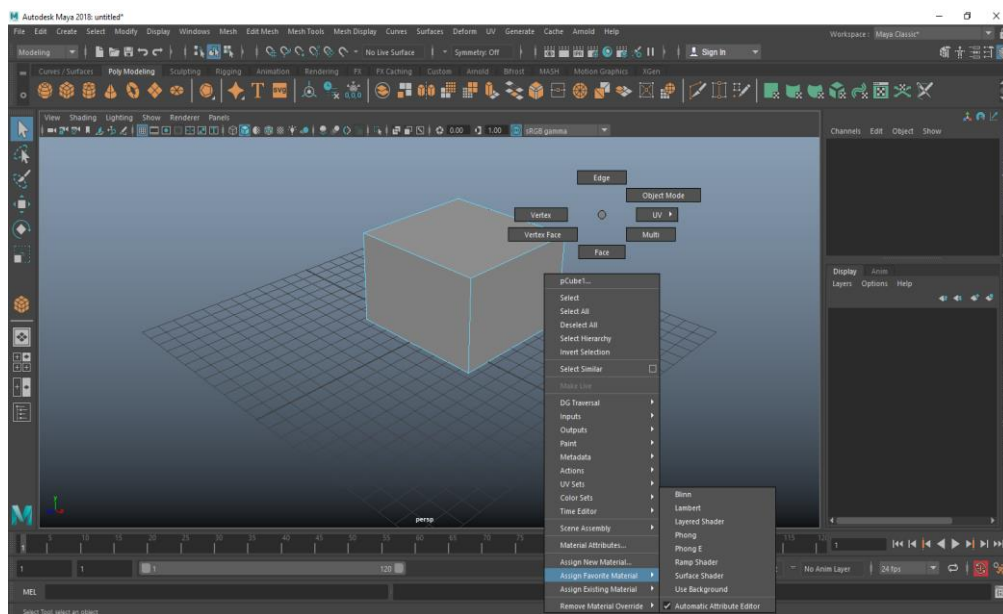
Como menciona Fernández, (2011):

Un bitmap puede ser una fotografía de ladrillos que se asigne a un rectángulo para simular una pared, o una imagen creada de la nada desde Adobe Photoshop. (p. 20)

Por otra parte, ciertos programas de modelado 3D ofrecen otra manera más sencilla para texturizar objetos sencillos, como el metal o elementos que deban ser monocromáticos o de colores bases, se denominan materiales estándar. Figuras 11 y 12.

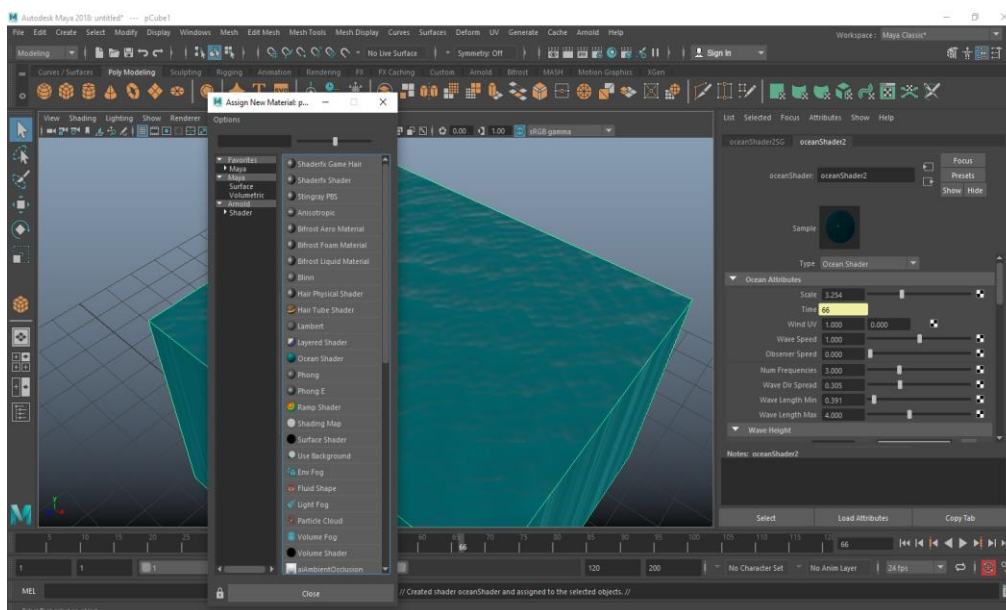
**Figura 10.**

Aplicación de texturas en Autodesk Maya 2018.



**Figura 11.**

Selección de materiales y texturas en Autodesk Maya 2018.



#### 1.3.1.4 Iluminación.

Existen diferentes opciones al momento de generar la iluminación dentro del proyecto, ya sean de tipo puntual, direccional o de área, cada una de estas con diferentes opciones de intensidad o color, propiedades que pueden ser modificadas.

**Iluminación puntual:** Es aquella que emite luz desde una ubicación establecida o fija que engloba todo el espacio, suele llamarse también luz omnidireccional.

**Iluminación direccional:** Este tipo de iluminación es semejante a la luz solar, ya que emite luz directa hacia un punto en específico.

**Iluminación de área:** Podemos decir que la iluminación de área se refiere a aquella que emite rayos luminosos dentro de un espacio determinado, con el objetivo de crear sombras suaves y realistas.

Se debe tener un entendimiento básico de cómo funciona la iluminación en un objeto 3D, ya sea dentro o fuera del mundo digital, los conceptos no cambian, pero el comportamiento de una luz generada digitalmente siempre tendrá características específicas, las cuales se deben trabajar para su correcta diseminación dentro del área seleccionada. Ver Figura 13

#### Figura 12.

Iluminación de ambiente interior digital.



JhonnD. (2019). Long Bathroom Desing. Free3D. <https://n9.cl/nhfqr>

#### 1.3.1.5 Uso de cámaras.

Al desarrollar un proyecto 3D donde pretendemos generar elementos donde se necesita mostrar diversos puntos de enfoque, necesariamente se debe trabajar dentro de un software



que preste esta opción, por ello Autodesk Maya dispone tres tipos de cámaras, estas pueden ser:

- Cámara Normal: Estas tienen la posibilidad de moverse, trasladarse y rotar de manera totalmente independiente.
- Cámara de Punto Fijo (aim) y de Balanceo (aim up): Este tipo de cámaras cuentan con la opción de trasladarse libremente, pero a su vez no podrá rotarse de manera propia, ya que si se desea que rotar se debe generar y ejecutar a través de una cámara que cuente con un con un tirador de balanceo.

También podemos mencionar que dentro de las cámaras libres cuentan con una herramienta que nos ayudará a fijar un “punto de objetivo” y así tener una mira mucho más exacta de lo que buscamos obtener con nuestra cámara.

#### **1.3.1.6 Renderizado.**

El renderizado de un proyecto consiste tomar la escena de un proyecto 3D, ya sea estática o animada y traducirla a una imagen bidimensional o un video depende del proyecto, todo esto en base a la escena que ha sido creada y en las cuales se aprecian todos los pasos antes descritos.

Podemos mencionar que al momento de realizar un renderizado es fundamental el uso de una cámara dentro de la escena, esta cámara se encargará de captar exactamente los elementos o partes específicas del proyecto, de esta manera obtendremos un resultado de lo que buscamos y de cómo lo queremos presentar.

Los motores de renderizado son programas que nos ayudarán dentro del proceso, ya que estos toman la información creada dentro del proyecto 3D y la procesa para convertirla en una imagen 2D o video. Existen diversos motores de render que nos permiten conseguir resultados de acuerdo a lo que estemos buscando, entre los que podemos mencionar 3delight, appleseed, Arnold entre otros.

#### **1.3.2 Consideraciones del modelado 3D y su aplicación.**

En cuanto a la composición que se usa para poder poner en marcha un proyecto basado en realidad aumentada se debe tomar en cuenta que el modelado 3D es prácticamente un pilar fundamental dentro del proceso, por esta razón Caro, (2012) resalta:

El ámbito del turismo no escapa al uso de modelos tridimensionales, estos aumentan el realismo y facilitan las labores de visualización e incluso de interpretación de una realidad que antes de iniciar un viaje está alejada y muchas veces no es conocida.

Podemos hablar de gráficos en tercera dimensión cuando estos necesitan de 3 planos para su generación, en los cuales se usarán las coordenadas  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , distribuidos en un espacio determinado.

También podemos referirnos a gráficos en tercera dimensión producidos mediante una computadora, para ello existen diversas y amplias posibilidades de programas al alcance del programador para generar estos gráficos.

Se debe tener una previa conceptualización del elemento que se desea desarrollar en 3D, esto es fundamental para que el desarrollador analice las características esenciales en cuanto a forma, proporciones y características.

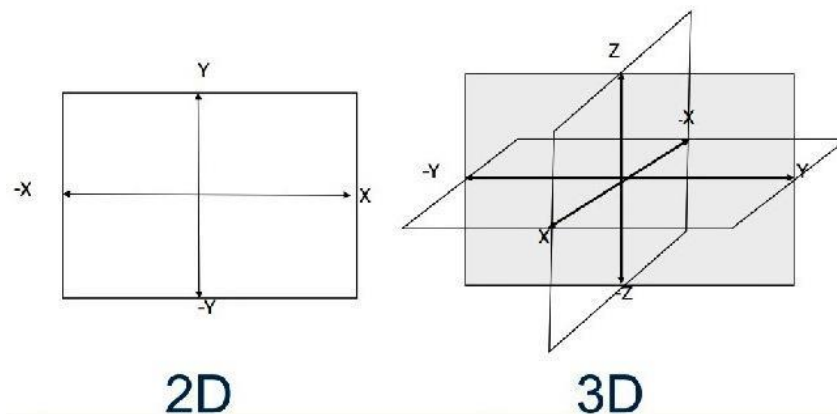
Esta conceptualización previa se debe siempre llevar acorde al software que se planea utilizar, analizar sus particularidades y tomarlas en cuenta para una correcta ejecución.

Al mencionar un elemento 3D y compararlo con cualquier otra representación bidimensional existen ciertas particularidades y diferencias entre ellos, por ejemplo, el elemento 3D necesita de un cierto análisis y cálculo numérico, además de un uso de figuras geométricas y sus derivados. Por otra parte, cualquier otra figura o elemento bidimensional, si bien se puede mencionar el uso de figuras geométricas para su construcción, estos carecen de los planos tridimensionales antes mencionados.



**Figura 13.**

Representación de un plano cartesiano en 2D y 3D.



Plano Cartesiano. (s.f.). ¿Cómo hacer un plano cartesiano tridimensional? Plano Cartesiano  
<https://n9.cl/pt5qd>

#### 1.4 Realidad Aumentada

La Realidad Aumentada abarca toda aquella información visual digital añadida a un entorno existente, mediante el uso de la cámara de un dispositivo en específico, que tenga instalada un software especialmente destinado para la ejecución de elementos.

Se limita la Realidad Aumentada a un concepto netamente visual, si bien es cierto que muchas veces se los puede manipular, rotar y analizar, estos objetos carecen de las características tangibles de la materia propios de un objeto real. Romero, M. & Harari, I. (2017) señala lo siguiente:

El objetivo de la RA es ofrecer una experiencia al usuario en el que desaparezcan las barreras entre lo real y lo virtual, de modo que éste pueda crear un entorno a su antojo, y que todo esto se consiga sin que el usuario tenga que llevar consigo dispositivos aparatosos ni extremadamente complejos. (p. 41)

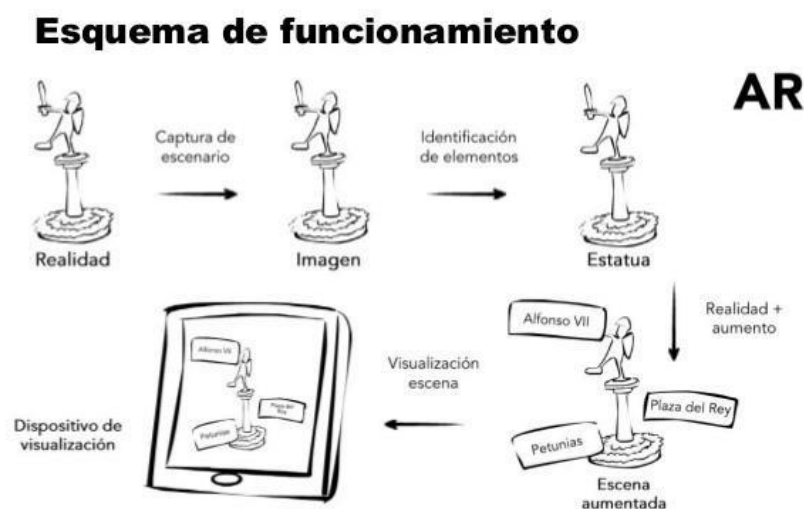
La Realidad Aumentada ha sido un campo reciente y que ha tenido gran aceptación, se ha derivado de la Realidad Virtual, aunque de cierta manera puede llegarse a confundir muchas veces los términos Realidad Aumentada con Realidad Virtual, sin embargo, existen grandes diferencias entre ambos, con esto en mente expondremos algunos de ellos (Agüero, A. M. & González, R. 2014, p.57)

- Entendemos por realidad virtual como un espacio ficticio en el cual todos sus componentes fueron creados virtualmente, esto con el fin de que el usuario se sumerja dentro del entorno y así se sienta parte del mismo.
- La Realidad Aumentada como se indicó anteriormente y a diferencia de la realidad virtual, añade elementos ficticios a un entorno existente, es decir, la mezcla entre lo real y lo virtual.

A continuación, se puede observar una gráfica en el cual se especifica el proceso de funcionamiento y ejecución de la Realidad Aumentada, cabe recalcar que mediante el uso de esta tecnología se puede llegar a proyectar imágenes, vídeos, elementos en 3D en información, todo esto con distintos fines para el usuario y sus intereses.

**Figura 14.**

Proceso de ejecución de realidad aumentada.



Manuel Arzuza. (2023). Realidad Aumentada curso, Slideshare. <https://n9.cl/4kbnm>

#### 1.4.1 Realidad aumentada aplicada como medio de interacción turística

Como se ha establecido en páginas anteriores, podemos decir que dentro de un mundo que se agiganta tecnológicamente día tras día, no se puede dejar de lado el campo turístico, por lo tanto, cabe recalcar lo mencionado por Ruiz, (2016):

Las aplicaciones que ofrece la tecnología de Realidad Aumentada para el turismo cultural han gozado de un gran desarrollo en los últimos años, debido a su gran atractivo para el público en general y por otra parte gracias a la evolución tecnológica que está sufriendo el campo de la telefonía móvil paralelamente, que han hecho

posible que en un solo dispositivo se pueda aplicar un sistema basado en esta tecnología mediante la introducción de un software determinado. (p. 26-27)

Lo cierto es que, la AR brinda un montón de beneficios al turista o persona que la ejecute, siendo esta de gran ayuda para una buena experiencia del usuario, entre los que podemos mencionar:

- Brinda gran cantidad de información, que puede llegar a ser personalizada según la necesidad.
- Permite una mayor interactividad para el turista al momento de visitar el destino.
- Extender la experiencia de AR hacia el campo educativo, en especial con los usuarios de educación temprana, quienes encuentran más atractivo los medios digitales.
- Ayuda con la preservación y el cuidado del patrimonio cultural, de esta manera se evita su deterioro o destrucción.

**Figura 15.**

Realidad Aumentada en dispositivos móviles.



Pascual Estapé, J. Antonio. (2017). Cierra Google Tango, el primer proyecto de realidad aumentada. <https://n9.cl/1c3xjz>

### **1.4.2 Componentes de Realidad Aumentada**

La Realidad aumentada como ya hemos mencionado con anterioridad, es la acción de plasmar o colocar un elemento digital dentro del mundo real mediante el uso de tecnologías y programas destinados para esto, todo esto con el fin de que el resultado se ejecute en tiempo real y de una manera interactiva con el usuario mediante el uso de una cámara previamente programada y un elemento real y gráfico, mismo que al ser escaneado, sirva como ejecutante del objeto en realidad aumentada. Partiendo de esto se pensaría que el desarrollo de un proyecto basado en Realidad Aumentada podría llegar a ser complejo y tedioso, pero si se desarrolla con un orden establecido y siguiendo rigurosamente cada una de las etapas de las que está conformado se obtendrán buenos resultados.

#### **1.4.2.1 Elementos de diseño e interacción AR.**

Dentro de un correcto desarrollo de lo que llamaríamos una aplicación viable para el usuario y su desempeño se debe pensar fundamentalmente como este se desenvolverá dentro de la App, si es entendible lo que se ha querido conseguir durante su desarrollo y cómo la gente que la usará lo entenderá, y que se llevará de la experiencia, pero es muy necesario que tanto la interfaz de la aplicación, su construcción creativa y su interacción con el usuario, ya sea esta mediante botones, audios, videos o fotografías se desenvuelva de manera coordinada, eficaz y perceptible.

#### **1.4.2.2 Marcadores.**

Un marcador dentro del mundo de la Realidad Aumentada es el cual le brinda a la aplicación desarrollada una clave o un activador sobre el cual se proporcionará la información que está destinada a interactuar con el usuario. Este marcador o “saltador” puede ser cualquier objeto 2D, el cual se debe escanear con una cámara, siguiendo esto podemos decir que este proceso AR está basado en reconocimiento 2D.

Dentro de los distintos tipos de reconocimientos de marcadores, existen desarrolladores que utilizan espacios o superficies para utilizarlas como marcadores, de esta manera gozan de una interactividad mucho más desarrollada con el usuario, ya que es este el que decide cómo ejecutarla y dependiendo de las características, dimensiones y cantidad de elementos 3D dentro de la escena se logrará una buena experiencia.

**Figura 16.**

Marcadores en AR.



Master Móviles UA. (2018). Realidad Aumentada. Máster Móviles UA. <https://n9.cl/sa8o1f>

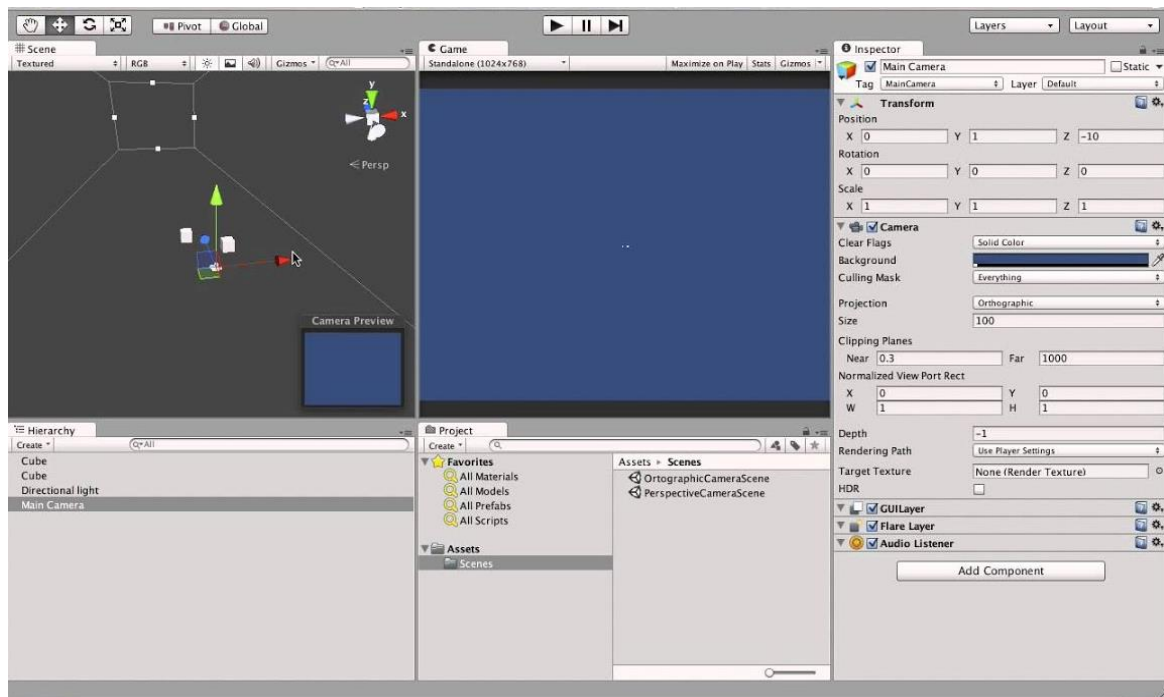
#### **1.4.2.3 Cámaras AR.**

Dentro del mundo de la realidad aumentada generalmente una cámara AR viene incorporada con un hardware especial, los cuales son capaces de detectar profundidad, distancia y cada uno de los elementos inmersos en la escena creada.

En un proyecto el cual generará una acción de AR a partir de la lectura de un marcador, las cámaras disponen de distintas funcionalidades dentro del programa y dependiendo del uso que busquemos dar. Además, una Cámara AR dentro de diversos programas que nos ayudan a generar aplicaciones en realidad aumentada usualmente brindan una previsualización de lo que la cámara está captando.

**Figura 17.**

Manejo y funcionamiento de cámaras AR en Unity 3D.



#### 1.4.2.4 Softwares y aplicaciones

Al hablar de un software o aplicación para generar realidad aumentada nos referimos a un programa informático dentro de un ordenador, el cual nos ayudará a analizar, generar y desarrollar el elemento en cuestión, de esta manera el programa destinado a estas acciones deberá procesar y ejecutar la información recibida, transformándola en información AR.

Existen diversos programas los cuales nos pueden servir como un motor para generar proyectos en realidad Aumentada, cada uno de ellos con acciones similares y diferentes a la vez, pero con el mismo objetivo, entre los cuales tenemos:

- **Unity Engine**

Unity es una potente herramienta de desarrollo para videojuegos perteneciente a la empresa Unity Technologies. Unity puede servir de gran ayuda no solo como motor de renderizado de alta tecnología de imágenes, sino también para desarrollar experiencias interactivas tanto en Realidad Aumentada como Realidad Virtual.

**Figura 18.**

Isotipo de Unity Engine.



El equipo de 3DJuegos. (2014). El engine Unity recibe una significativa mejora en términos de físicas. 3djuegos. <https://n9.cl/s0tz8>

- **Hero Engine**

Hero Engine es un motor para generar videojuegos en 3D, desarrollado por la empresa Simutronics Corporations. Entre los beneficios que dispone este motor es el poder de trabajar dentro de él, en línea, esto supone una colaboración en equipo en el cual se pueden ir analizando y modificando el trabajo en tiempo real. Esto ha generado un gran prestigio al programa.

### **1.5 Análisis de Homólogos**

Un proyecto similar que podría servir de base para este es uno aplicado en la ciudad de Querétaro en el cual menciona Anaya, K., Paredo, R. & Paredo, I., (2014) se utilizó el funcionamiento de Unity con ayuda de la plataforma de Vuforia, misma que permitió la implementación en AR, la cual se destinó al sector del turismo.

Partiendo de lo antes mencionado, dentro del análisis de homólogos hemos tomado en cuenta los siguientes ejemplos de ciudades que han promovido el turismo a través de medios digitales, para a partir de ello tener una referencia clara para nuestro proyecto, haciendo un análisis de estilo y construcción.



Homólogo Directo

Smartech Group

Este grupo de programadores y diseñadores brinda la experiencia de vivir la realidad aumentada de varios destinos turísticos alrededor del mundo, en el siguiente ejemplo podemos ver una imagen de la Sagrada Familia en Barcelona, España, misma que se puede apreciar desde el punto de vista de un catálogo impreso en el cual se explica cómo interpretaría el uso de la Realidad Aumentada. Ver Figura 19.

**Figura 19.**

Interpretación en AR del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia



Smartech Group. (2019). La realidad aumentada en España en 2019. Smartech Group. <https://n9.cl/eiuok>

Características del proyecto

Este proyecto de realidad aumentada, a base de modelado poligonal, brinda la oportunidad de ejecutarla con tan solo escanear la imagen e interpretarla en la aplicación AR MAPP que puede ser descargada desde Google Play o App Store.

Contenido

Además de estar la representación en AR de la catedral, contiene un audio guía incorporado con información y datos sobre el monumento.

Ambientación



Se puede apreciar un texturizado de alta calidad, un uso de luces y sombras adecuado, acorde a lo que se espera de un proyecto en AR, y en cuanto a la cromática del elemento es un tono bastante aproximado al del original.

### Interacción y Función

Como principal función está la de brindar a sus usuarios una experiencia de alta calidad mediante el uso de la tecnología AR, la aplicación dispone de un Visión de la Sagrada Familia con tecnología de Realidad Aumentada en 3D y movimiento rotatorio automático.

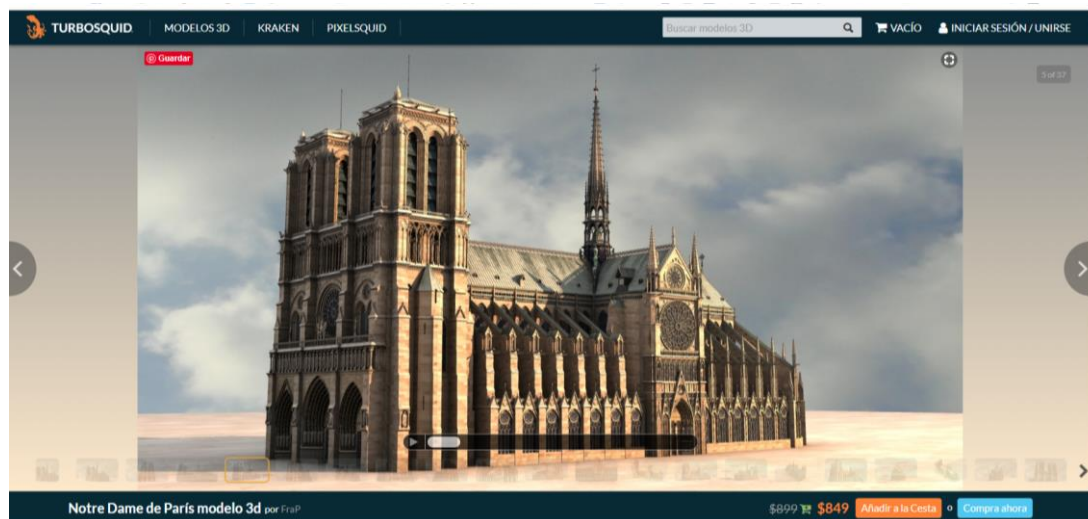
### Homólogo Indirecto

#### Turbosquid

Es una página que brinda a sus compradores la oportunidad de adquirir diversos trabajos que realizan y son subidos a la plataforma, en este caso la Catedral de Notre Dame como se aprecia en la imagen. Ver figura 19.

#### **Figura 20.**

Catedral de Notre Dame, modelada y texturizada en 3D



FraP. (2023). Notre Dame de París modelo 3d. Turbobosquid. <https://n9.cl/ia5jk>

### Características del proyecto

Este trabajo está realizado a base de modelado poligonal, en el programa 3ds Max 9, pero cuenta con formatos convertidos en Cinema 4D y Autodesk Maya. Lo que se busca rescatar de este homólogo es la calidad del resultado del modelado 3D.

### Contenido

Aparte del modelado poligonal que viene ya construido en su aplicación nativa que es 3ds max y está organizada por layers, además se puede editar las capas y el modelado a conveniencia del usuario y sus necesidades.

### Ambientación

El modelado como tal ya es de un muy alto nivel, más allá de eso el uso de cámaras y texturizado del elemento es ya de un estándar realístico, la escena cuenta con un fondo adecuado para que el usuario analice a la perfección el nivel de diseño que dispone el proyecto.

### Interacción y Función

Ofrecer al usuario un modelado de alta calidad de la edificación, con todas las especificaciones necesarias para que este las ejecute según su conveniencia.

## Capítulo 2. Propuesta de Guía Metodológica.

### 2.1 Planificaciones

Para empezar con las planificaciones debemos guiarnos mediante planos de la estructura, los cuales obtenemos de Bravo, D. H. & Molina, V. A (2013). Determinación del origen de las patologías estructurales en la Catedral Nueva Inmaculada Concepción de Cuenca (Tesis Previa a la obtención del título de Ingeniero Civil). Universidad de Cuenca.

Procedemos a manipular estos planos y adaptar sus medias a las deseadas por el modelador, ya que es fundamental que cada imagen perteneciente a los planos cartesianos tenga las mismas medidas y proporciones. Una vez realizado este procedimiento continuamos a importar estas imágenes al programa de modelado 3D, las colocamos y ubicamos en cada escena correspondiente. Se debe tener muy en cuenta cada una de las propiedades de estas imágenes, ya que de ellas dependen las características que tendrán el modelado a futuro.

#### 2.1.2 Recolección, edición y análisis de planos

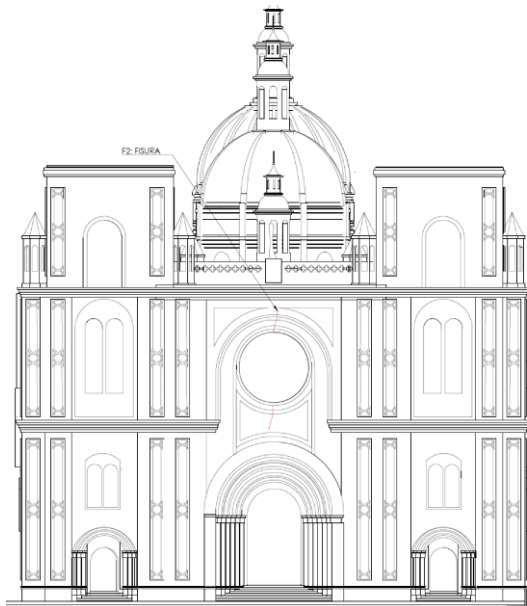
Para empezar con el modelado poligonal en el programa 3D establecido se debe obtener los planos y elevaciones adecuadas para la ejecución de la planificación.

establecen los planos tanto frontales, posteriores, y elevaciones laterales entre otros recursos que serán de ayuda en este proyecto de titulación.

Se debe especificar que como este proyecto está destinado a desarrollar únicamente la fachada externa de la edificación, se tomarán únicamente los gráficos e imágenes correspondiente a la parte exterior, por tanto, tomaremos como referencia las siguientes elevaciones:

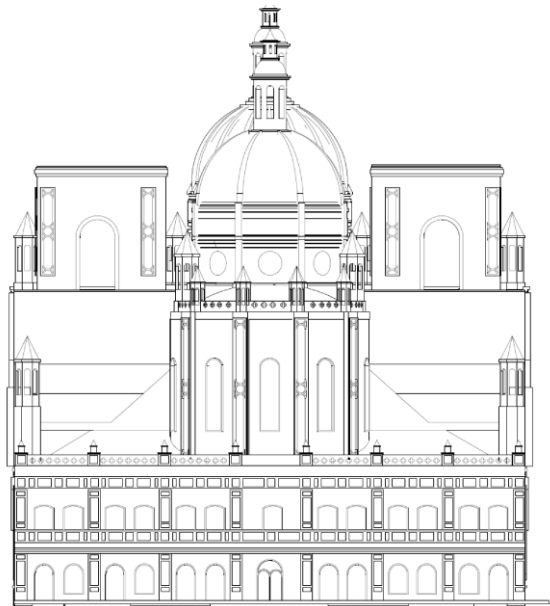
**Figura 21.**

Vista Frontal Catedral.



**Figura 22.**

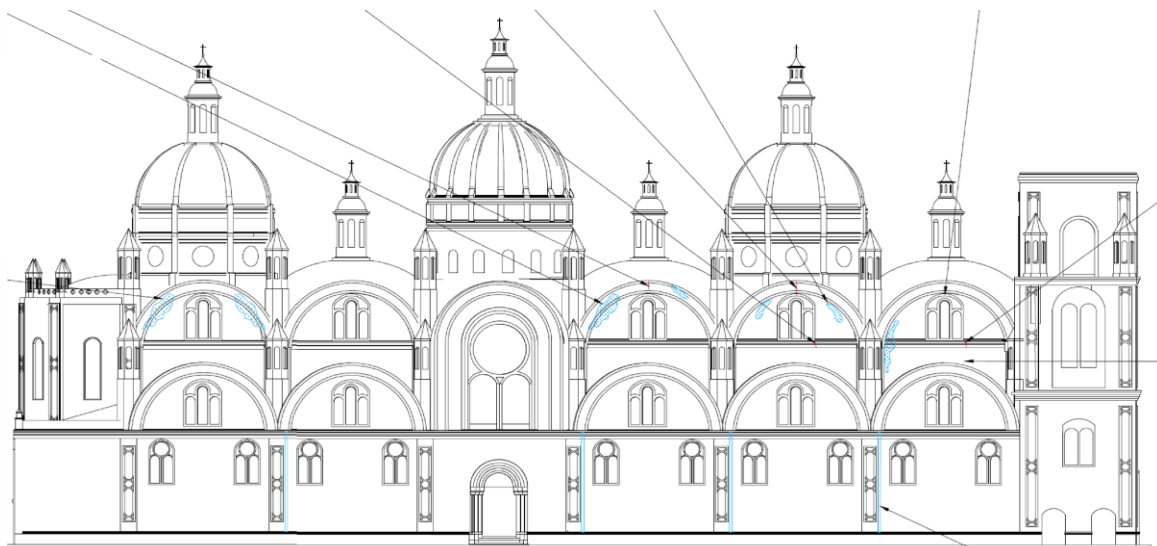
Vista Posterior Catedral.



Bravo Caguana, D., Molina Villavicencio, V. Determinación de patologías estructurales existentes en la Catedral Nueva Inmaculada Concepción de Cuenca. Repositorio Institucional Ucuencia. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4529>

**Figura 23.**

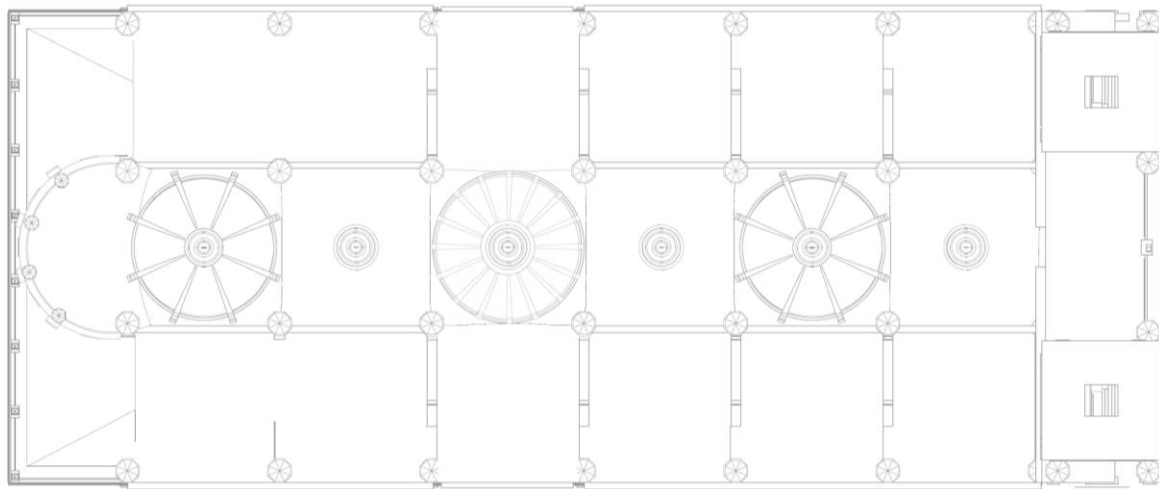
Vista Lateral Izquierda Catedral.



Bravo Caguana, D., Molina Villavicencio, V. Determinación de patologías estructurales existentes en la Catedral Nueva Inmaculada Concepción de Cuenca. Repositorio Institucional Ucuencia. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4529>

**Figura 24.**

Vista Superior Catedral.



Bravo Caguana, D., Molina Villavicencio, V. Determinación de patologías estructurales existentes en la Catedral Nueva Inmaculada Concepción de Cuenca. Repositorio Institucional Ucuena. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4529>

## 2.2 Análisis de Modelado de la Catedral de la Inmaculada 3D.

Ya generados y colocados los blueprints dentro del software 3D damos paso al modelado, para este proyecto utilizaremos el modelado a partir de un cubo, cilindros o esferas, las cuales nos serán de mucha ayuda en un principio. Una vez tengamos una proyección bastante general del elemento se empieza a realizar diversos cortes en sus caras poligonales, dando paso así a la expansión de las mismas según sea necesario basándose en los planos y en las proporciones establecidas.

Existen diversas herramientas o “Tools” dentro de diversos programas 3D, cada una de estas herramientas disponibles en cada software permite generar una acción establecida, en ciertos casos existen más de una forma de realizar una acción, depende del desarrollador 3D y sus conocimientos para aplicar las que faciliten el proyecto y su construcción.

Podemos sacar beneficio de cada una de las herramientas dentro del programa Autodesk Maya, una de estas es la llamada “Duplicate” la cual dentro de este proyecto será de gran ayuda ya que la Catedral a ser modelada, en su gran mayoría, de similares proporciones y características tanto en su estructura como en su edificación del lado izquierdo y del lado derecho.

Ya una vez que hemos avanzado considerablemente el modelado según las especificaciones de su forma básica, se debe empezar a “perfeccionar” cada uno de los detalles que lo conforman, como las puertas, las ventanas, los detalles mínimos que conforman las cúpulas o los bordes de la catedral, ya sea añadiendo más vértices y bordes. Es de vital importancia dentro de la etapa del modelado que todo elemento que se vaya a repetir dentro de la escena sea y tenga exactamente las mismas características que la pieza original, ya que muchas veces al realizar algún cambio dentro del modelado original se pasa por alto el hecho de cambiar todas las demás.

Cabe recalcar que la manera en la que se trabajen estas acciones se verán reflejadas en las etapas posteriores del modelado, ya que podrían ahorrarnos tiempo en cuanto al proceso de desarrollo.

### **2.2.1 Diseño de materiales de la Catedral de la Inmaculada**

Una vez concluida la etapa de modelado en su totalidad, se dará inicio a la etapa de diseño de materiales, la cual se desarrollará dentro del mismo software que se está utilizando, en este caso Autodesk Maya. Este programa es bastante completo en muchos aspectos, uno de ellos es en cuanto al aplicar materiales, ya sea para aplicarlas mediante mapas UV's, materiales o cualquier otra técnica.

En este caso y específicamente para el desarrollo viable de esta etapa se usará la aplicación de Mapa de texturas fotográficas, y tomando en cuenta las diversas aplicaciones de materiales 3D con los que cuenta el programa, se podrá sacar gran beneficio de esto en cuanto a los distintos tipos de partes que tiene la Catedral y su interacción con la iluminación.

Por supuesto esto trae de la mano el uso de fotografías reales de cada una de las partes de la Catedral de la Inmaculada de Cuenca, esto incluye desde el tipo de ladrillo con los que cuentan sus paredes, hasta los distintos vitrales que rodean a la edificación, estas fotografías obtenidas en el proceso serán editados posteriormente en Adobe Photoshop, con el único objetivo de obtener exclusivamente la textura necesaria de un objeto en especial.

**Figura 25.**

Textura de Ladrillo de la Catedral de Cuenca.



Una vez obtenida la imagen que se usará como textura que cubrirá el objeto destinado dentro de la escena 3D, se procederá a el uso de Mapeo UV, que no es más que el proceso de cubrir una imagen 2D en un cuerpo tridimensional, como si de envolver un regalo se tratase.

Ya una vez cumplida esta fase solo nos bastará con ajustar la imagen cargada dentro del programa como papa UV y editar sus coordenadas y escalas para que se aplique perfectamente al modelado.

### **2.3 Programación y Desarrollo Aplicativo.**

Al analizar las herramientas de trabajo, Unity Hub en su versión 2.3.2 para 64 bits y el SDK Vuforia en su versión 9.2, es el software escogido para el acoplamiento con las diferentes etapas del proyecto, es decir crear la Realidad Aumentada y darle la funcionalidad con el diseño adecuado a la interfaz de usuario que tiene el aplicativo.



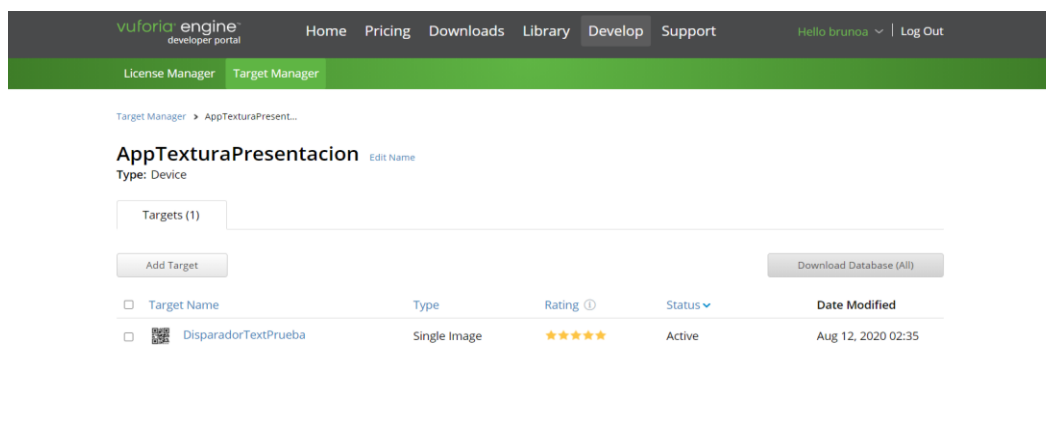
### 2.3.1 Creación de Marcadores en Vuforia

Antes de crear los marcadores en vuforia debemos entender que es un APK (Android Application Package) que no es más que el archivo ejecutable que contiene toda la información y datos necesarios para instalar y procesar una aplicación. Por otra parte, están los SDK (Software Development Kit) que son un conjunto de herramientas que nos permitirán el desarrollo óptimo de una aplicación para diversas plataformas.

Dentro de Vuforia la generación de marcadores es un proceso relativamente sencillo, creamos una nueva License Key, la llave que permite hacer uso del SDK, luego se añaden todos los marcadores o targets que se vayan a necesitar dentro de la aplicación, finalmente se descarga la Database que será importada al proyecto en Unity 3D.

**Figura 26.**

Creación de marcadores dentro de Vuforia Engine.



### 2.3.2 Desarrollo AR en Unity.

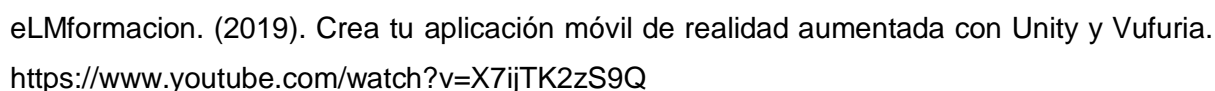
Una vez hayamos ejecutado todo lo necesario dentro de Vuforia para la ejecución del proyecto, procederemos a iniciar Unity, para esto se debe configurar previamente y de manera adecuada junto con Vuforia:

- Procedemos a generar un nuevo proyecto en Unity 3D.
- Ya generada la escena, importamos el SDK generado previamente en Vuforia.
- Importamos también el paquete correspondiente al marcador, de igual manera generado en Vuforia web.



- Una vez hayamos concluido con todos los ajustes necesarios que usaremos en nuestra escena, procederemos a importar cada uno de los elementos 3D que serán utilizados para la aplicación.

## Metodología dentro Unity 3D.



El programa Unity nos permite la importación de elementos 3D, en diferentes formatos como son .3DS,.fbx, .obj, etc. Esto no presenta problema alguno para este proyecto, ya que el objeto 3D generado en Autodesk Maya ha sido exportado en formato .fbx, y de igual manera será importado en la escena con este formato.

Cabe destacar que todas las propiedades de edición de un elemento 3D ajeno a los desarrollados en el software de Unity, ya sea de cualquier formato capaz de ser importado en Unity 3D, no podrá ser modificado ni manipulado, salvo la escala que este quiera tener en la escena y la posición que ocupará.

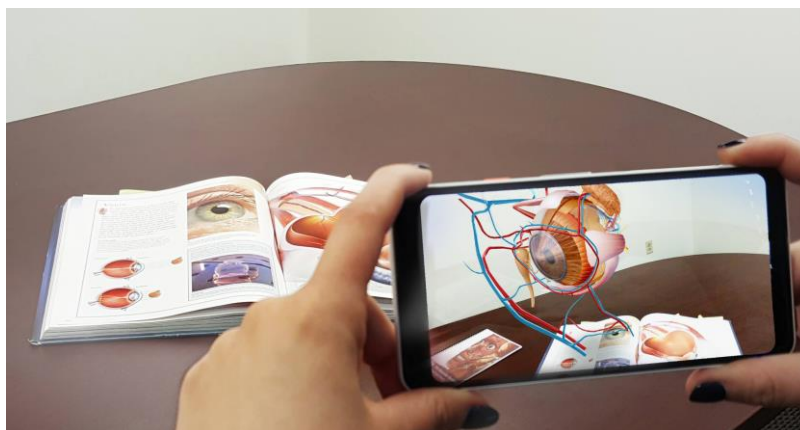
Adicional a esto, hay que aclarar que, si el elemento 3D generado fuera de Unity tiene algún tipo de textura generada en base a imágenes y mapeos, estas no serán importadas a la escena dentro de Unity, por lo cual se deberá proceder a crear una carpeta dentro de los assets de la escena de Unity, las cuales contendrá tanto el modelado 3D, y dentro de esta carpeta, se procederá a crear otra carpeta, la cual contendrá cada una de las imágenes que conforman las texturas utilizadas en el modelo.

#### 2.3.4. Códigos y algoritmos utilizados en la ejecución.

Una vez hemos ejecutado todo lo necesario para que nuestro elemento 3D sea el mismo dentro de la escena de Unity como el generado en Autodesk Maya, procedemos a generar el marcador que se debe visualizar de manera clara ya que ésta desplegará la acción en Realidad Aumentada. Este marcador puede ser generado de diferentes maneras, ya sea esta una imagen o un código QR, lo importante es que siempre sea una imagen clara para su lectura a través de la cámara del dispositivo. Posteriormente debemos copiar la Licence Key que generamos con anterioridad en Vuforia, además activar el Data Base que de igual manera lo generamos con Vuforia Web.

#### Figura 28.

Imagen escaneable para Realidad Aumentada.



Banana play. (s.f.). Con la realidad aumentada podrás enseñar de una forma diferente  
<https://n9.cl/075n9>

**Figura 29.**

Imagen escaneable mediante codificación QR para Realidad Aumentada.



ArDev. (2022). Realidad Aumentada. ArDev. <https://ardev.es/realidad-aumentada/>

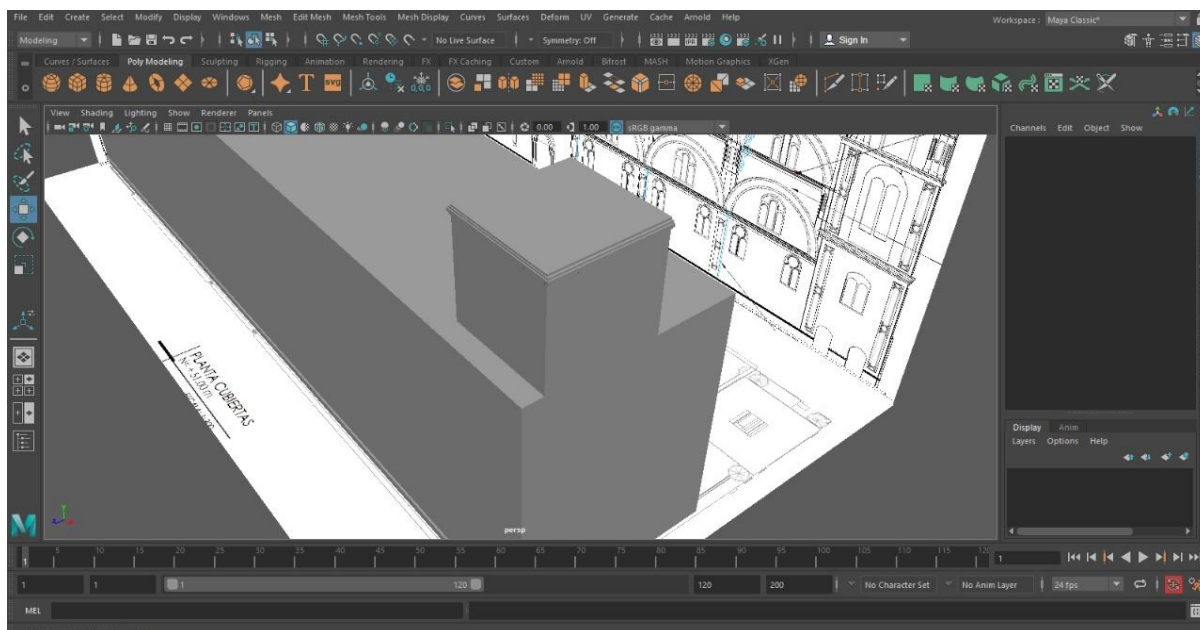
## Capítulo 3: Creación de aplicación

### 3.1 Proceso de Modelado 3D.

Dentro de esta etapa mencionamos la generación de los diversos objetos colectivos e individuales que forman parte de la Catedral de la Inmaculada Concepción de Cuenca, como los detalles que representan sus paredes o cúpulas, utilizando modelado poligonal en ciertos puntos y texturizando algunos otros de mayor complejidad.

**Figura 30.**

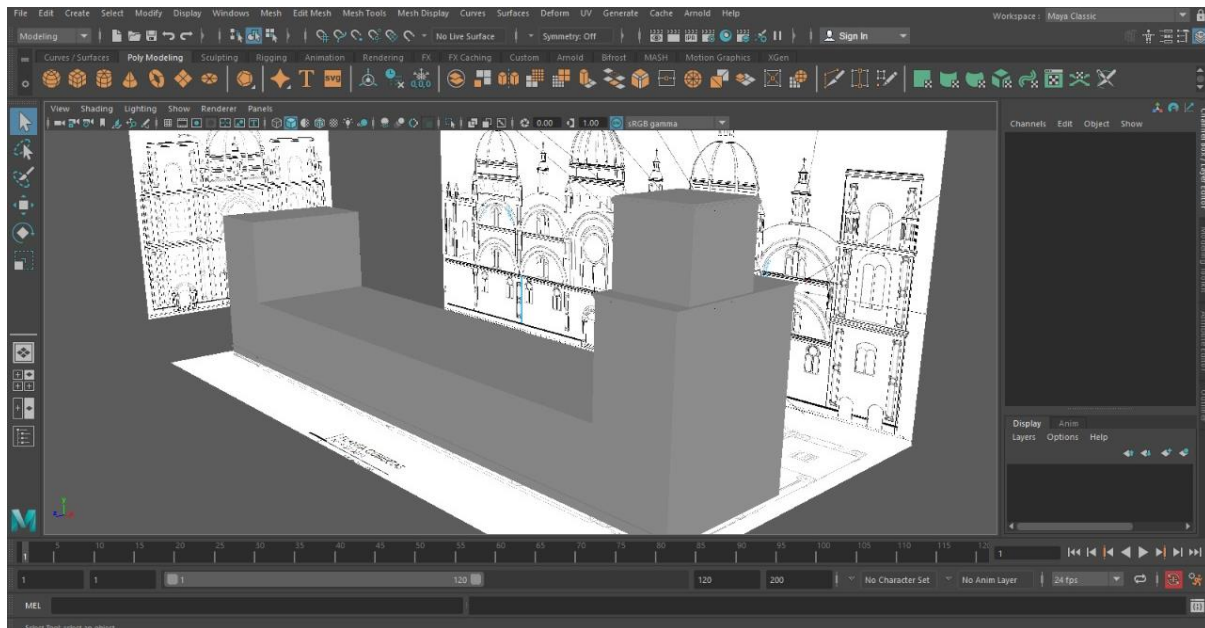
Estructura base de la Catedral.



Generación de los primeros polígonos en base a los Blue Prints importados en el programa inicialmente.

**Figura 31.**

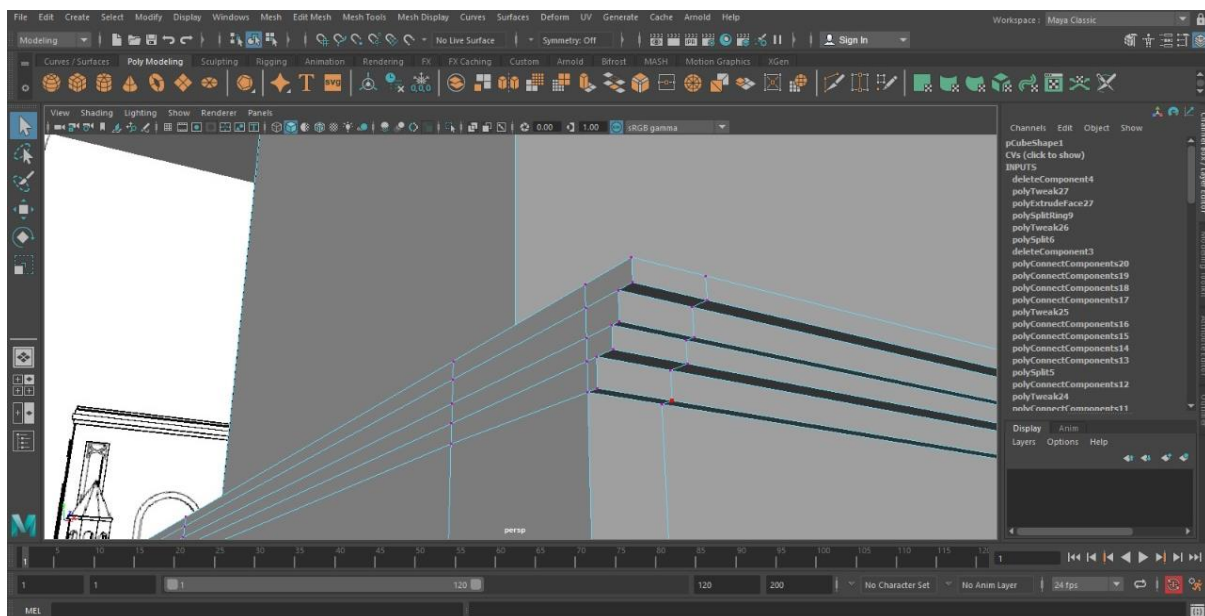
Extrusiones de caras del elemento para generar elevaciones.



Se generan extrusiones de las diferentes caras de los polígonos para ir definiendo el cuerpo general de la infraestructura.

**Figura 32.**

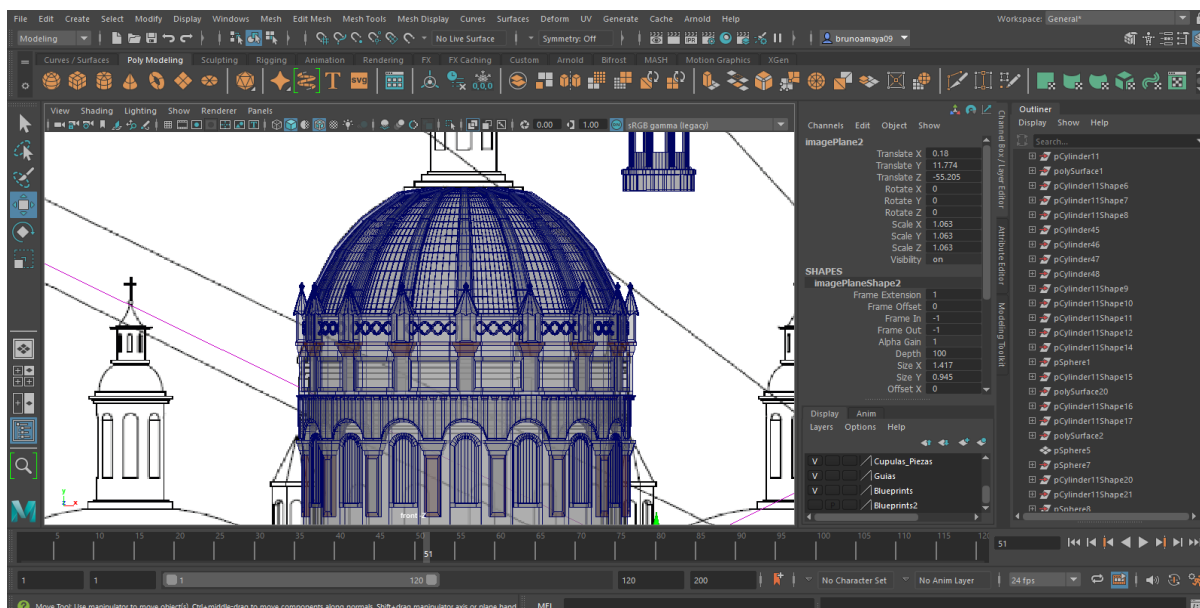
Modificación de vértices según especificaciones.





**Figura 33.**

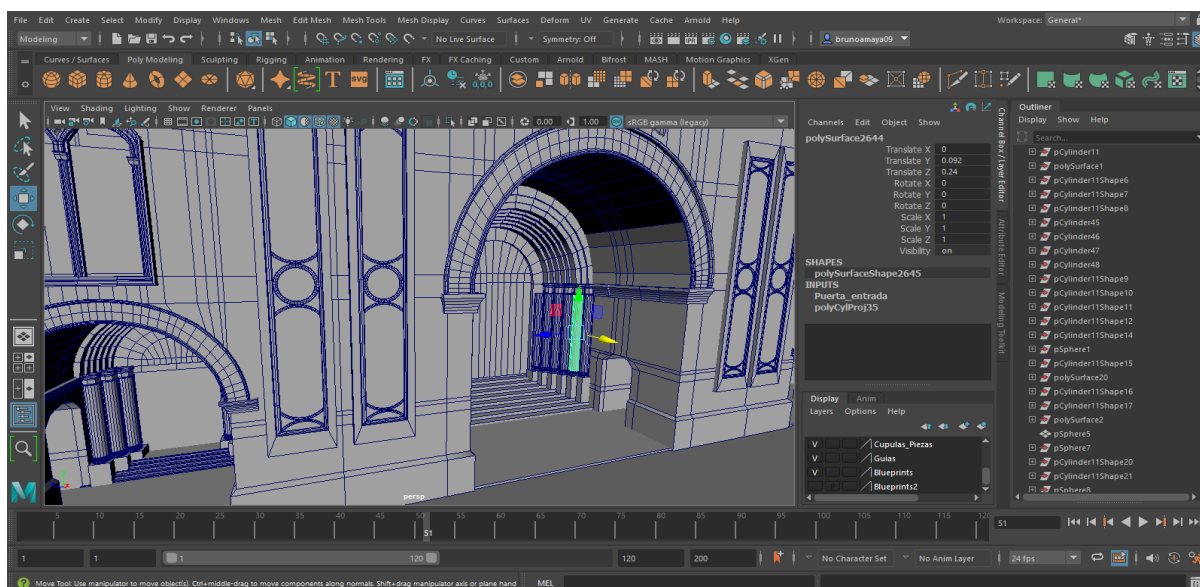
Detalle modelado de una cúpula de la Catedral.



Detallamos cada uno de los elementos de acuerdo a las especificaciones que nos brindan los blueprints, apegándose lo más posible a ellos, cabe destacar que siempre se debe buscar reducir lo máximo posible la cantidad de polígonos que usaremos dentro del proyecto.

**Figura 34.**

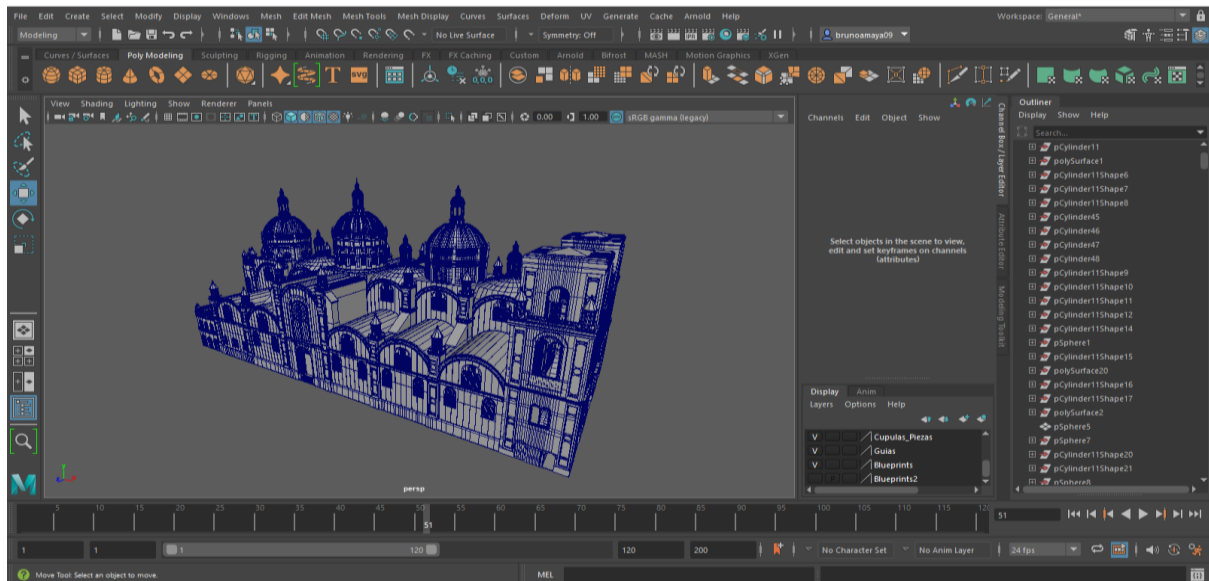
Detalle modelado de la entrada principal de la Catedral.



Los elementos a los cuales aplicaremos los materiales los debemos separar según su necesidad, de esta manera encontraremos más facilidad dentro de esta etapa.

**Figura 35.**

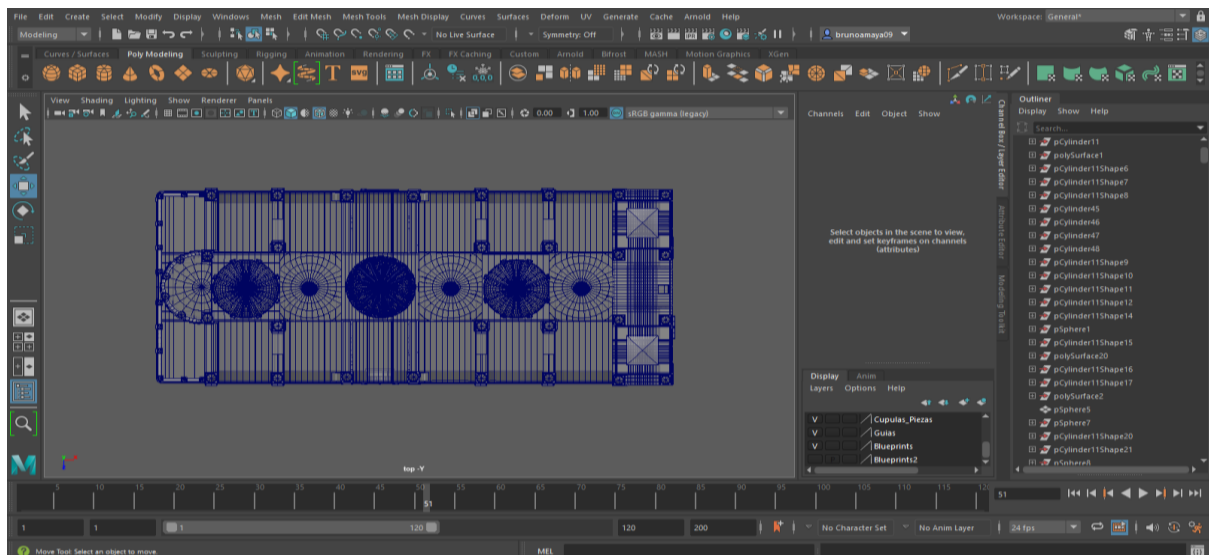
Vista general del modelado terminado de la Catedral.



Una vez que hemos concluido de modelar cada una de las partes que incorporan nuestro proyecto, el resultado se verá de la siguiente manera.

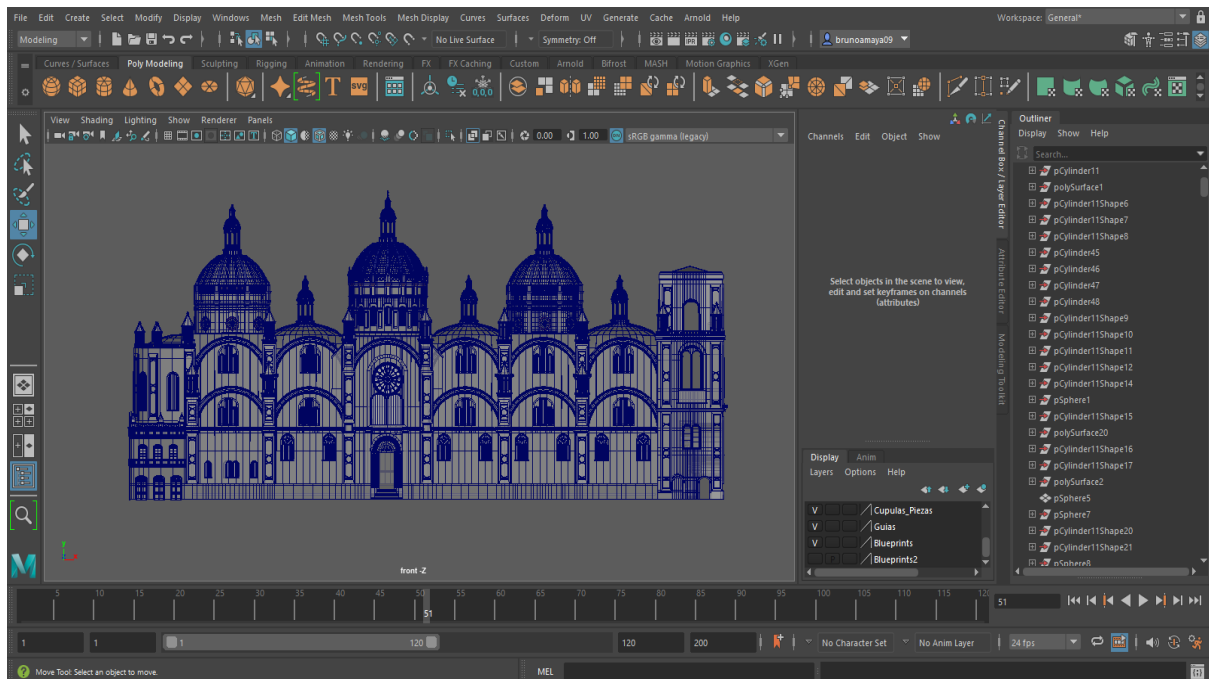
**Figura 36.**

Vista superior del modelado terminado de la Catedral.

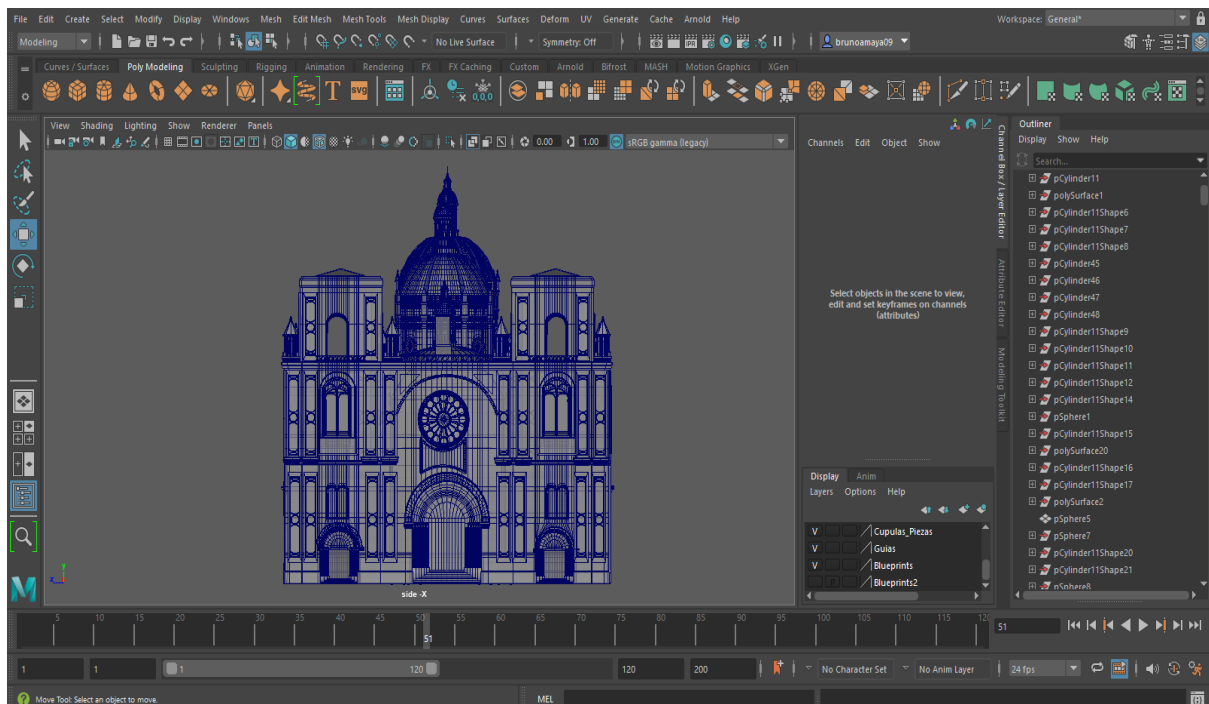


**Figura 37.**

Vista lateral del modelado terminado de la Catedral.

**Figura 38.**

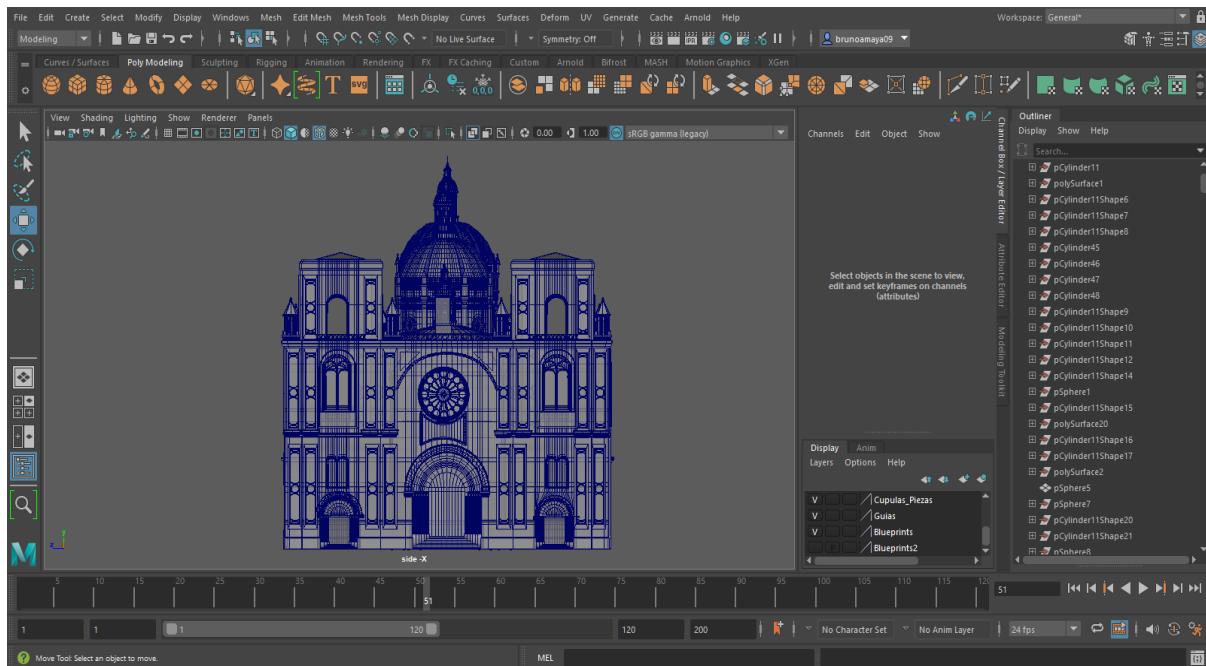
Vista frontal del modelado terminado de la Catedral.





**Figura 39.**

Vista posterior del modelado terminado de la Catedral.

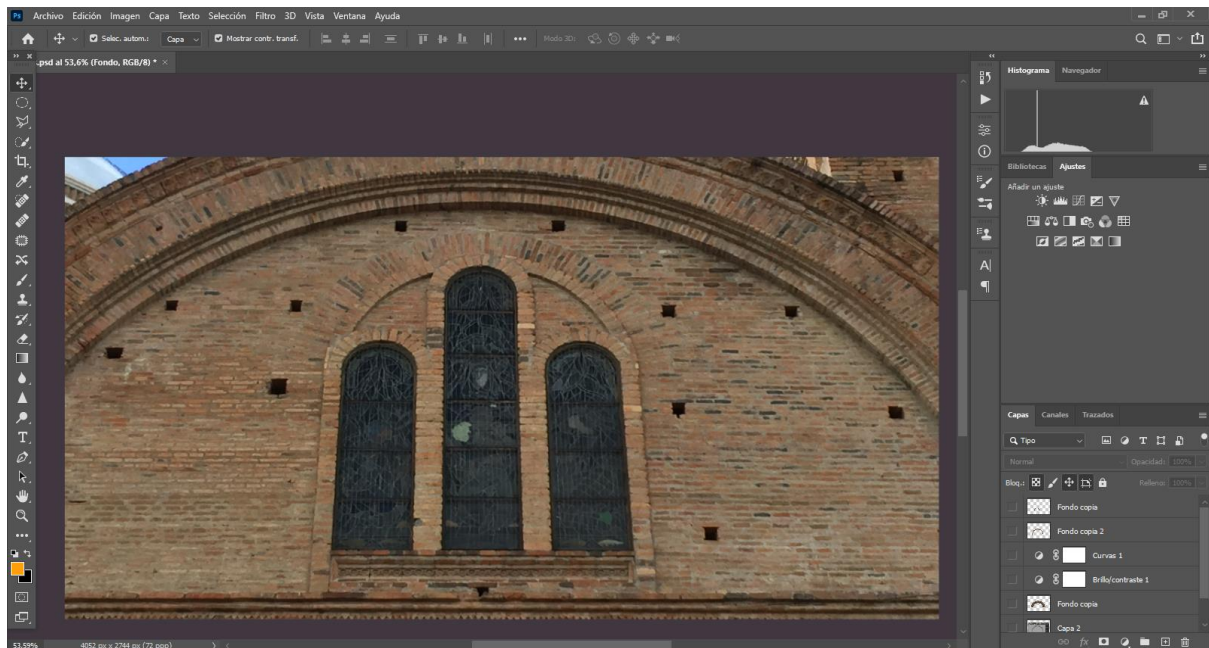


### 3.2 Aplicación de materiales al modelado 3D.

Una vez que hemos concluido en su totalidad el proceso de modelado continuaremos con la etapa de aplicación de texturas, que como su nombre nos indica, no es más que aplicar imágenes originales de las texturas que corresponden al elemento, las cuales deben estar preparadas con anterioridad de forma que sea más sencillo aplicarlas. Para este proceso nos ayudaremos del software Adobe Photoshop.

**Figura 40.**

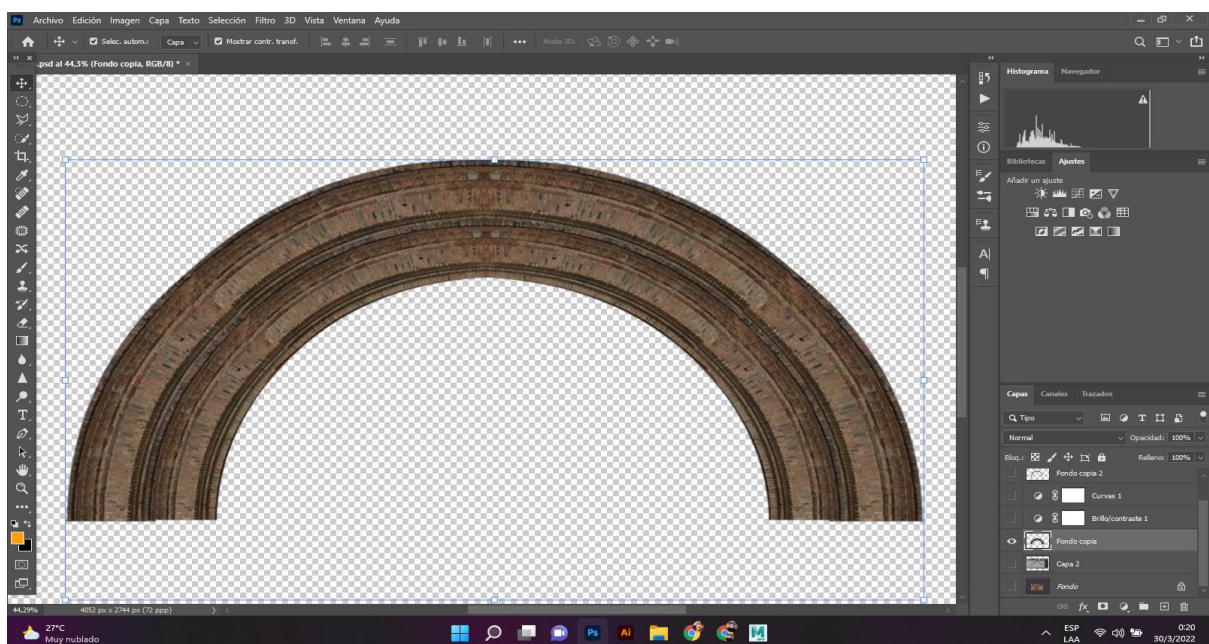
Edición en Photoshop de texturas.



Como se puede apreciar en la imagen, tenemos dentro del programa una imagen real de uno de los arcos que corresponden a las naves de la Catedral, a la cual procederemos a recortar y acoplar según su necesidad.

**Figura 41.**

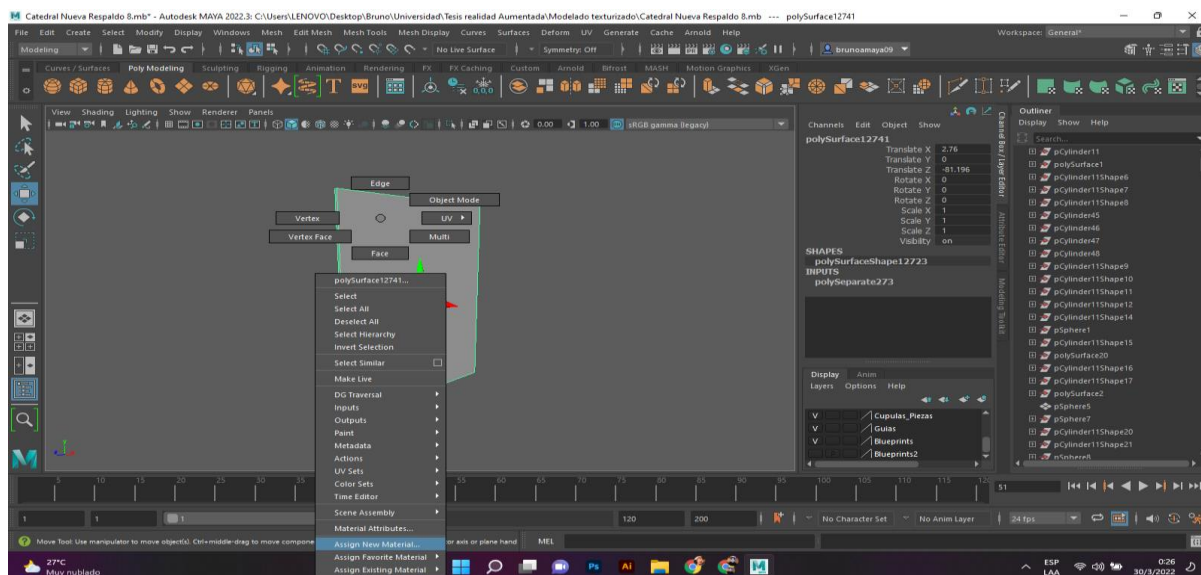
Textura editada sin fondo.



Una vez que se haya realizado este proceso, continuaremos a exportar la imagen en formato .png para más adelante proceder a aplicarla dentro del elemento modelado en 3D correspondiente.

**Figura 42.**

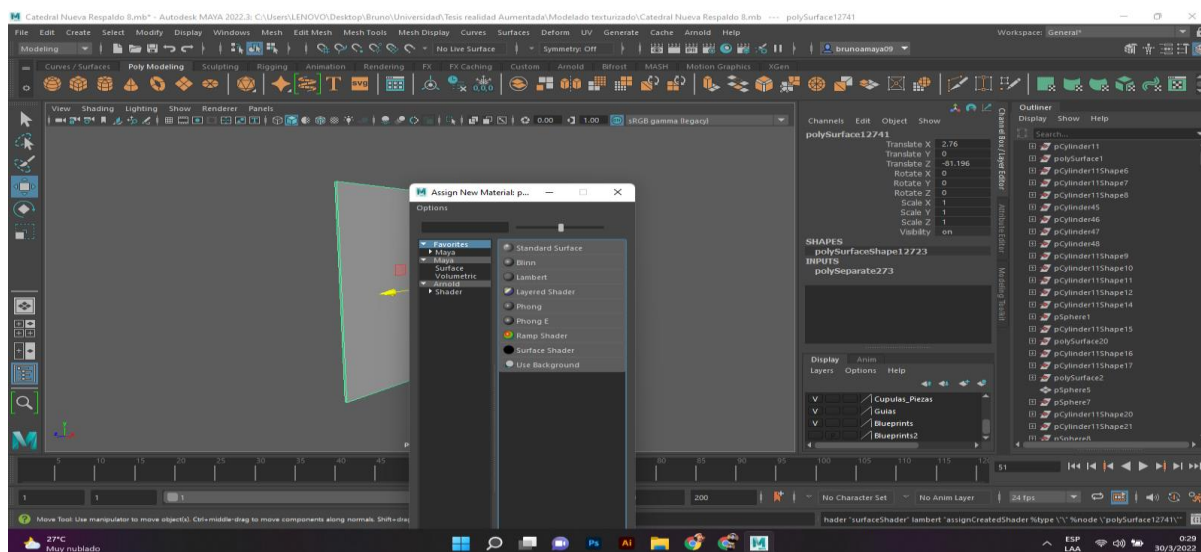
Aplicación de textura en Autodesk Maya.



Ya dentro del software Autodesk Maya procederemos a texturizar los elementos, con nuestra imagen lista para aplicarla, para lo cual usaremos la opción Assign New Material.

**Figura 43.**

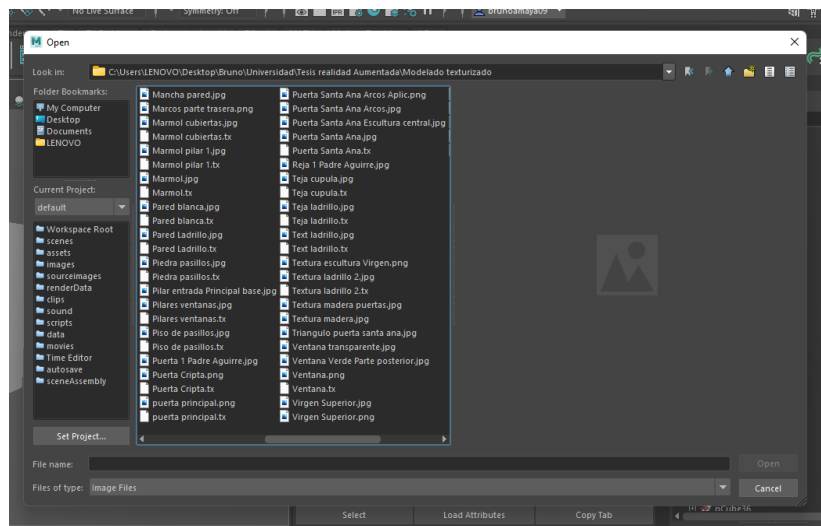
Materiales disponibles en Autodesk Maya.



Aplicamos el material más adecuado, entendiendo que esto depende de las características físicas de cada uno de los elementos que procederemos a editar.

**Figura 44.**

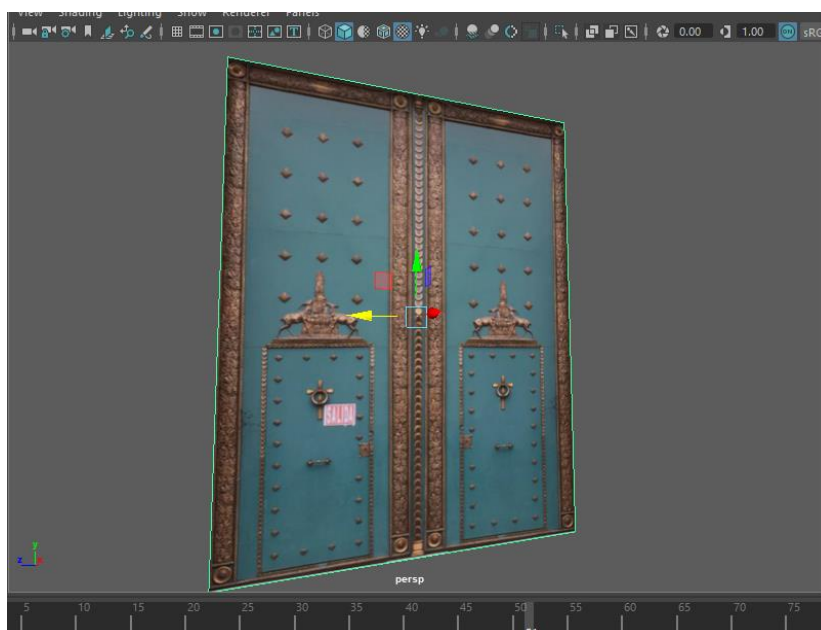
Archivos para texturas.



Una vez dentro del apartado de materiales continuaremos a cargar el archivo destinado a que envuelva la figura y se convierta en su resultado final.

**Figura 45.**

Puerta aplicada y acoplada a su textura.



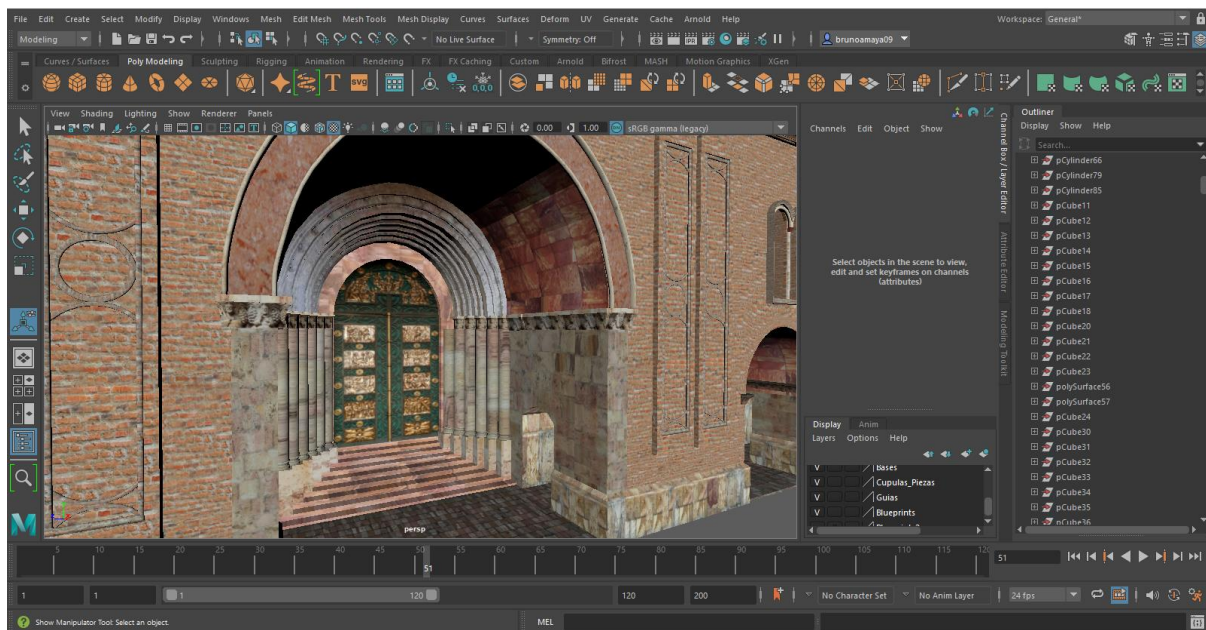


Cuando se nos importe la imagen lo único que debemos hacer es acoplar a la perfección dependiendo del eje al que pertenezca la imagen y escalarla para que nos quede totalmente calzada.

Continuamos con el texturizado todos y cada uno de los elementos que forman parte de la escena, hasta llegar al resultado deseado.

**Figura 46.**

Fachada frontal de la Catedral texturizada.

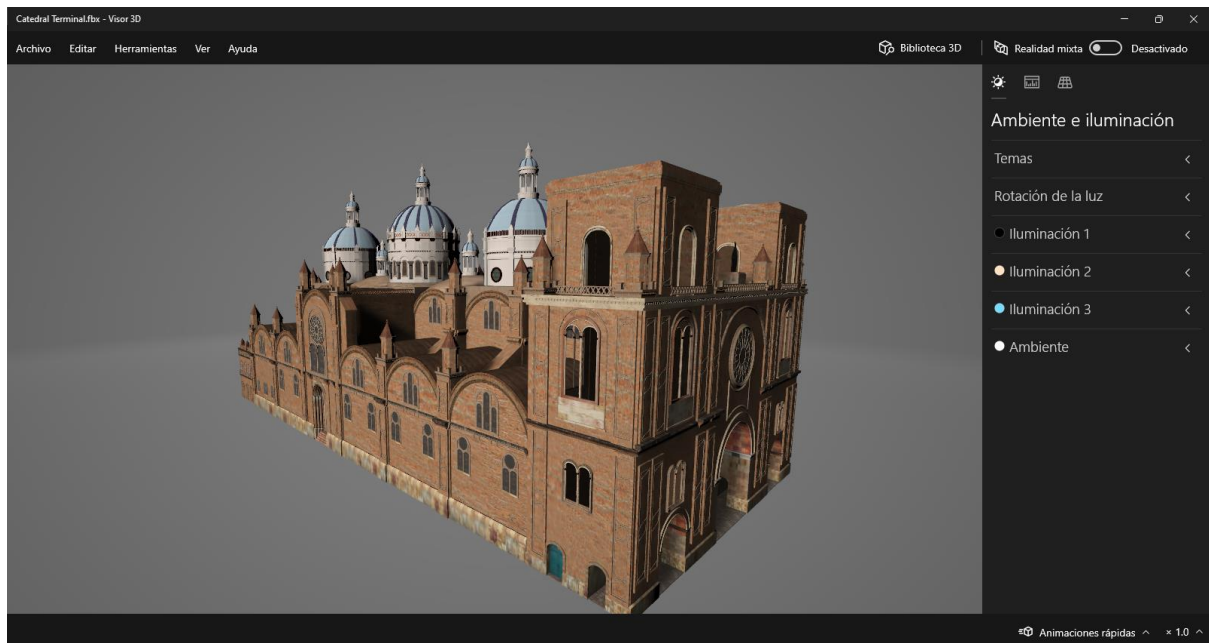


### 3.2 Exportación 3D e importación en Unity 3D.

Dentro de la etapa de exportación, procederemos a seleccionar todo el elemento que hemos venido trabajando, para guardarlo en formato .fbx, el cual lo utilizaremos para poderlo abrir dentro del Visor 3D de nuestro dispositivo y así asegurarnos que todo esté realizado de manera correcta, ya que este mismo elemento lo vamos a importar dentro de Unity 3D.

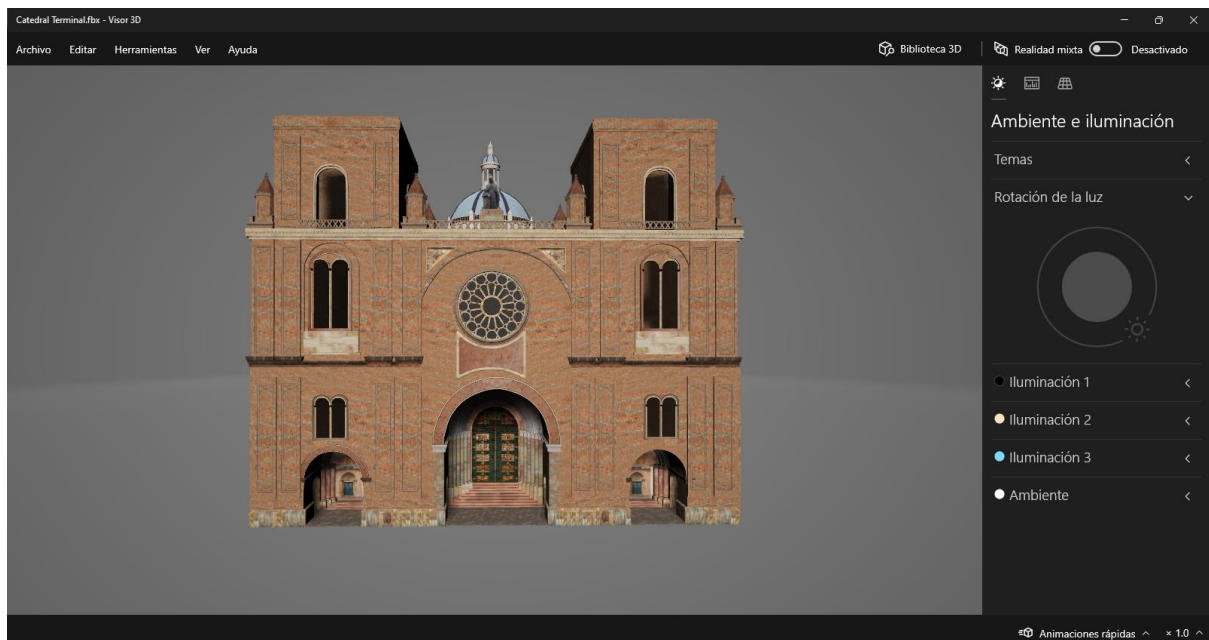
**Figura 47.**

Texturizado general de la Catedral



**Figura 48.**

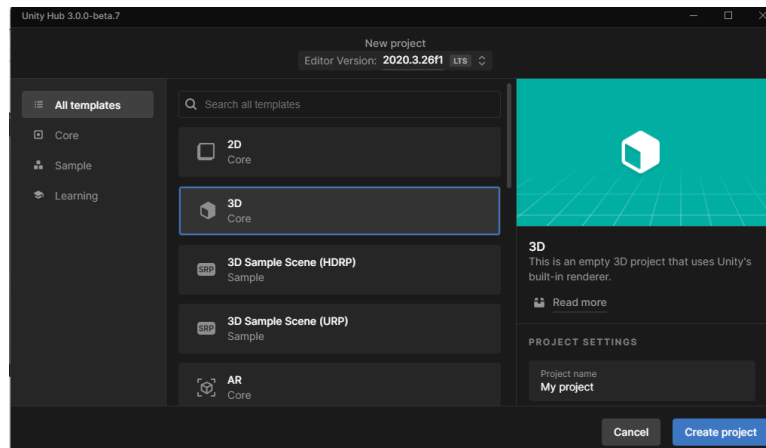
Texturizado frontal de la catedral.



Una vez hayamos revisado el elemento detalladamente y nos cercioramos de que todo marcha a la perfección procederemos a ejecutar Unity 3D, ya que dentro de esta plataforma nos permite trabajar en Realidad Aumentada, desarrollaremos la aplicación final.

**Figura 49.**

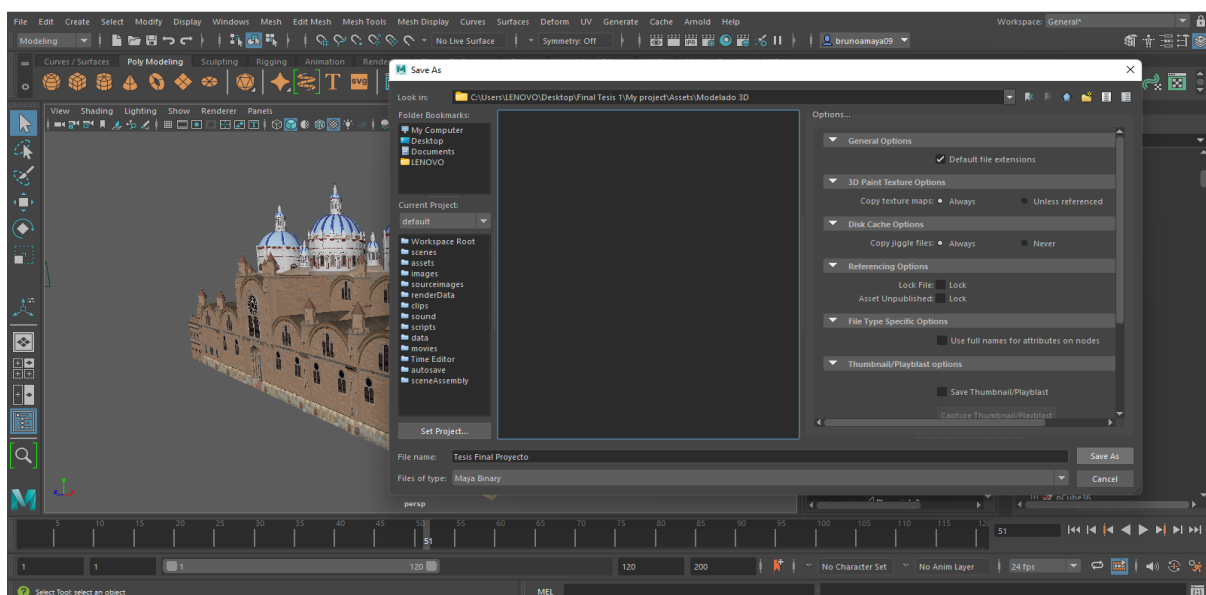
Creación de un nuevo proyecto dentro de Unity 3D.



Dentro de Unity 3D generaremos un nuevo proyecto, este contendrá nuestra aplicación, seleccionamos el apartado 3D, y lo generamos en Create Project.

**Figura 50.**

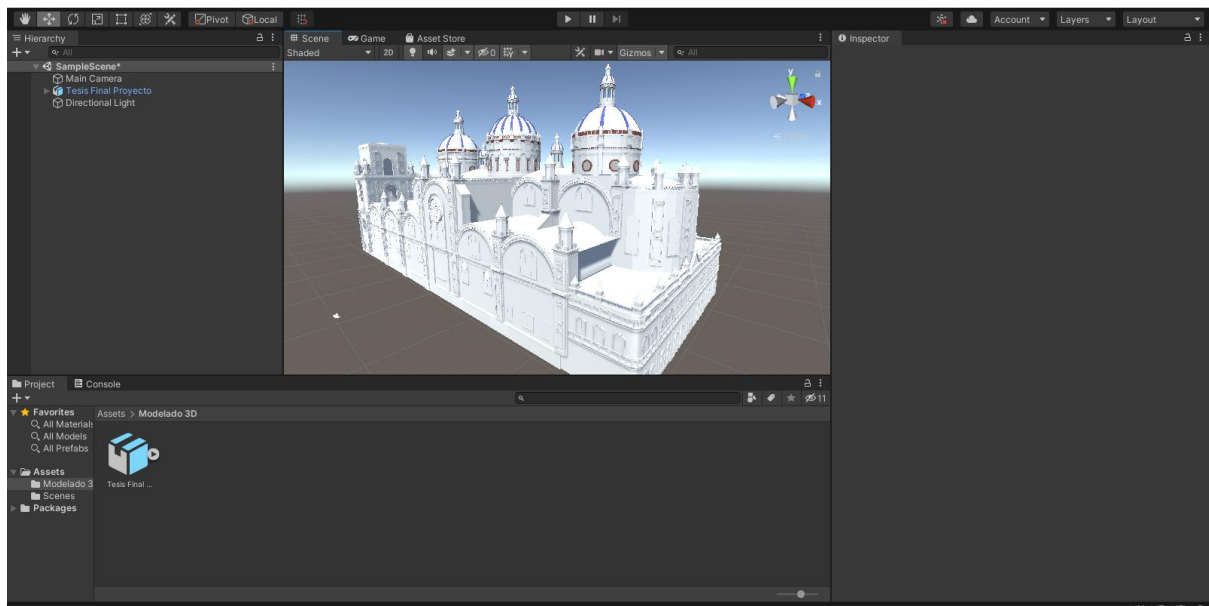
Exportación general del proyecto desde Autodesk Maya



Cuando hemos creado nuestro proyecto debemos volver a Autodesk Maya y guardar la escena dentro de la carpeta que se creó al generar el proyecto, de esta manera más adelante podremos importar el modelado sin problemas dentro de Unity 3D.

**Figura 51.**

Importación del elemento dentro de Unity 3D.

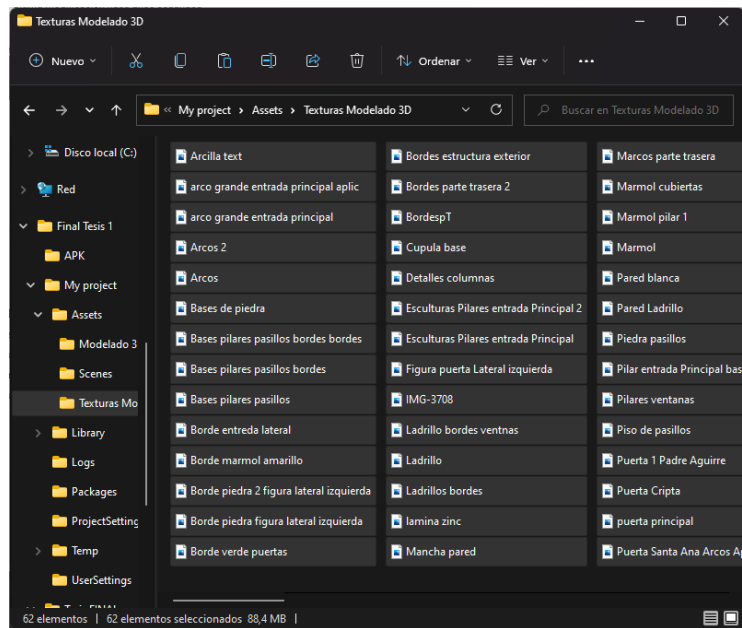


Procedemos a arrastrar el modelado 3D dentro de la escena en Unity, escalamos el modelado según nuestras especificaciones. Podemos apreciar que las texturas no aparecen importadas con el elemento, para esto debemos realizar el mismo proceso que aplicamos para importar el modelado, creamos una carpeta dentro de los assets de nuestro proyecto de Unity, la cual contendrá cada una de las imágenes que usamos para texturizar la catedral.

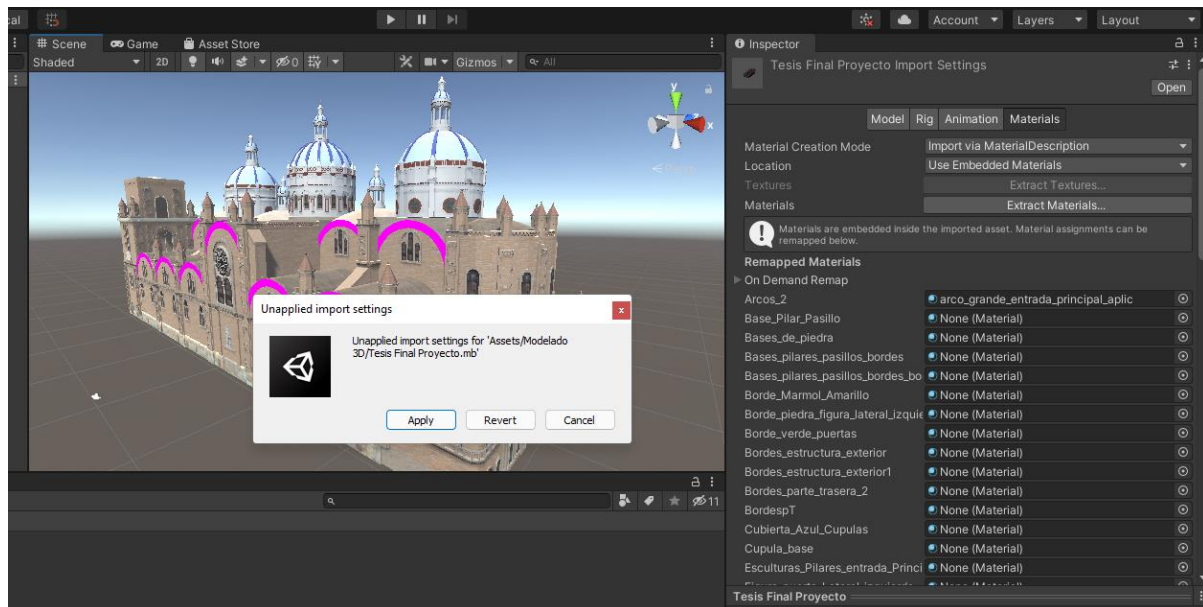


**Figura 52.**

Selección de texturas dentro de archivos.

**Figura 53.**

Importación de texturas dentro de Unity 3D.



Aplicamos las texturas que se nos importaron dentro del proyecto en Unity 3D, dentro de la opción Remapped Materials, y dejamos que cargue para después obtener nuestro elemento tal y cual generamos dentro de Autodesk Maya.

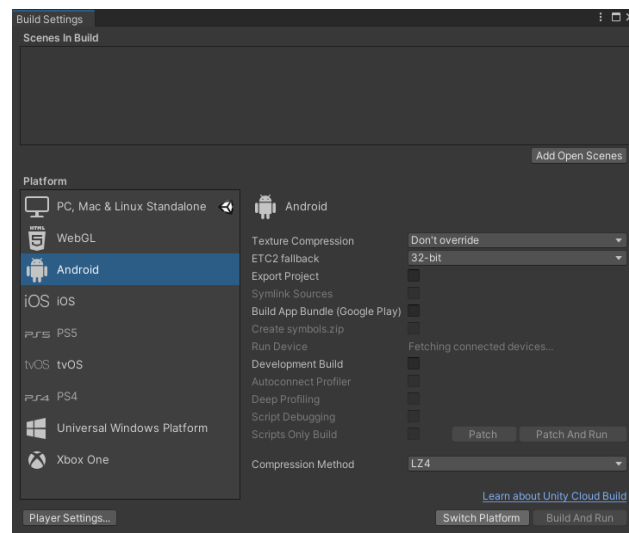
### 3.3 Diseño y desarrollo de la aplicación en Unity 3D.

Una vez que hemos importado exitosamente nuestro modelado con sus respectivas texturas continuaremos con la generación de la aplicación funcionalmente, para ello tendremos que empezar a configurar la escena para que funcione como una aplicación de realidad aumentada para dispositivos Android.

Para ello debemos dirigirnos al apartado File - Build Settings, aquí debemos seleccionar la opción Android.

**Figura 54.**

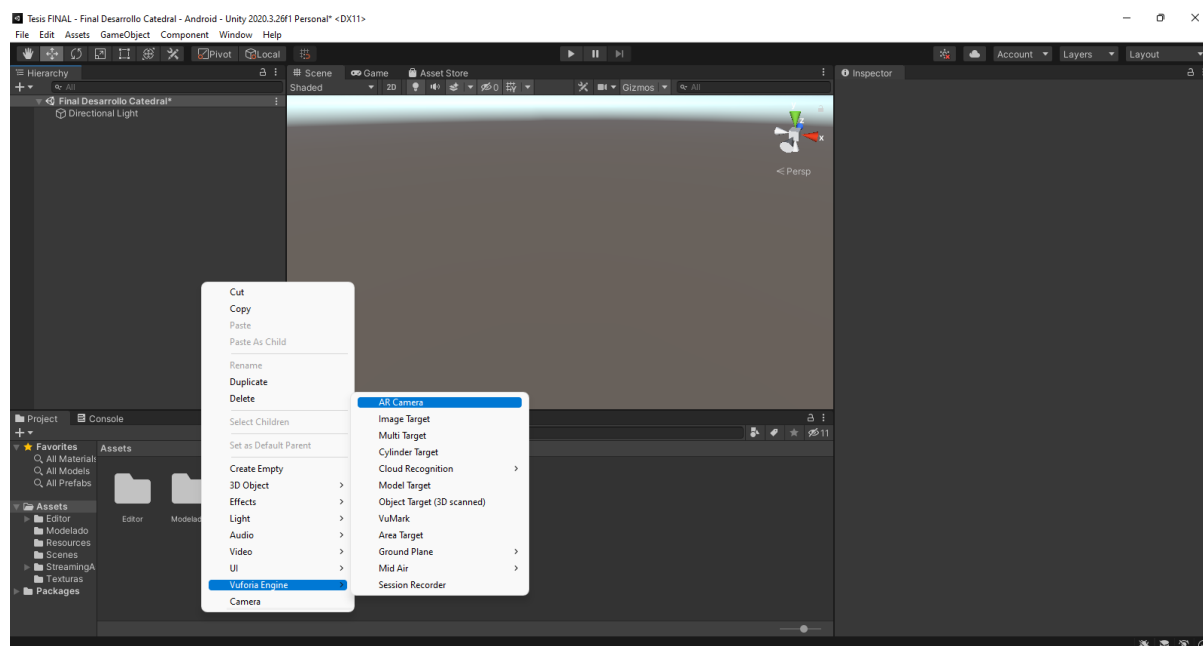
Configuraciones de la aplicación en Unity 3D.



Continuamos dentro de la escena y borramos la Main Camera que está generada por defecto, y procedemos a crear a través de Vuforia Engine la AR Camera que posteriormente será fundamental para seguir con la aplicación.

**Figura 55.**

Generación de AR Camera en Unity 3D.



Ahora que hemos colocado la AR Camera debemos incluir una licencia de Vuforia, para lograr esto debemos dirigirnos a las propiedades de AR Camera dentro del apartado Open Engine Vuforia Configuration.

**Figura 56.**

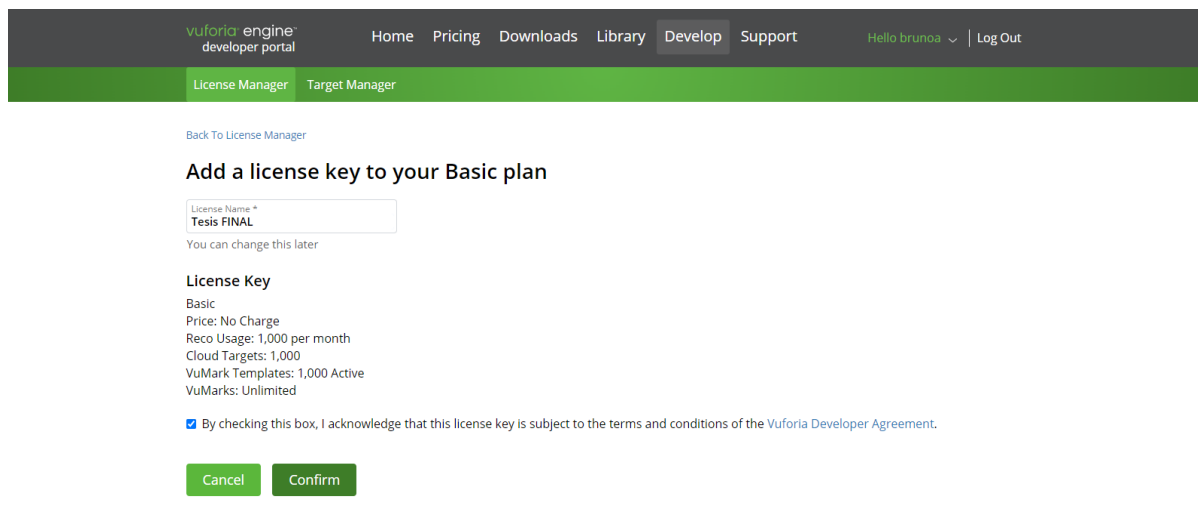
Configuraciones de la aplicación en Unity 3D.



Debemos dirigirnos al portal web de Vuforia Engine y creamos una nueva licencia de desarrollo en la opción Get Basic, procedemos a darle un nombre a nuestra licencia y aceptar las condiciones de uso.

### Figura 57.

Creación de licencia de desarrollador en el portal de Vuforia Engine.

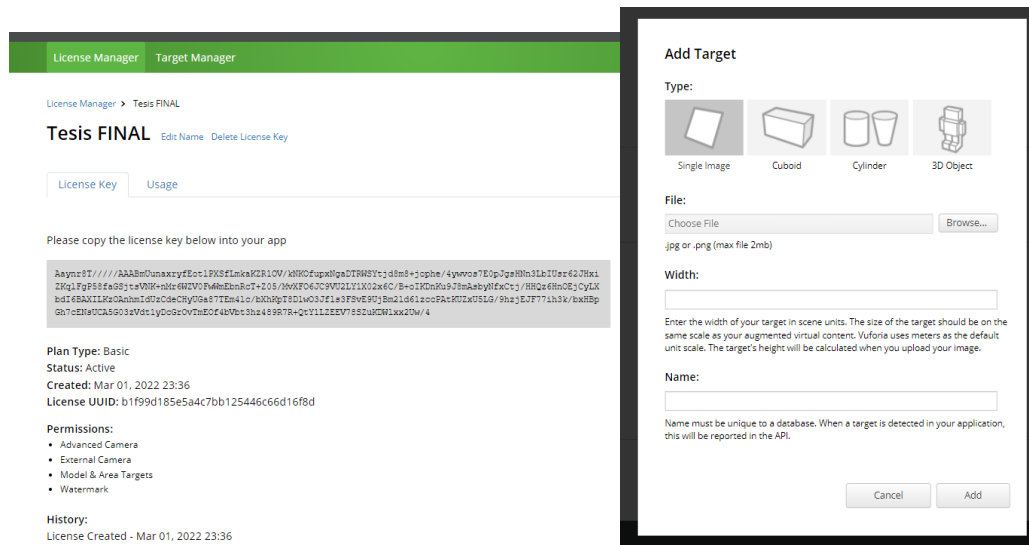


The screenshot shows the Vuforia Engine Developer Portal interface. The top navigation bar includes links for Home, Pricing, Downloads, Library, Develop, and Support. The user is logged in as 'Hello brunoa'. The 'License Manager' tab is active. The main content area is titled 'Add a license key to your Basic plan'. It features a text input field for 'License Name' with the value 'Tesis FINAL'. Below the input field, it states 'You can change this later'. A section titled 'License Key' lists the plan details: Basic, Price: No Charge, Reco Usage: 1,000 per month, Cloud Targets: 1,000, VuMark Templates: 1,000 Active, and VuMarks: Unlimited. A checkbox is checked, indicating acknowledgment of the terms and conditions. At the bottom, there are 'Cancel' and 'Confirm' buttons.

Posterior a esto para finalmente obtener el código que usaremos dentro de AR Camera en Unity 3D damos click en la opción que generamos, se abrirá una página con el código que necesitamos y la copiamos en el portapapeles. Después de este proceso continuamos al apartado Target Manager - Botón App Database, aquí crearemos los disparadores que usaremos para ejecutar la Realidad Aumentada, elegimos en este caso la opción de Single Image, aquí cargaremos la imagen QR que servirá como disparador, le damos un nombre y un tamaño de escala que tendrá dentro de Unity 3D. Para concluir nos dirigimos a Download Database (All) y seleccionamos la opción Unity Editor y descargamos el archivo.

**Figura 58.**

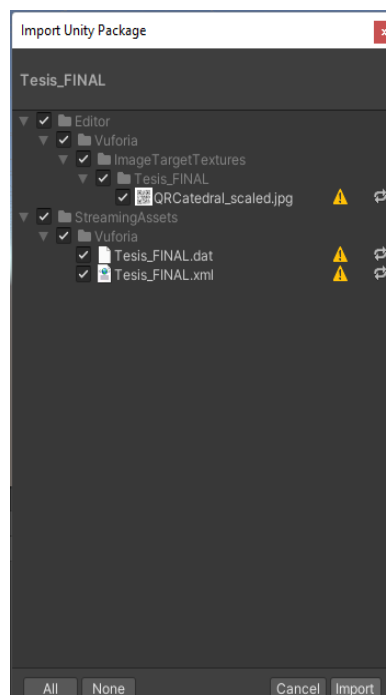
Creación de licencia de desarrollador en el portal de Vuforia Engine.



Buscamos el archivo que hemos descargado y lo abrimos, posterior a esto se ejecutará dentro de nuestro Proyecto de Unity 3D, y lo importamos dentro de la escena, se incluirá dentro de ella las codificaciones, copiamos la License Key que habíamos copiado en el portapapeles anteriormente dentro del apartado App License Key.

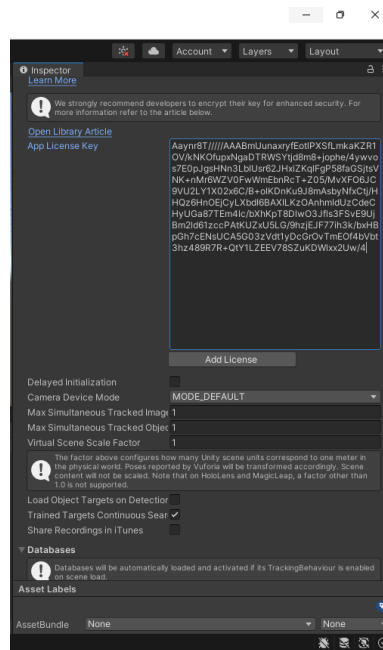
**Figura 59.**

Importación del paquete de desarrollador dentro de Unity 3D.



**Figura 60.**

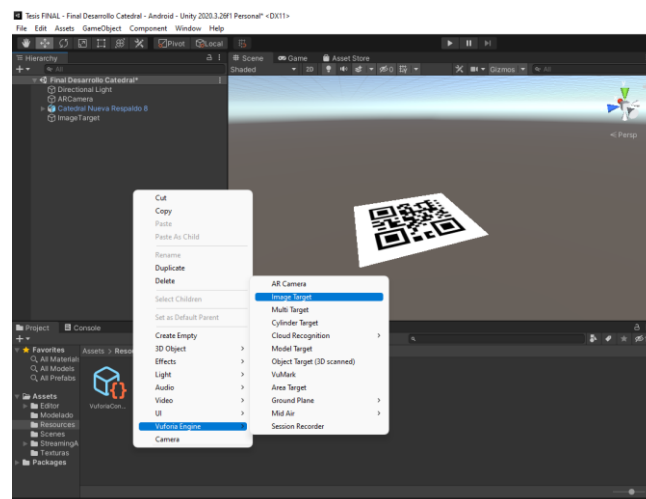
Configuraciones de la aplicación en Unity 3D



Ya que hemos configurado la codificación necesaria procederemos a importar el disparador de nuestro proyecto, para ello debemos dirigirnos nuevamente al panel de jerarquía, seleccionamos la opción Vuforia Engine - Image.

**Figura 61.**

Importación de la imagen que servirá de disparador AR en Unity 3D.

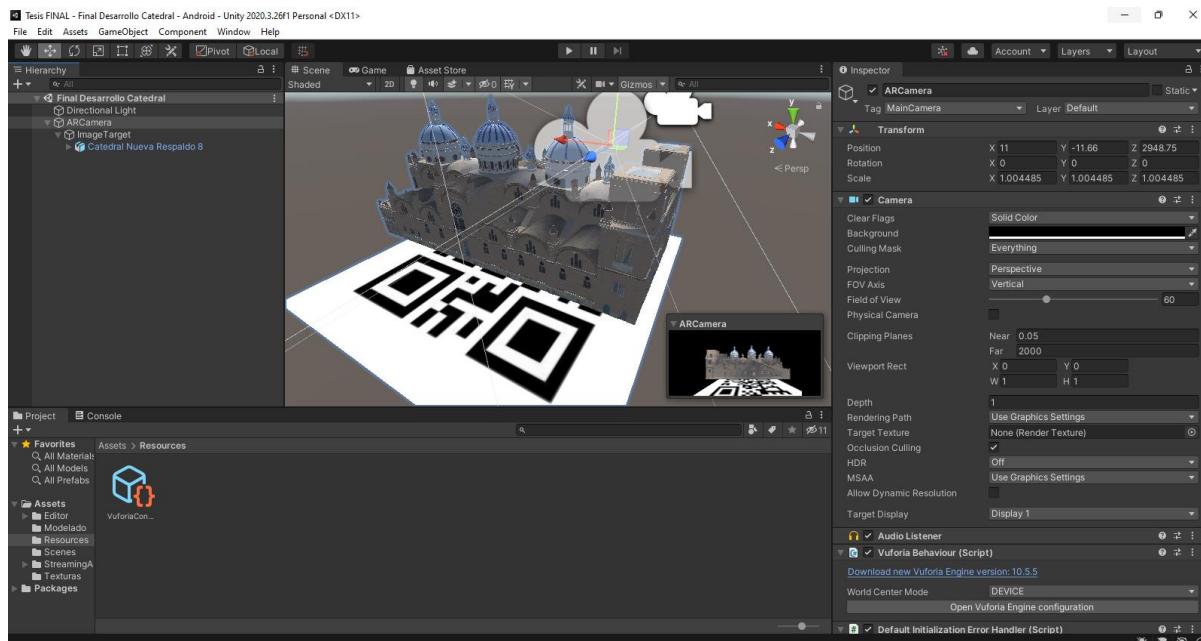


Ahora que tenemos dentro de la escena todos los elementos necesarios solamente nos queda ubicar de manera adecuada el orden de dependencia de los mismos dentro del panel de

jerarquía, ya que el modelado de la Catedral debe depender del disparador y a su vez el disparador lógicamente depende de la AR Camera.

**Figura 62.**

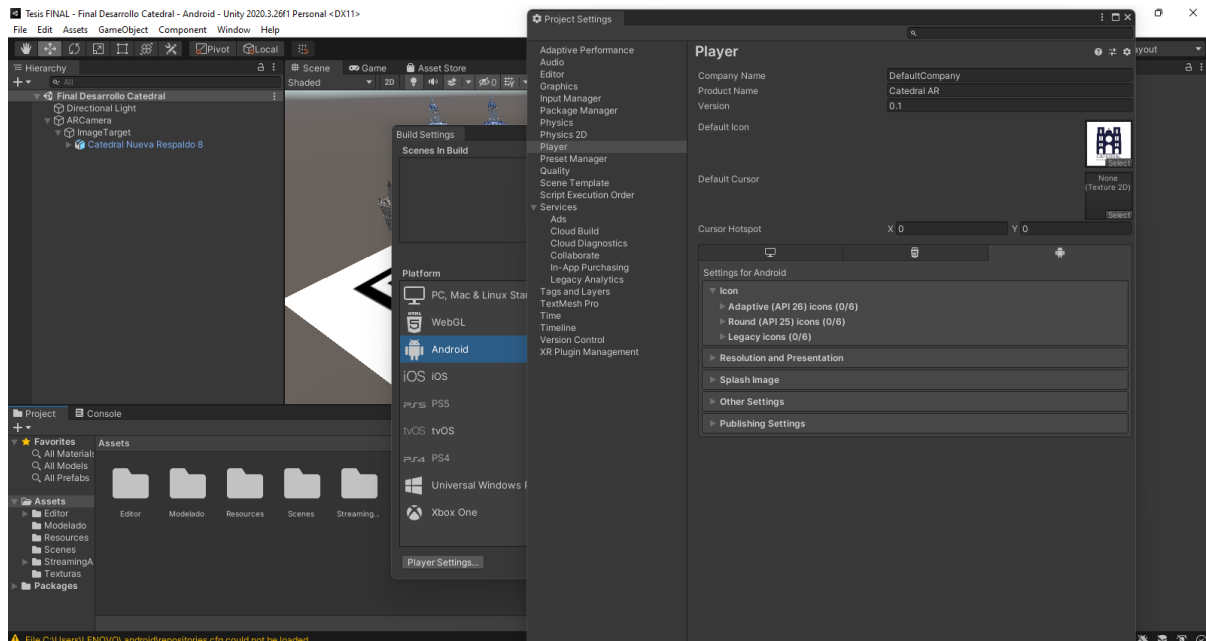
Organización de jerarquías de funcionamiento en Unity 3D.



Ahora podemos darle los últimos detalles a la aplicación, para esto nos dirigimos nuevamente al apartado File - Build Settings - Player Settings, aquí asignaremos un nombre a nuestra aplicación e incluso colocar el ícono con el cual se instalará, el cual detallaremos más adelante.

**Figura 63.**

Creación de la aplicación en AR dentro de Unity 3D.



Finalmente generamos la aplicación terminada, para ello nos dirigimos una vez más al apartado File - Build Settings y seleccionamos Build, nos pedirá donde deseamos guardar la aplicación en formato .apk, y estará la aplicación estará lista para ser instalada.

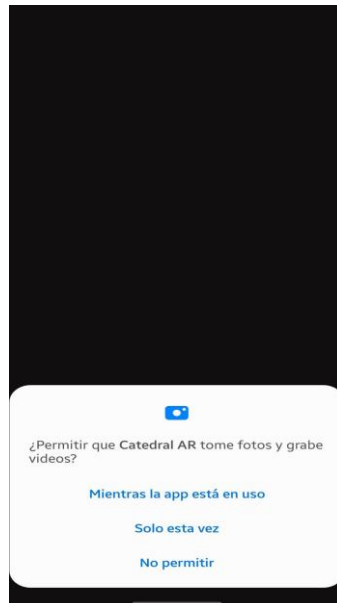
### 3.4 Prototipo beta.

Ya que hemos instalado la aplicación dentro de un dispositivo Android, la ejecutamos, damos acceso a la cámara del dispositivo ya que se requiere su uso para el adecuado funcionamiento.



**Figura 64.**

Permisos del dispositivo para ejecutar la aplicación.



Ahora que hemos brindado los permisos de acceso al dispositivo la aplicación aparecerá como una cámara fija, procederemos a enfocar el código QR que generamos y que hemos impreso con anterioridad. Es de mucha importancia que el escaneo sea en orientación vertical, con el código recostado sobre alguna superficie, ya que así será mucho más sencilla la manipulación al ejecutar la realidad aumentada.

## 3.4.1 Diseño del imagotipo de la aplicación.

**Figura 65.**

Imagotipo de la aplicación.



El logotipo de la aplicación está compuesto de dos elementos:

- Logotipo: Se ha decidido representar a la aplicación bajo el nombre de “Catedral de la Inmaculada Concepción” con una tipografía San Serif, ya que al ser un logotipo que tiene un tamaño considerablemente pequeño dentro de un dispositivo, es mucho más sencillo de leer.

**Figura 66.**

Logotipo de la aplicación.

**CATEDRAL**  
DE LA INMACULADA CONCEPCIÓN

- Isotipo: Aquí destaca la figura de la Catedral de la Inmaculada Concepción de Cuenca, con un ícono representando la parte frontal, elegante y sobrio a la vista.

**Figura 67.**

Isotipo de la aplicación.



### **3.4.2 Diseño de placa de difusión.**

Como se ha mencionado con anterioridad, las acciones en realidad aumentada de la aplicación se ejecutarán mediante un código QR, para lo cual se ha desarrollado una placa de difusión, la misma que consta de unas dimensiones de 29,7 x 42 cm, impresa en couche de 300 gr, laminada y expuesta al público en general, la cual se encontrará dentro de la Catedral de la Inmaculada concepción, en el área destinada para funciones turísticas.

Figura 68.

Diseño de placa de difusión AR de la aplicación.



### 3.5 Pruebas de usuario.

Al desarrollar una aplicación que será destinada para un uso público es fundamental obtener un feedback adecuado de los usuarios, de esta manera podremos analizar la correcta funcionalidad de la misma, por lo tanto, observaremos el comportamiento de cada uno dentro de la aplicación y cómo esta se desarrolla en distintos dispositivos, este punto del proyecto es de suma importancia para una correcta viabilidad.

Los puntos a evaluar dentro de esta etapa son los siguientes:

- Funcionalidad de la aplicación en distintos dispositivos Android.
- Correcto desenvolvimiento del usuario dentro de la aplicación.
- Interactividad y experiencia del usuario con respecto a la Realidad Aumentada.

#### Test de Usuario 1

##### Actividades

1. Instalación de la aplicación.
2. Ejecución e interactividad.
3. Evaluación de la aplicación.

- Tiempo de uso de la aplicación: 4 minutos.
- Tipo de dispositivo: Samsung S9 Plus.

##### Análisis:

La aplicación se instaló sin mayores dificultades dentro del dispositivo, no generó ningún tipo de bloqueo ni errores de desarrollo, se solicitó el acceso a la cámara del teléfono, el cual se aceptó y acopló de manera correcta. Dentro de la interactividad de la aplicación la cámara no generó ninguna ralentización y al escanear el código QR, la Catedral de la Inmaculada apareció a los pocos segundos y se pudo analizar a la perfección cada uno de los detalles que esta brinda.

## Test de Usuario 2

### Actividades

1. Instalación de la aplicación.
2. Ejecución e interactividad.
3. Evaluación de la aplicación.

- Tiempo de uso de la aplicación: 5 minutos.
- Tipo de dispositivo: Xiaomi redmi note 9.

### Análisis:

Podemos mencionar varios puntos al desarrollar la prueba de usuario, el primer punto sería que la aplicación al no estar dentro de una plataforma de descarga oficial se debe activar los permisos de instalación del celular para aplicaciones desconocidas, lo cual se ejecutó de manera apropiada, ya dentro de la interactividad de la aplicación, al momento de escanear el código QR, la cámara se ralentizó por unos segundos hasta obtener la Catedral en realidad aumentada, posterior a esto se pudo analizar con detenimiento sus detalles, las texturas son exactamente las mismas de la infraestructura original y este es un detalle bastante positivo, por otra parte hubiera sido bastante interesante el tener disponible la opción de observar cómo hubiera sido la Catedral con las dos estructuras faltantes de los planos originales, ya que mediante este tipo de tecnología habría sido de mucha ayuda.

## Test de Usuario 3

### Actividades

1. Instalación de la aplicación.
2. Ejecución e interactividad.
3. Evaluación de la aplicación.

- Tiempo de uso de la aplicación: 3 minutos.
- Tipo de dispositivo: Samsung Galaxy A 33 5G.

## Análisis:

Hablando en términos generales, la aplicación cumple con el propósito planteado, su instalación y desarrollo es sencilla y eficiente, dentro de lo que sería el funcionamiento como tal detalló que jamás había visto este tipo de tecnología aplicada al turismo, pero me parece que dentro de unos años a corto plazo se podría explotar este tipo de aplicaciones para sacar ventaja de nuestros sitios turísticos, no solo en la ciudad de Cuenca, sino también en todo el Ecuador, aunque sería bastante interesante que se pueda obtener información de lo que se está analizando dentro de la aplicación.

## Resultados

Los usuarios al instalar e interactuar con la aplicación no presentaron mayores inconvenientes dentro de la misma, mencionaron de manera concreta que la aplicación les permitió analizar de una forma mucho más interactiva y dinámica la Catedral de la Inmaculada Concepción de Cuenca, con un proceso mucho más interesante de conocer la infraestructura, brindando así buenos comentarios e incentivando a esta manera de disfrutar el turismo.

### 3.6 Análisis de errores.

Una vez realizado los testeos de usuarios, haber analizado los comentarios de cada uno de ellos y tomar en cuenta sus recomendaciones se puede llegar a la conclusión de que la aplicación cumple con su objetivo principal, ya que al ser una experiencia sencilla pero a la vez interesante, bastante intuitiva y sencilla de manejar la cual no presenta mayores inconvenientes en su ejecución, siendo se puede decir que es un camino óptimo e innovador, busca de esta manera generar un interés mucho más profundo dentro de nuestros puntos turísticos.

## Conclusiones

El proceso de desarrollo de este proyecto se enfoca principalmente en brindar a los turistas nacionales y extranjeros de la ciudad de Cuenca una experiencia mucho más interactiva al momento de visitar nuestros sitios turísticos, específicamente para aquellos que visitan la Catedral de la Inmaculada Concepción.

Por otro lado, en cuanto al procesos metodológico usado podemos recalcar que un adecuado manejo e interpretación de los planos arquitectónicos es fundamental para un correcto desarrollo, así como la etapa de modelado debe estar correctamente ejecutado, apegado lo más posible a las características mencionadas anteriormente, ya que dentro de la siguiente etapa de texturizado sea mucho más óptima y entendible, una vez realizado todo este proceso, ya dentro del desarrollo aplicativo, se deben seguir minuciosamente los pasos y algoritmos necesarios para que la experiencia dentro de la aplicación sea la que deseamos obtener.

Durante todo el proceso desarrollativo del proyecto existieron diversos conflictos, entre los que podemos mencionar la dificultad para modelar los detalles, mismos que no se pueden apreciar con facilidad dentro de los planos. Por otra parte, en el proceso texturizado existió cierta complejidad en conseguir fotografías para aplicar la textura adecuada en el modelado de la Catedral, todos estos conflictos nos llevaron a una imitación de tiempo, por lo cual la aplicación se pudo generar únicamente para dispositivos Android.

Cabe destacar que a pesar de que este proyecto se centre principalmente en la Catedral de la Inmaculada, abre una puerta importante para futuros proyectos, a los cuales recomiendo sigan un orden de etapas, para que cada una de ellas sea la continuación correcta de la anterior, ya que respetar el procesos metodológico agilizará mucho más el proyecto que deseen plantear, de esta manera cada vez existirán aplicación basadas en estas nuevas tecnologías interactivas que busquen generar mayor interés en el ámbito turístico y una manera distinta de brindarle a nuestros visitantes.

Finalmente podemos decir que al desarrollar este proyecto se ha generado bastante expectativa por parte de los usuarios hacia el área turística y como esta podría impulsar una manera mucho más interesante de vivir el turismo dentro de la ciudad y el país.



## Referencias

- Agüero, A. M. & González, R. (2015). *Análisis de la aplicación de la realidad aumentada en el sector turístico*. Universidad Rey Juan Carlos. Madrid, España.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4994684>
- Anaya, K., Paredo, R. & Paredo, I. (2014). *Interacción de modelos 3d con realidad aumentada*. Universidad Politécnica de Querétaro El Marqués, México.  
[http://www.iiisci.org/journal/CV\\$/risi/pdfs/XA349TL14.pdf](http://www.iiisci.org/journal/CV$/risi/pdfs/XA349TL14.pdf)
- Bravo, D. H. & Molina, V. A. (2013). *Determinación del origen de las patologías estructurales existentes en la Catedral de la Inmaculada Concepción de Cuenca* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca. Cuenca, Ecuador.  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4529>
- Caro, J. L. (2012). *Fotogrametría y modelado 3D: un caso práctico para la difusión del patrimonio y su promoción turística*. Universidad de Málaga. Málaga, España.  
<https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/5134>
- Fernández, M. (2011). *“Modelado, texturizado y ajuste de Malla”*. Madrid: E—Archivos Universidad Carlos III de Madrid. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/12936>
- Márquez González, C. (2014). *Aplicaciones de tecnología 3D para el turismo cultural y la difusión del patrimonio: realidad aumentada vs realidad virtual*. (Tesis de Grado). Universidad de Málaga. Málaga, España.  
<https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/7978>
- Romero, M. & Harari, I. (2017). Uso de nuevas tecnologías TICS -realidad aumentada para tratamiento de niños TEA un diagnóstico inicial. *Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*.  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163694>
- Ruiz Torres, David. (2011). Realidad aumentada y Patrimonio Cultural: nuevas perspectivas para el conocimiento y la difusión del objeto cultural. *Granada, España: Revista Histórica Electrónica*. <https://digibug.ugr.es/handle/10481/21792>
- Figura 1.* Catedral de la Inmaculada Concepción de Cuenca.  
<https://www.planetandes.com/es/ecuador/andes/azuay/cuenca/mejores-cosas-que-hacer-en-cuenca-ecuador/>

*Figura 2.* Turistas en la ciudad de Cuenca. <http://cuenca.com.ec/es/blog/cuenca-gana-su-tercer-oscar-de-turismo>

*Figura 7.* Modelado Poligonal de una infraestructura. 2021. <https://free3d.com/es/modelo-3d/fantasy-castle-1987.html>

*Figura 8.* Automóvil 3D generado en base a Blue Prints. 2021 <https://www.carbodydesign.com/tutorial/61012/car-blueprint-setup-mayaphotoshop-tutorial/>

*Figura 12.* Iluminación de ambiente interior digital. <https://dreambox3d.com/DX/modelado-3d-bano-3d-iluminacion-vray/#:~:text=Aqu%C3%AD%20mostramos%20el%20modelo%203d%20para%20un%20ba%C3%B1o%20peque%C3%B1o,%20con>

*Figura 13.* Representación de un plano cartesiano en 2D y 3D. <http://planocartesiano.net/como-hacer-un-plano-cartesiano-tridimensional#:~:text=Debido%20a%20que%20solo%20as%C3%AD%20se%20pueden%20incrementar%20las%20dimensiones>

*Figura 14.* Proceso de ejecución de realidad aumentada. <https://www.slideshare.net/masaar/realidad-aumentada-curso/8#:~:text=Esquema%20de%20funcionamiento>

*Figura 15.* Realidad Aumentada en dispositivos móviles. <https://computerhoy.com/noticias/moviles/cierra-google-tango-primer-proyecto-realidad-aumentada-72987>

*Figura 16.* Marcadores en AR. <https://mastermoviles.gitbook.io/desarrollo-de-videojuegos-con-unity-5/realidad-aumentada>

*Figura 18.* Isotipo de Unity Engine. 2021 <https://www.3djuegos.com/noticia/144523/0/unity/physx-sk3/rediseño-radical-physx-s2k-2x/>

*Figura 19.* Interpretación en AR del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia. <http://smartechgroup.es/ya-puedes-probar-nuestra-aplicacion-de-realidad-aumentada-en-este-post/>

*Figura 20.* Catedral de Notre Dame, modelada y texturizada en 3D. <https://www.turbosquid.com/es/3d-models/3d-notre-dame-paris-cathedral-model/573516>

*Figura 21.* Vista Frontal Catedral. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4529>

Figura 22. Vista Posterior Catedral. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4529>

Figura 23. Vista Lateral Izquierda Catedral.  
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4529>

Figura 24. Vista Superior Catedral. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/4529>

Figura 27. Metodología dentro de Unity 3D.  
[https://www.youtube.com/watch?v=X7ijTK2zS9Q&ab\\_channel=eLMformacion](https://www.youtube.com/watch?v=X7ijTK2zS9Q&ab_channel=eLMformacion)

Figura 28. Imagen escaneable para Realidad Aumentada.  
<https://store.bananacomputer.com/blog/educacion/con-la-realidad-aumentada-podras-ensenar-de-una-forma-diferente/244.html>

Figura 29. Imagen escaneable mediante codificación QR para Realidad Aumentada.  
<https://ardev.es/realidad-aumentada/>