



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño y desarrollo de aplicación móvil para la
visualización de modelos tridimensionales de
rocas y minerales en realidad aumentada para el
apoyo a la docencia de Geología.**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de
Ingeniero en Computación

P R E S E N T A

Ricardo Hernández Gómez

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

Ing. Luis Sergio Valencia Castro



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2022

AGRADECIMIENTOS

Creo que sería mucho más apropiado para esta sección ir al final del trabajo escrito, siendo que se trata de la última en la que trabajé. Curiosamente, también se trata de aquella que me costó más trabajo terminar. Escribí numerosos borradores con diferentes enfoques, algunos serios y cortos, otros intentando elaborar una reflexión desde un enfoque externo, centrado en las condiciones del entorno en el que se elaboró este trabajo... Basta. Lo cierto es que ninguna me pareció apropiada; se sentían falsas. Probablemente esta también lo sea, pero lo intenté.

Agradecer a todos aquellos sin los cuales la elaboración de este trabajo hubiera sido posible resulta especialmente complicado debido a que es imposible delimitar el alcance de esta consideración. Después de todo, ¿acaso la persona que soy hoy no es resultado de cada elección y circunstancia de mi vida? Considerando esto, quisiera disculparme por adelantado a todas aquellas personas cuyo nombre he omitido en esta página. No fue a propósito.

Estudiar Ingeniería en Computación ha sido un viaje largo y lleno de altibajos no solo durante mi tiempo como estudiante de la UNAM, sino desde antes, durante la preparatoria, cuando decidí que iba a tomar el examen de admisión, pasando gran parte del año previo dedicándome a estudiar por mi cuenta los contenidos de la guía de estudio. Fueron días angustiantes, que no pararon con mi admisión; cada semestre fue retador, requiriendo dedicar gran parte de mi tiempo en tareas, proyectos y exámenes. Esto porque claro, una de mis metas más importantes fue la de mantenerme siempre al corriente con mi plan de estudios, con buenas calificaciones, esperando eventualmente cumplir los requisitos de la Facultad para postularme para pasar un semestre en el extranjero. Y lo cumplí. Tuve la enorme fortuna de ser estudiante de intercambio en Corea del Sur en 2019, justo antes de la pandemia de 2020, lo que fue un gran sueño cumplido no sólo por lo valioso de la oportunidad en sí, estando en un lugar completamente diferente, sino como recompensa de todo mi esfuerzo hasta ese momento. Se trató, sin duda, de una de las mejores y más enriquecedoras experiencias de mi vida.

Lamentablemente, después de este punto alto, el 2020 trajo consigo un punto extremadamente bajo no sólo para mi y mis compañeros, sino para todo el mundo. La pandemia cambió completamente la dinámica de todos los ámbitos y, como resultado, tuve que cursar la mayor parte de mis últimos dos semestres por videollamada, a distancia. Esto sin duda fue el punto más bajo de mi experiencia universitaria, pero resulta impresionante que a pesar de lo adversas de las circunstancias, las clases pudieron continuar y pude realizar mi servicio social y este trabajo escrito aún en medio de estas condiciones.

No ha sido un camino fácil, pero afortunadamente no estuve solo. Quiero agradecer particularmente a las siguientes personas.

A mi mamá, Esperanza, una persona con un gran sentido del humor y amor por los animales, y un aún más fuerte corazón, con la que siempre me he sentido muy cómodo discutiendo de cualquier cosa, porque se que siempre ha querido lo mejor para mi.

A mi papá, Gaspar, una persona muy trabajadora, a la que siempre he admirado por su fortaleza y capacidad de sobreponerse a circunstancias casi imposibles.

A ambos: mi mamá y papá. Porque a pesar de que no ha sido fácil, la persona que soy hoy existe gracias a ustedes. Los quiero mucho.

A mis hermanos Héctor, Roy y Ali, por siempre estar ahí, hablando, discutiendo, bromeando y molestándome. Con ustedes es imposible estar solo.

A mis amigos Héctor, Lilia, Hassiel, Jaime, Ricardo y Diego. Gracias por estar ahí, haciendo mi vida estudiantil en la preparatoria y universidad siempre divertida e interesante.

A la Sociedad de Desarrollo en Videojuegos, por ser el grupo de personas más interesante que conocí en la Facultad de Ingeniería, en un espacio en el que pude aprender mucho sobre el proceso de desarrollo de software y una gran variedad de tecnologías.

A la DGAPA de la UNAM, por la beca otorgada y el apoyo financiero para la realización de esta tesis como parte del proyecto PAPIME PE102120 "Diseño de manuales de campo y de laboratorio incorporando fotogrametría, modelado 3D y realidad aumentada en la web para la enseñanza de la Geología General en las ingenierías: Geológica, Geofísica, Minas y Metalurgia, Petrolera, Civil, Geomática y Ambiental" cuya responsable es la Dra. Mayumy Amparo Cabrera Ramírez.

A la Fundación Telmex, que me proporcionó una beca a lo largo de gran parte de mi educación universitaria, resultado de mi historial académico.

A la Facultad de Ingeniería, la DGEI y la Fundación Televisa, sin los cuáles no hubiera tenido la oportunidad de viajar al extranjero y pasar un semestre como estudiante de intercambio. Gracias por postularme y apoyarme económicamente en todo el trayecto.

A la Universidad Sungkyunkwan, que me abrió las puertas en Corea del Sur y me permitió ser estudiante durante un semestre en el que no sólo pude asistir a clases con temas completamente nuevos e interesantes, impartidos por expertos en sus áreas, sino también ampliar y enriquecer mi perspectiva del mundo gracias a la enorme cantidad de gente de diferentes lugares y culturas que pude conocer.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haber sido mi casa durante toda la carrera. Es imposible terminar de mencionar lo importante que es que la mejor universidad del país no sólo sea pública, sino también gratuita. Ha sido un privilegio haber podido estudiar Ingeniería en sus aulas y aprovechar algunas de las increíbles oportunidades que pone a disposición de todos los estudiantes. Siempre será un orgullo decirme estudiante de la UNAM y espero que el papel de la educación pública se siga fortaleciendo a lo largo del país, porque sólo con educación se transformará México.

Muchas gracias.

1 CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	2
2 Capítulo I: Marco Conceptual.....	6
2.1 Planteamiento y justificación	6
2.2 Objetivos	15
2.2.1 Modelos detallados de rocas y minerales.....	15
2.2.2 Colección de modelos detallados de rocas y minerales	16
2.2.3 Visualización de modelos en realidad aumentada.....	17
2.2.4 Disponibilidad de la aplicación	17
3 Marco Teórico.....	18
3.1 Antecedentes	18
3.1.1 La realidad aumentada como herramienta de marketing.....	18
3.1.2 La realidad aumentada como herramienta personal	18
3.1.3 La realidad aumentada como valor agregado a la experiencia de uso	19
3.1.4 La realidad aumentada en la UNAM	20
3.2 Bases teóricas	23
3.2.1 Dispositivos móviles.....	23
3.2.2 Sistemas operativos móviles	32
3.2.3 Unity.....	39
3.2.4 Realidad Aumentada (RA).....	40
3.2.5 Geología	47
4 Marco Metodológico	54
4.1 Descripción general de la aplicación	54
4.1.1 Propósito de la aplicación.....	54
4.1.2 Público objetivo de la aplicación	54
4.1.3 Uso de la aplicación	55
4.1.4 Alcance de la aplicación.....	55
4.1.5 Descripción general	56
4.1.6 Dependencias de la aplicación	56
4.1.7 Necesidades del usuario	57
4.2 Requerimientos del sistema	58
4.2.1 Requerimientos funcionales.....	58
4.2.2 Requerimientos no funcionales.....	62

4.3	Concepto	64
4.4	Propuesta	65
4.4.1	Opción 1: Android Studio y ARCore.....	65
4.4.2	Opción 2: Xcode y ARKit	66
4.4.3	Opción 3: Unity y AR Foundation	68
4.5	Planeación.....	70
4.5.1	Equipo de trabajo	70
4.5.2	Herramientas de desarrollo.....	71
4.5.3	Cronograma del proyecto.....	73
4.6	Proceso de desarrollo	75
4.6.1	Diseño	76
4.6.2	Desarrollo.....	82
4.6.3	Iteración en la aplicación	97
4.6.4	Visualizador de modelos.....	100
4.6.5	Pantalla de descarga de contenido	100
4.6.6	Trabajo a futuro	101
5	Conclusiones	102
6	Referencias	104
7	Índice de figuras.....	114

2 CAPÍTULO I: MARCO CONCEPTUAL

2.1 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN

México es un país en vías de desarrollo, con una importancia en el mundo globalizado cada vez mayor gracias al creciente número de empresas que deciden establecer parte de su cadena de producción en el país, debido a fenómenos políticos y económicos recientes que han posicionado a México como una opción incluso más competitiva que China, gracias a costos de suministros más bajos y a una creciente demanda de productos en Estados Unidos. [1] Todo esto potenciado, además, gracias al acelerado proceso de globalización permitido por la posición de México dentro del acuerdo de libre comercio existente con EE. UU. y Canadá.

La realidad de México como un país exportador no se trata de una situación nueva, pues ya desde después de la conquista de México en 1521, el establecimiento de la Nueva España se dio con el fin de explotar los recursos naturales de este nuevo territorio, volviéndose así la minería en el eje principal de la economía de España. [2]

En un principio, la facilidad de explotación de minerales en Nueva España era tal que con una inmensa mano de obra bastó para superar la producción de los yacimientos europeos existentes [3], sin embargo, conforme la ocupación de territorio y la población fueron creciendo, se hizo evidente la necesidad de la formación de expertos en técnicas de minería para mejorar los procesos de explotación del suelo, pues la minería se trata de una actividad que es imposible de realizar sin gente con los conocimientos apropiados. Es en este contexto que nace en 1792, en la Ciudad de México, el Real Seminario de Minería, precursora de la Escuela Nacional de Ingeniería, hoy la Facultad de Ingeniería de la UNAM. [2]

La creación del Real Seminario de Minería representó un parteaguas para la ciencia en México, pues por primera vez existía una institución dedicada completamente a la enseñanza e investigación sobre el entorno natural de México. La geología fue uno de los campos que más se benefició de esto, permitiendo que se realizara investigación académica geológica del país por primera vez, dando inicio al campo de las ciencias de la tierra en el país.

Posteriormente, Alexander von Humboldt se encargaría de encender el interés europeo por la geología de México, lo que algunos años después llevaría a que se realizara cartografía geológica de las zonas mineras de Guerrero, Hidalgo y Morelos por parte de Berghes y Gerolt. [2] Múltiples otros esfuerzos por conocer más sobre el entorno geológico mexicano se llevarían a cabo a lo largo del siglo XIX, sin embargo, la tumultuosa Historia de México durante ese siglo habría de afectar el volumen de estos.

Con la llegada de la administración de Antonio López de Santa Anna, así como múltiples intervenciones extranjeras, se terminó por estancar el desarrollo de la geología durante décadas y, aunque se llevaron a cabo algunos esfuerzos durante esta época, principalmente de investigadores extranjeros, no sería sino hasta la administración de Porfirio Díaz, con la creación de la Comisión Geológica, en 1886, y su posterior ascenso a Instituto Geológico de México, en 1888, que se viviría una gran época para la investigación en el país. [2] Derivado de esto, se realizaron numerosas publicaciones, que incluían a Oaxaca, la Sierra Madre Oriental, y diversos volcanes; fue también gracias a esto que se pudieron realizar los primeros trabajos de prospección petrolera, que eventualmente llevarían al inicio de la explotación petrolera en México en 1904.

Lamentablemente, con la llegada de la Revolución Mexicana, la investigación geológica volvió a detenerse, llegando a despedirse incluso a expertos extranjeros que habían sido traídos para suplir la falta de expertos en el país. Sería hasta 1917 cuando se transformaría el Instituto Geológico de México en el Departamento de Exploraciones y Estudios Geológicos, lo que hoy es considerado como un gran retroceso para el campo, dado que se reorientaron los objetivos para servir casi exclusivamente para la explotación de petróleo y minerales, dejándose de lado el carácter meramente científico.

Afortunadamente, en 1929 el Departamento de Exploraciones y Estudios Geológicos se transformó en Instituto de Geología y se incorporó a la UNAM. Finalmente, se creó la carrera de Geología en la Facultad de Ciencias de la UNAM en 1935, la cual pasó a formar parte de la Escuela Nacional de Ingenieros como Ingeniería Geológica en 1939 [4], buscándose remediar el gran problema de la falta de especialistas que pudieran enfrentar los problemas del México del siglo XX, reviviendo el campo de la investigación en el país.

Hoy en día, la geología se considera está viviendo un periodo de integración, facilitándose la organización del acervo de conocimiento recabado durante toda la Historia de la geología en México, así como la realización de proyectos multidisciplinarios, dados como consecuencia del aumento de inversión, pública y privada, en proyectos mineros y petroleros del país. [4] Lejos han quedado los días en los que los avances geológicos eran pocos y poco constantes, realizados en su mayoría por expertos extranjeros; hoy no sólo la Facultad de Ingeniería de la UNAM produce Ingenieros Geólogos, sino que también el IPN y universidades autónomas estatales como las de San Luis Potosí (UASLP), Guanajuato (UGTO), Zacatecas (UAZ), Nuevo León (UANL), etc. [5], producen expertos listos para hacer frente a los problemas del México contemporáneo.

La UNAM, como la universidad pública más grande de México, tiene como una de sus obligaciones principales la formación de profesionistas con un profundo sentido social, listos para proveer soluciones a problemas de México de una manera eficaz e innovadora. Es en este sentido que la universidad se ha destacado como la cuna de grandes personajes para la Historia y el desarrollo del país.

El Instituto de Geología de la UNAM, como heredero del Instituto Geológico Nacional, ha promovido durante ya más de un siglo no sólo actividades centradas exclusivamente en el eje industrial, sino que también le ha dado cabida a la investigación, especialmente desde la década de los 90s, gracias a una modernización y reestructuración de objetivos. Hoy en día, el Instituto se sitúa a la vanguardia, centrándose en las áreas: Sistema de la Tierra Sólida; Procesos Superficiales de la Corteza Terrestre y Cambio Climático; Procesos de la Zona Crítica y Geoquímica Ambiental; Evolución de la Biósfera; Geobiología; y Estudios Estratégicos en Energías y Geomateriales. [6]

Desde 1961, la Facultad de Ingeniería ha ofrecido la carrera de Ingeniería Geológica, situándose desde entonces como la principal fuente generadora de profesionales Geólogos del país, cosa que no es de extrañarse dada las características del plan de estudios y el perfil profesional de los egresados. La creciente demanda de solicitantes para la carrera de Ingeniería Geológica es evidente; para el ciclo 1999-2000 entraron 65 personas en total como alumnos de primer ingreso, pasando el número total de alumnos de la carrera a 249; para el ciclo 2009-2010 el número de alumnos de primer ingreso se había elevado ya a los 107 (aumento del 64.62%), siendo el total de alumnos 503 (aumento del 102%); y para el ciclo 2017-2018 el

número de alumnos de primer ingreso pasó a los 127 (aumento del 18.69% con respecto al 2009), mientras que el número total de alumnos se situó en 664 (aumento del 32.01%). [7]

Ciclo	Alumnos de primer ingreso	Alumnos totales
1999-2000	65	249
2009-2010	107	503
2017-2018	127	664

Figura 2-1. Estadísticas de población escolar por carrera [7]

Si bien el aumento en el número de estudiantes no fue tan dramático entre el periodo de 2009 a 2017, lo cierto es que cada vez más personas buscan un lugar en la Facultad de Ingeniería. Tan sólo para el ciclo 2019-2020, 433 personas concursaron por 60 lugares, lo que quiere decir que de 5 estudiantes que buscaban un lugar, solo 1 consiguió su ingreso. [8] A pesar de que año con año se incrementa al menos un poco la cantidad de alumnos que ingresan a primer semestre, esto no es suficiente, y responde a una creciente demanda por educación superior.

Este creciente aumento en el número de alumnos involucra no solo un aumento en las necesidades de espacio y número de profesores, sino también una demanda en el equipo y material didáctico necesario para formar profesionistas verdaderamente preparados. En este sentido, los alumnos de la carrera de Ingeniería Geológica toman sesiones de laboratorio y realizan viajes de campo para poder conocer a profundidad y de primera mano la variedad de rocas y minerales existentes en la naturaleza. Sólo de esta manera serán capaces de identificar las características descritas en libros en el mundo real.

Afortunadamente, la Facultad de Ingeniería cuenta con una amplia colección de rocas y minerales, con muestras físicas que los alumnos son capaces de analizar de manera personal en sesiones de laboratorio. Estas sesiones son fundamentales para el proceso formativo, pues le permiten a cada alumno familiarizarse con cada roca y mineral estudiado, pudiendo identificar y aprender de cada característica física presente. Esto resulta especialmente importante dado que, sin estas sesiones de estudio, los viajes de campo no se podrían llevar a cabo de manera óptima debido a la falta de experiencia con muestras reales.

Sin embargo, actualmente existe un problema derivado de la gran cantidad de alumnos presentes en cada sesión de laboratorio. Los alumnos se organizan en equipos, cada uno con cierta cantidad de tiempo disponible con cada roca o mineral, pero actualmente el tiempo disponible es muy poco debido a la gran demanda. Si, la colección de rocas y minerales de la Facultad de Ingeniería es amplia, pero no se cuentan con ejemplares suficientes de cada tipo

para asegurar que cada alumno tendrá tiempo suficiente para estudiar cada uno. Este sistema es subóptimo.

Afortunadamente, hoy en día los avances tecnológicos han permitido la democratización del acceso a teléfonos inteligentes, dispositivos computacionales con una capacidad de procesamiento que hubiera sido impensable hace 50 años. Es con el uso de estas tecnologías móviles que es posible proveer una solución a la problemática existente.

El teléfono arribó a México el mismo año de su salida al mercado en EE. UU., en un viernes, el 21 de septiembre de 1984. Este primer dispositivo era de Motorola, el modelo DynaTAC 8000x [9], que representó un parteaguas en la comunicación mundial, eliminando las restricciones de movilidad de los teléfonos tradicionales. Y, si bien durante sus primeros años se limitaron a ser dispositivos muy caros, comercializándose por 3,995 dólares en México, evidentemente destinados principalmente para un segmento de mercado ejecutivo, con el tiempo, los precios se redujeron y, finalmente, la telefonía móvil se pudo masificar gracias al Motorola StarTAC que, a pesar de todavía ser un dispositivo muy caro, gracias a su precio de 1,000 dólares, se volvió parte de la cultura popular gracias a su diseño pequeño y futurista, capaz de doblarse y desdoblarse. [10]

Estos dispositivos son muy diferentes al estándar de telefonía móvil moderno, sin embargo, tendrían que pasar algunos años más hasta que Apple lanzara al mercado el primer iPhone, en 2007. Este dispositivo se trató del primer teléfono inteligente contemporáneo, innovando en su categoría gracias a un diseño completamente centrado en su pantalla táctil, hecha para ser utilizada con los dedos en lugar de un lápiz táctil, incluso soportando algunos gestos de pantalla, eliminando a su vez la necesidad de incorporar un teclado físico, muy común en dispositivos de su competencia. Además de lo anterior, permitía el acceso a internet, así como la reproducción de audio y video. El nivel de funcionalidad incorporado, así como su innovadora forma, le permitieron popularizarse masivamente, llegando a vender 1.39 millones de unidades en su primer año [11] y definiendo el estándar moderno para los teléfonos inteligentes.

La competencia, por su parte, tuvo que encontrar una manera de reaccionar a este parteaguas. En este sentido, la principal respuesta provino de parte de Google con el sistema operativo Android, un proyecto que como tal existía desde 2003 como parte de Android Inc., una empresa que se encontraba desarrollando el proyecto para cámaras digitales. Eventualmente siendo vendido a Google en 2005, compañía que cambiaría el enfoque hacia teléfonos inteligentes y seleccionando como nueva base del sistema operativo a Linux. A diferencia de Apple y su estrategia enfocada en sus propios dispositivos corriendo su sistema operativo iOS, Google optó por una estrategia que involucraba a compañías como Intel, Motorola, NVIDIA, Texas Instruments, LG Electronics, Samsung Electronics, Sprint Nextel Corporation, y T-Mobile para la formación del consorcio Open Handset Alliance, con el fin de promover Android como un sistema operativo de código abierto, capaz de correr aplicaciones provenientes de terceros. [12] Con esto, el primer dispositivo que utilizaba este nuevo sistema operativo fue lanzado en 2008.

Eventualmente, la estrategia de Google probaría su éxito al convertirse Android en el sistema operativo de dispositivos móviles más utilizado en el mundo, superando ampliamente a iOS de Apple, llegando a ocupar 75% del mercado para 2020. [12]

México no ha sido ajeno a los avances y cambios generados por las tecnologías más avanzadas en el campo de las telecomunicaciones y teléfonos inteligentes. Esto se puede

apreciar claramente gracias a las estadísticas, que muestran que en los últimos 20 años se ha vivido una profunda transformación en los hábitos de uso de una población que en el año 2000 contaba con un 12% ya utilizando servicios móviles de voz; para el 2005 esta cifra ya casi se había triplicado, alcanzando un 33%.

Claro que estas cifras ocurrieron antes del cambio ocasionado por sistemas operativos móviles y dispositivos contemporáneos, puesto que las nuevas prestaciones ofrecidas por estos nuevos aparatos han permitido incrementar en muy poco tiempo el acceso a internet en todos los segmentos de la población; en 2010 ya 41% de la población hacia uso de servicios de voz, 12% tenía acceso a redes 2G, y 7% tenía acceso a redes 3G o 4G.

El cambio tecnológico seguiría su curso y para 2015 el número de suscriptores a redes 3G o 4G se dispararía al 36%, reduciéndose el uso de redes 2G al 11%, y relegando el uso exclusivo de servicios de voz al 22%; ya había un 50% de adopción de teléfonos inteligentes en la población. En 2020, el número de usuarios de redes 3G y 4G ya alcanzaba el 63%, es decir, ya más de la mitad de la población, apenas conservándose 8% en redes 2G y 13% con servicios exclusivos de voz; para este punto ya 70% de la población contando con un teléfono inteligente.

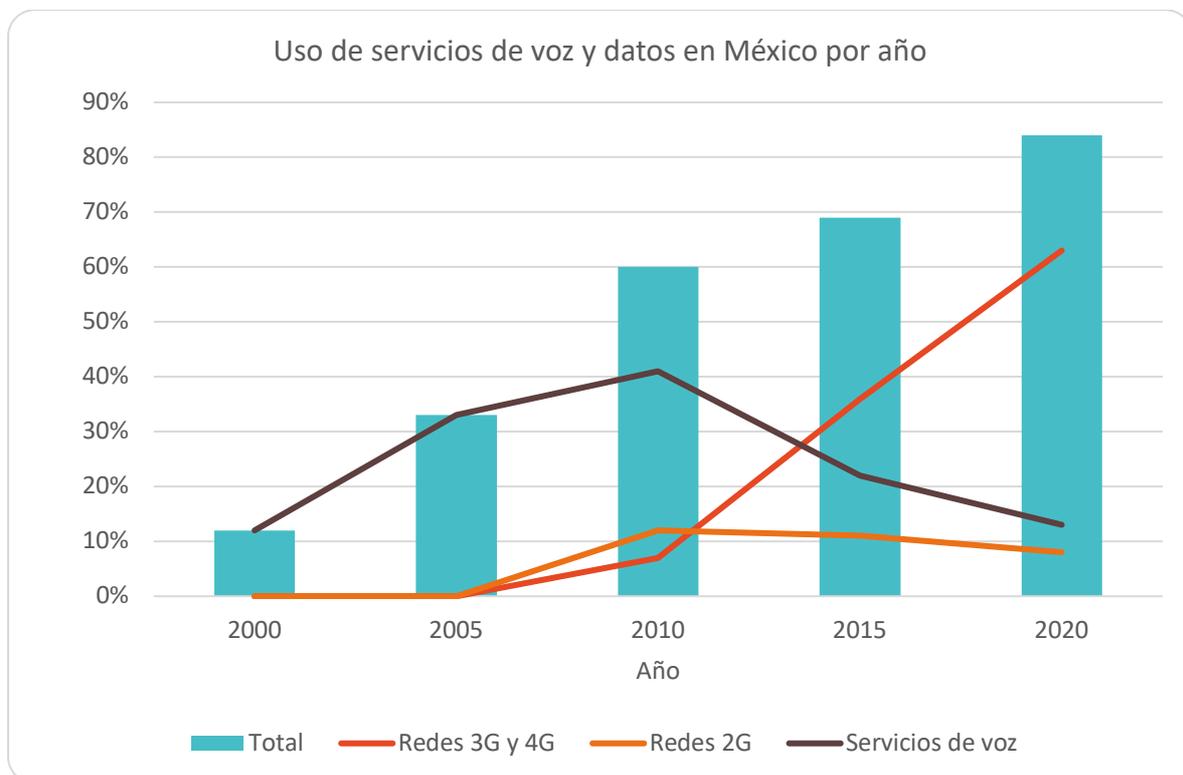


Figura 2-2. Porcentaje de uso de servicios de voz y datos en México a lo largo de los años [13]

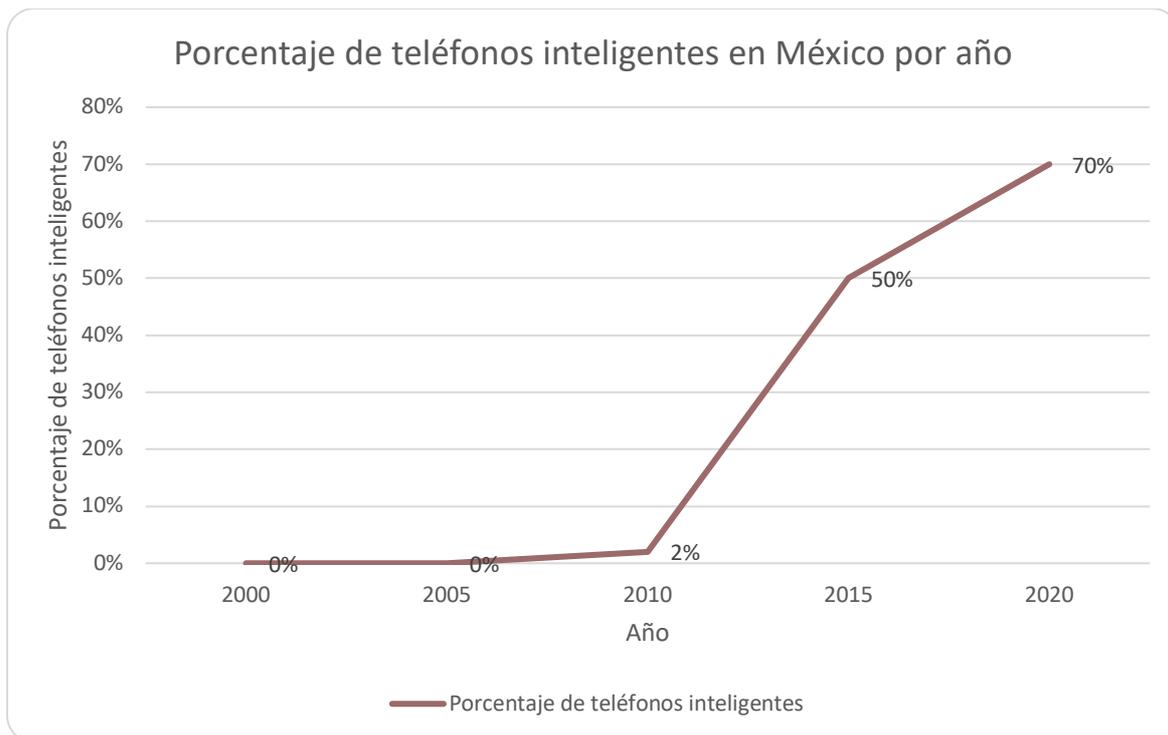


Figura 2-3. Porcentaje de personas con teléfonos inteligentes en México, por año [13]

Una vez vistos los datos, resulta impresionante la velocidad con la que se han propagado los teléfonos inteligentes en México. Datos de la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares (ENDUTIH) 2020, elaborada por el INEGI, en colaboración con la SCT y el IFT, indican que, para el año 2020, existían 88.2 millones de usuarios de teléfono celular en el país, es decir, un 75.5% de la población total. De estos usuarios, 9 de cada 10 (91.6%) cuentan con un teléfono inteligente. Esto resulta muy importante puesto que, de los usuarios de internet en México, 96% accede mediante su teléfono celular. [14] Se trata de un proceso de democratización en el acceso a la información cómo nunca se había visto en la Historia del país.

En el caso de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, en el año de 2019 hubo 2495 alumnos de nuevo ingreso, de los cuales, 2402 contaban con teléfono celular (96.27%), quedando en 93 el número de alumnos sin teléfono (3.73%). [15]

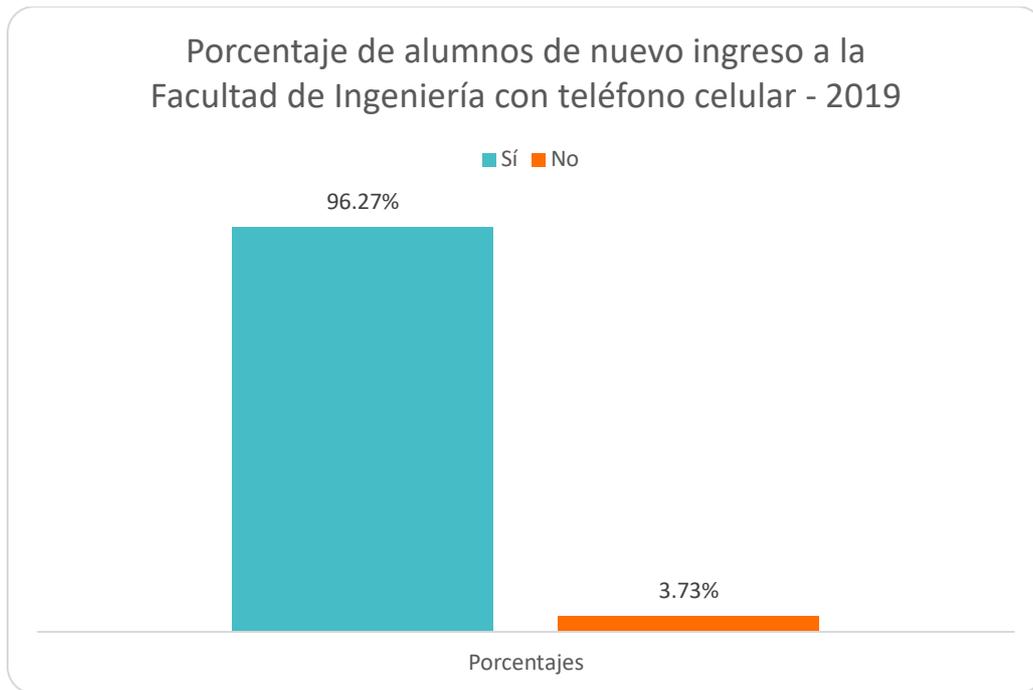


Figura 2-4. Porcentaje de alumnos de nuevo ingreso a la Facultad de Ingeniería con teléfono celular [7]

Hablando específicamente de los alumnos de nuevo ingreso de la carrera de Ingeniería Geológica, en 2019 hubo 95 alumnos de nuevo ingreso, de los cuales, 94 contaban con teléfono celular (98.95%), con sólo 1 nuevo alumno sin teléfono (1.05%). [15]

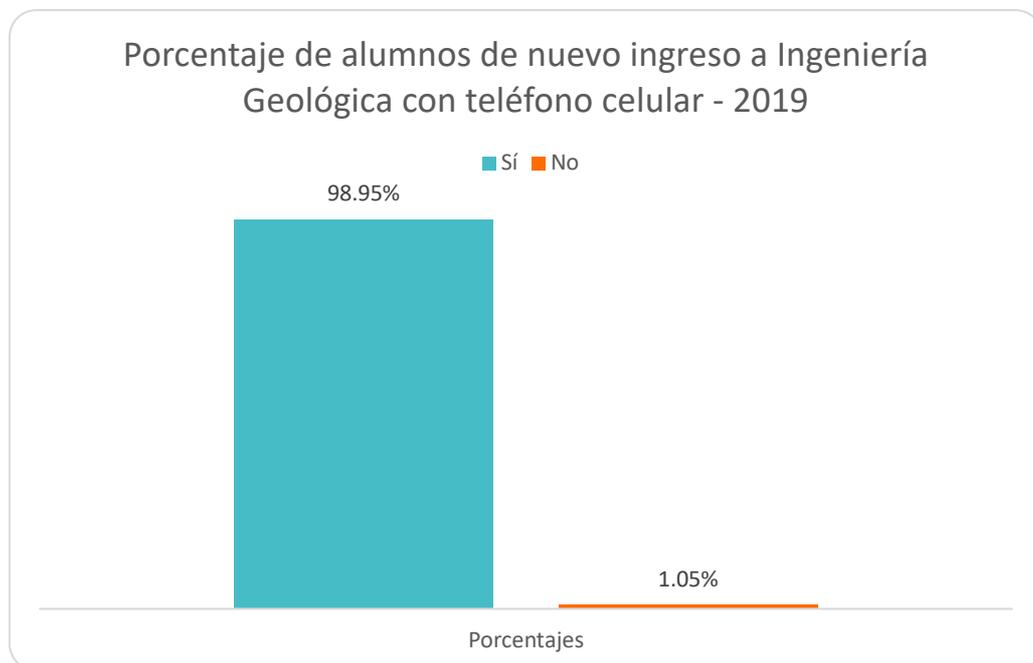


Figura 2-5. Porcentaje de alumnos de nuevo ingreso a la carrera de Ingeniería Geológica con teléfono celular [15]

Es importante también mencionar que los dos sistemas operativos más utilizados en el mercado de teléfonos inteligentes mexicano son Android, con un 80.39% del mercado, y iOS, con un 19.27% del mercado. [16]

Considerando todo lo anterior, así como las amplias prestaciones de teléfonos inteligentes modernos, resulta inevitable la búsqueda de soluciones a la problemática de la falta de suficientes muestras de rocas y minerales para el uso de los alumnos a lo largo de la carrera de Ingeniería Geológica. Las estadísticas indican que, por fin, es posible que una solución creada con teléfonos inteligentes como plataforma objetivo sea adoptada sin mayores contratiempos por la población estudiantil.

¿Pero cómo es posible resolver un problema de esta naturaleza utilizando teléfonos inteligentes? Generando modelos tridimensionales de alta calidad de cada roca y mineral que puedan ser visualizados con una aplicación diseñada para poder ser utilizada en dispositivos con sistema operativo Android y iOS, capaz incluso de mostrar cada modelo en realidad aumentada.

La realidad aumentada es un concepto con el que se ha experimentado de diferentes maneras desde hace ya más de 50 años. Desde 1968, cuando Ivan Sutherland utilizó un display transparente montado a la cabeza para desplegar contenido que, debido a las limitaciones computacionales de la época, se limitaba a dibujos sencillos. [17]

Los avances siguieron a lo largo del resto del siglo pasado, con múltiples experimentos que buscaban explorar el potencial de la realidad aumentada. Sin embargo, no sería sino hasta el inicio de los 2000s que con los avances en tecnologías móviles y su progresiva implementación en teléfonos celulares y PDAs que los intentos comerciales de aplicación podrían comenzar de manera realista.

En el 2000, SHARP lanzó al mercado el primer teléfono celular con cámara [17], que si bien tan sólo tenía una resolución de 0.1 megapíxeles, se volvería un componente indispensable para experiencias de realidad aumentada futuras.

Los avances siguieron, tomando diversas formas, principalmente a manera de experimentos, dejando en claro que, aunque las aplicaciones para la realidad aumentada eran muchas y el potencial de la tecnología apenas se comenzaba a vislumbrar, la tecnología aún no estaba en el punto correcto para asegurar una experiencia que pudiera ser ofrecida y adoptada de manera masiva por el consumidor.

Para el 2010, los sistemas operativos Android y iOS ya estaban muy bien consolidados en el mercado como prácticamente las únicas 2 plataformas relevantes para desarrollo debido a su nivel de uso, y con la llegada del iPad ese mismo año, al fin se haría estándar el conjunto de requerimientos necesarios en una plataforma para el despliegue apropiado de aplicaciones de realidad aumentada en un dispositivo de uso masivo. Esto, gracias a que incorporaba GPS, acelerómetros, magnetómetro, y un chip dedicado a gráficos (PowerVR SGX535). [17]

Eventualmente, estas características se volverían estándar en teléfonos inteligentes, aumentando la flexibilidad de esta plataforma y haciendo factible la implementación de aplicaciones de realidad aumentada a escala masiva.

Tomando lo anterior en cuenta, no resulta sorprendente que Apple fue el primero en darle soporte completo a la realidad aumentada en sus dispositivos gracias a su plataforma ARKit, presentada en junio de 2017 [18], siendo muy importante para la tecnología gracias a la amplia popularidad de los dispositivos, permitiendo a los desarrolladores utilizar la información proporcionada por cámaras y sensores para mejorar y facilitar la creación de aplicaciones.

Ese mismo año, en agosto de 2017 [19], Google presentaría su propia plataforma: ARCore. Una plataforma con objetivos similares a ARKit, liberando la capacidad de presentar experiencias en realidad aumentada a millones de dispositivos.

El surgimiento y desarrollo de ARCore y ARKit ha acelerado la implementación de realidad virtual en todo tipo de aplicaciones, probando su capacidad para aumentar la inmersión del usuario en el contenido y proveerle de una experiencia mucho más cercana a la realidad.

Para aprovechar ARCore y ARKit, Unity se sitúa como una de las mejores opciones, pues se trata de un motor gráfico para desarrollo de videojuegos que, gracias a su amplio nivel de compatibilidad y de soporte para múltiples plataformas diferentes, desde computadoras de escritorio hasta dispositivos móviles, consolas de videojuegos y visores de realidad virtual; se ha posicionado como una de las herramientas más utilizadas para el desarrollo de experiencias en 2D y 3D. A pesar de que se utiliza principalmente para el desarrollo de videojuegos, se utiliza también extensamente para todo tipo de aplicaciones comerciales debido a la versatilidad de la plataforma.

En este contexto es que surge AR Foundation, un Framework de Unity que busca simplificar aún más el proceso de desarrollo en múltiples plataformas, permitiendo que una aplicación desarrollada en Unity pueda incorporar realidad aumentada y, con apenas algunos ajustes, poder funcionar tanto en Android como iOS, eliminando la necesidad de crear dos proyectos independientes y ampliando el alcance.

Utilizando estas plataformas de realidad aumentada es posible desarrollar una solución a la problemática presentada al inicio de esta sección sobre la falta de suficientes muestras de rocas y minerales para todos los alumnos de la carrera de Ingeniería Geológica en la Facultad de Ingeniería.

Gracias a la realidad aumentada y a las capacidades de procesamiento de dispositivos portátiles modernos, es posible proveer una colección de modelos en alta resolución para su visualización desde una aplicación para iOS o Android, pudiendo incluso desplegar cada uno de ellos mediante cámaras en el entorno en dónde se esté utilizando.

Resulta imperativo que la Facultad de Ingeniería cuente con una solución moderna para esta clase de problemáticas para mantener los altos estándares educativos de la geología.

2.2 OBJETIVOS

Aprovechando la amplia utilización de dispositivos con sistemas operativos iOS y Android por la comunidad estudiantil de la Facultad de Ingeniería, se propone el desarrollo de una aplicación diseñada para ser utilizada en cualquiera de estos dispositivos. Esta aplicación solucionará la problemática de la falta de muestras de cada roca y mineral geológico de la colección de la Facultad de Ingeniería, utilizados en clases y sesiones de laboratorio de la carrera de Ingeniería Geológica para ayudar a los alumnos a familiarizarse con una parte muy importante de su material de trabajo.

Siendo el conocimiento integral de rocas y minerales fundamental en la formación de los futuros Ingenieros Geólogos en México, esenciales para el desarrollo del país, resulta muy importante aprovechar las tecnologías más recientes de maneras innovadoras que permitan proveer a los usuarios una experiencia lo más cercana a la realidad posible, de tal manera que la interacción de los alumnos con material geológico no se vea limitada a sesiones de laboratorio y prácticas de campo organizadas durante el semestre.

El desarrollo de una aplicación de esta naturaleza no se trata de un proceso trivial pues, como toda pieza de software, implica el trabajo de un equipo multidisciplinario encargado, en este caso, de las áreas de desarrollo, modelado y diseño gráfico de la interfaz de usuario de la aplicación.

En los siguientes puntos se expondrán los aspectos más importantes a considerar para el desarrollo de la aplicación.

2.2.1 Modelos detallados de rocas y minerales

Para que la aplicación pueda servir como una alternativa viable a la obtención de más muestras de cada roca y mineral de la colección de la Facultad de Ingeniería, prácticamente una de cada una por cada alumno de la carrera de Ingeniería Geológica, es necesario contar con modelos en alta calidad de cada roca y mineral que se desea incluir.

Originalmente la realización de estos modelos involucraría el trabajo de un diseñador con conocimientos de herramientas de modelaje en 3D por múltiples horas, para cada modelo, con el fin de que estos sean lo más cercano posibles a sus contrapartes reales. Es por este motivo que producciones como películas animadas y videojuegos, requieren del trabajo de múltiples diseñadores al mismo tiempo.

Afortunadamente, técnicas modernas de fotogrametría permiten acelerar el proceso de generación de modelos. Esto gracias a que se tiene acceso a la colección de rocas y minerales de la Facultad de Ingeniería.

Utilizando una cámara de alta resolución, es posible generar un modelo tridimensional mediante la toma de fotografías en todos los ángulos alrededor de la roca o mineral en cuestión. Una vez obtenidas estas imágenes, se utiliza Agisoft Metashape, un programa diseñado para fotogrametría, muy utilizado en los campos de geología y arqueología, que permite la generación de modelos 3D de alta calidad a partir de las fotografías proporcionadas. Si bien este proceso toma tiempo, no sólo por la cantidad de rocas y minerales que necesitan ser fotografiadas, sino por el tiempo de procesamiento necesario para la generación de cada modelo por el mismo programa, esto es mucho más rápido que el modelado manual de cada elemento.

El trabajo requerido para la generación de los modelos necesarios para la aplicación se está llevando a cabo por un grupo de estudiantes multidisciplinarios que se encuentra haciendo su servicio social en el Departamento de Geología de la Facultad de Ingeniería. Sin este esfuerzo sería imposible para el equipo de desarrollo la producción de la aplicación.



Figura 2-6. Danburita, mineral listo para el proceso de toma de fotografías.

2.2.2 Colección de modelos detallados de rocas y minerales

La aplicación contendrá una colección de diversas rocas y minerales, cada una con su respectivo modelo tridimensional en alta resolución, así como una ficha técnica acompañante, con el objetivo de que los usuarios de la aplicación (los alumnos), tengan acceso rápido e intuitivo a los aspectos más importantes de cada espécimen de la colección, apoyando en el proceso de estudio de sus asignaturas.

Por este motivo, será necesario que la aplicación cuente con una interfaz de menús que permita visualizar la colección de rocas y minerales en una lista con un diseño lo suficientemente intuitivo como para ser utilizado por cualquier usuario que cuente con conocimientos básicos de operación de una aplicación en un dispositivo con pantalla táctil.

Desde la interfaz de menús de la aplicación, el usuario será capaz de acceder a un visualizador que permita manipular el modelo tridimensional de la roca o mineral seleccionado. Esto mediante el uso de gestos estándar en dispositivos con los sistemas operativos móviles iOS y Android.

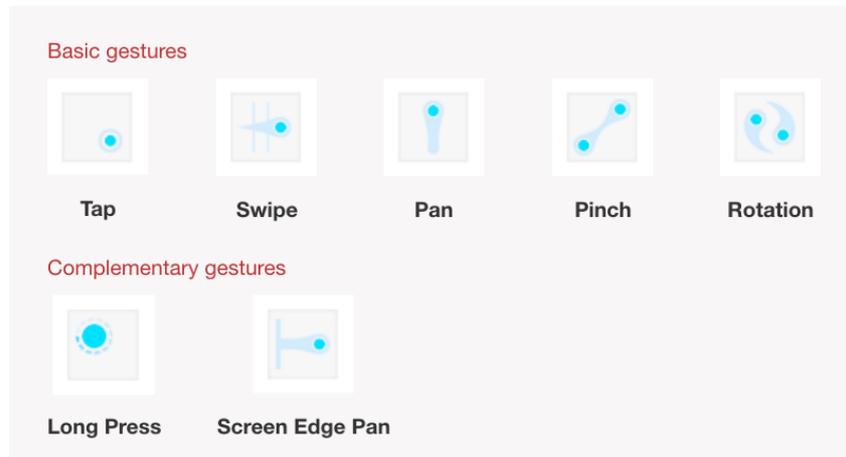


Figura 2-7. Diagramas de gestos táctiles en iOS y Android [20]. Los gestos se han vuelto fundamentales en las interfaces de estos sistemas operativos.

2.2.3 Visualización de modelos en realidad aumentada

La aplicación utilizará realidad aumentada, aprovechando los sensores y cámaras de los dispositivos móviles para proveer una experiencia aún más inmersiva a los alumnos, permitiéndoles visualizar el modelo de la roca o mineral que deseen proyectado sobre el ambiente en el que se encuentren, utilizando un código QR como marcador de posición de proyección del modelo.

El visor de realidad aumentada, además, permitirá la manipulación de los modelos, pudiendo los usuarios rotarlos y escalarlos según lo deseen, facilitando el análisis de cada una de las características de las rocas y minerales.

2.2.4 Disponibilidad de la aplicación

Para que la aplicación pueda ser aprovechada por la mayor cantidad de alumnos posibles, es necesario que esta pueda ser utilizada en la mayor cantidad de dispositivos posibles. En este sentido, los sistemas operativos móviles más importantes, por su cuota de mercado, son iOS y Android. Debido a esto, la aplicación debe de estar disponible para ambos tipos de sistemas.

Tomando lo anterior en cuenta, la aplicación debe de estar disponible en las tiendas de aplicaciones de iOS y Android: la App Store de Apple y la Play Store de Google, respectivamente. Con esto, los alumnos podrán fácilmente descargar la aplicación desde una plataforma confiable, en cualquier lugar con acceso a internet.



Figura 2-8. Logo de la tienda de aplicaciones de Google: Google Play



Figura 2-9. Logo de la tienda de aplicaciones de Apple: App Store

3 MARCO TEÓRICO

3.1 ANTECEDENTES

Desde la primera muestra de realidad aumentada (RA) desarrollada por Ivan Sutherland en Harvard en 1968, hasta aplicaciones modernas posibles gracias a las más recientes capacidades de procesamiento y dispositivos de uso masivo, la tecnología ha tenido muchas iteraciones y aplicaciones a lo largo de los años, sin las cuáles hubiera sido imposible aprender sobre sus posibles aplicaciones y la manera en la que puede ser útil para los usuarios, más allá de la novedad que pueda representar poder experimentarla por primera vez.

3.1.1 La realidad aumentada como herramienta de marketing

Los primeros intentos de aprovechamiento de la realidad aumentada enfocados en el público general se centraron en su uso como herramienta de marketing de diversos productos y marcas que, buscando atraer la atención del espectador, aprovechaban la novedad de la tecnología para acercar al usuario al uso del producto en cuestión.

Con esto en mente, la primera aplicación comercial apareció en 2008, producto de agencias de publicidad alemanas que crearon una experiencia enfocada en el BMW Mini que permitía a los usuarios escanear un anuncio de una revista con una cámara para poder visualizar un modelo del automóvil. [21]

Siguiendo este ejemplo, compañías de todo tipo, desde National Geographic hasta Coca-Cola y Disney eventualmente desarrollaron campañas de marketing que empleaban realidad aumentada, principalmente enfocadas a espacios públicos.

3.1.2 La realidad aumentada como herramienta personal

Después de la presentación de la realidad aumentada en campañas de marketing, a principios de la década del 2010 la tecnología finalmente tuvo la oportunidad de entrar en los hogares de las personas como una herramienta con utilidad real como una manera de poder probar productos de manera virtual.

Primeras iteraciones de esta tecnología se limitaban a superponer el producto en cuestión, como lentes o maquillaje, sobre una foto del usuario, pero los avances en RA permitieron realizar este proceso en tiempo real utilizando video de una cámara y una pantalla para funcionar como un espejo, permitiendo al usuario tener una idea cercana a cómo se vería en realidad. Empresas como Holimotion, ModiFace y Total Immersion han centrado su trabajo en aplicaciones “espejo”. [21]

Este tipo de tecnología es muy sofisticada dada la complejidad que implica realizar esta clase de seguimiento facial y desplegar este tipo de gráficos en tiempo real, pero aplicaciones como Snapchat e Instagram han vuelto extremadamente populares este tipo de aplicación.

3.1.3 La realidad aumentada como valor agregado a la experiencia de uso

Las implementaciones de la realidad aumentada en aplicaciones de uso comercial con un enfoque de uso masivo no siempre han sido perfectas, impresionando a los usuarios por su innovación, pero sin necesariamente dejar una impresión duradera sobre el tema de la aplicación en sí, debido, principalmente, a un enfoque equivocado que buscaba reescribir lo que se percibe como realidad en lugar de complementar experiencias ya existentes. Esto resulta especialmente importante para facilitar el uso masivo. [22]

3.1.3.1 La promesa de la realidad aumentada: Hololens

En enero de 2015 Microsoft presentó Hololens [23], un visor de realidad aumentada diseñado para proveer una experiencia muy inmersiva, aprovechando las tecnologías más avanzadas en procesamiento móvil, pantallas y sensores para integrarse de una manera prácticamente imperceptible al entorno de las personas.

Hololens se trata de un visor que se coloca en la cabeza de una persona, de una manera muy similar a como se utilizan visores de realidad virtual como Oculus, pero dejando de lado la idea del entorno privado dado por la naturaleza cerrada de tener una pantalla en cada ojo desplegando un entorno virtual tridimensional. A diferencia de esto, Hololens busca integrar de una manera natural la capacidad de proyectar elementos virtuales con el entorno real en el que se encuentra el usuario, de tal manera que las proyecciones proporcionadas por el dispositivo se perciben como si fueran hologramas (de ahí el nombre).

Se trata, sin duda, de un tipo de dispositivo con un potencial increíble de aplicaciones sobre todo tipo de escenarios de la vida cotidiana. Sin embargo, aunque la tecnología ha progresado en el tiempo que ha pasado desde su anuncio y lanzamiento inicial, incluso lanzándose una segunda versión, Hololens 2, en febrero de 2019 [24], se trata de un producto que aún no está listo para el mercado masivo y se usa exclusivamente en grandes corporaciones, particularmente debido a su precio, que ronda los 3,500 dólares.

A pesar de lo anterior, que ya exista la tecnología para realizar experiencias en realidad aumentada de este tipo significa que con el tiempo esta se irá refinando y abaratando, hasta que finalmente pueda materializarse en un producto comercial de alcance masivo.



Figura 3-1. Un médico viendo un modelo del interior del cuerpo humano [25]. Hololens promete un futuro inmersivo lleno de RA.

3.1.3.2 Una implementación exitosa: Pokémon Go

Al hablar de la masificación de la tecnología de realidad aumentada, no sólo como una funcionalidad que es realísticamente realizable en el ecosistema de dispositivos contemporáneos, sino también como una característica que es capaz de mejorar la experiencia de uso de una aplicación, resulta imposible no hablar de Pokémon Go, un videojuego para dispositivos móviles lanzado en 2016 que inmediatamente se volvió la aplicación más descargada en todas las tiendas de aplicaciones en las que se encontraba disponible.

Pokémon Go fue una gran plataforma para la popularización de la tecnología pues, aprovechando la mecánica de juego principal, consistente en el recorrido de lugares reales para tener la oportunidad de obtener nuevos personajes e ir completando una colección de todos los disponibles, utilizaba realidad aumentada para mostrarle a los usuarios los modelos de cada personaje como si se encontraran directamente proyectados en su entorno, gracias al uso de cámaras y sensores de los teléfonos móviles.

El éxito de Pokémon Go probó el atractivo masivo de la realidad aumentada en dispositivos ya existentes en el mercado, dejando de lado aplicaciones mucho más especializadas y costosas en las que muchas empresas se encontraban trabajando. [26]

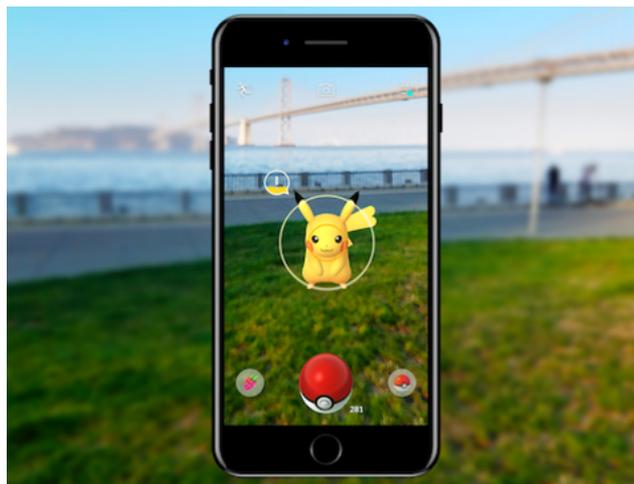


Figura 3-2. La aplicación mostrando modelos con realidad aumentada. [27]

3.1.4 La realidad aumentada en la UNAM

La realidad aumentada (RA) como tecnología aprovechada en aplicaciones para la solución de problemas, no es nueva en la UNAM, pues se ha utilizado en diferentes proyectos gracias a esfuerzos promovidos para trabajos de investigación y de apoyo a la docencia.

La Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC) de la UNAM, existe desde 1981, creada originalmente con el nombre de Programa Universitario de Cómputo (PUC), teniendo como misión el aprovechamiento de las tecnologías de la información y telecomunicación en la docencia, investigación, difusión de cultura y administración universitaria [28].

Para promover la utilización de la realidad aumentada en la UNAM, la DGTIC creó el Departamento de Visualización y Realidad Virtual (DVRV), con el objetivo proveer asesoría,

desarrollar proyectos, formar personal, así como permitir el acceso a infraestructura para la Visualización Interactiva y la Realidad Virtual. [29]

Una de las aplicaciones más importantes de la realidad aumentada actualmente corresponde a experiencias diseñadas para museos. No es de extrañarse entonces que el DVRV ha diseñado diversas aplicaciones para diferentes entidades académicas de la UNAM, tales como:

- “Nebulosas” para el Instituto de Astronomía:

Aplicación diseñada para el Departamento de Comunicación de la Ciencia del Instituto de Astronomía de la UNAM, permitiendo a los usuarios visualizar desde un dispositivo móvil iOS o Android modelos tridimensionales, basados en las imágenes ganadoras del concurso de astrofotografía organizado por el Instituto de Astronomía. [30]

Este tipo de aplicación es importante porque permite aumentar el alcance del tema de la Astronomía, otorgando a cualquier persona que descargue la aplicación, la oportunidad de visualizar de una forma interactiva diversos objetos celestes; se trata de un esfuerzo importante para la divulgación científica en México.



Figura 3-3. Menú principal de la aplicación “Nebulosas” [30]

- “Uncurated” para el Museo Universitario del Chopo:

Aplicación diseñada como una experiencia interactiva para el Museo Universitario del Chopo, con el objetivo de presentar obras de arte en realidad aumentada para la exposición “The Wrong New Digital Art Biennale”. [31] Las obras de arte son un tema ideal para la realidad aumentada, pues esto permite que muchas más personas tengan acceso a vistas inmersivas de obras sin importar la ubicación desde la que se esté utilizando la aplicación.



Figura 3-4. Vista de una de las obras de arte presentadas en Uncurated.

- Aplicación de recorrido interactivo para el Museo de las Constituciones:

Aplicación diseñada también para un museo, con el objetivo complementar el recorrido de este, permitiéndole al usuario complementar su visita con experiencias adicionales, que le permiten profundizar más sobre los temas tratados a lo largo de la exposición. [32]



Figura 3-5. La aplicación permite aprender más sobre personajes importantes de la Historia de México.

- Galería para el Instituto de Geología:

Elaborado con motivo del 85 aniversario del Instituto de Geología de la UNAM, con el objetivo de proporcionar a los usuarios de una experiencia interactiva centrada en el aprendizaje sobre arácnidos y mamíferos. [33]



Figura 3-6. Vista de uno de los modelos de la galería para el Instituto de Geología. [33]

- “El cultivo de las abejas mayas: una tecnología ancestral” para el Instituto de Investigaciones Filológicas de la UNAM:

Aplicación desarrollada con el objetivo de presentar la tecnología de meliponicultura maya, utilizada para el cultivo de miel de abeja. El contenido es bilingüe, pudiéndose visualizar tanto en español como en maya. [34]

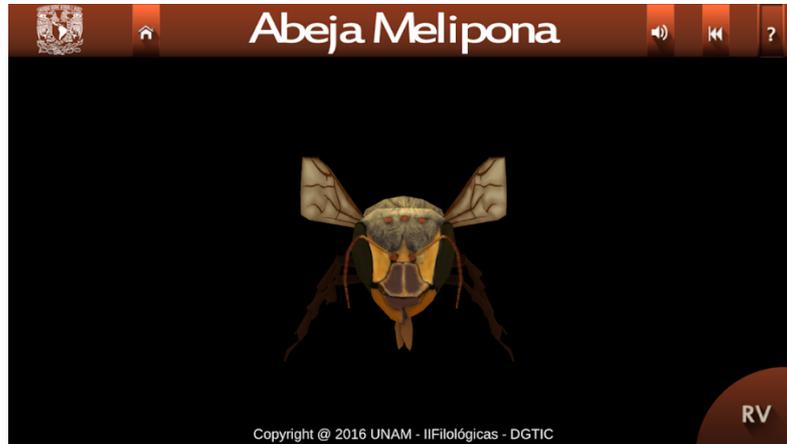


Figura 3-7. Vista de una de las pantallas de la aplicación “Abejas Mayas”. [34]

Estos esfuerzos por desarrollar aplicaciones implementando RA nos dan una muestra de lo que se puede lograr, además de que familiarizan a los usuarios con la tecnología, al tiempo que esta continúa avanzando y las prestaciones de dispositivos móviles se incrementan, permitiendo que aún más personas puedan hacer uso de estas.

3.2 BASES TEÓRICAS

3.2.1 Dispositivos móviles

Los dispositivos móviles son todas aquellas computadoras que se pueden sostener y manipular con las manos, de tal manera que son tan pequeños que se pueden transportar de un lugar a otro fácilmente, gracias a su tamaño pequeño. Estos dispositivos son el producto del desarrollo tecnológico que ha permitido la miniaturización de computadoras.

La gran variedad de dispositivos móviles existe gracias al fenómeno explicado por la ley de Moore, que más que ley se trata de una predicción elaborada por Gordon Moore para la revista Electronics en 1965 sobre el desarrollo tecnológico que esperaba para la próxima década. Tomando en cuenta cómo en años pasados el número de transistores en un circuito se había duplicado cada año, estimó que esta tendencia continuaría hasta que, en 1975, hubiera 65,000 transistores por chip. [35]

Posteriormente, en 1975, esta tendencia creciente parecía ir en desaceleración, así que revisó su predicción para establecer que este aumento al doble de transistores se llevaría a cabo cada 2 años, en lugar de cada año. Sin embargo, esta predicción resultaría conservadora, pues durante 50 años después de 1961, el número de transistores se duplicaría consistentemente cada 18 meses [35], revolucionando el campo de la computación y permitiendo, eventualmente, que cualquier persona pudiera tener acceso a todo tipo de

computadoras de uso personal, algo que parecía impensable en los primeros días de la computación, cuando una computadora necesitaba de enormes espacios específicamente diseñados para contenerlas.

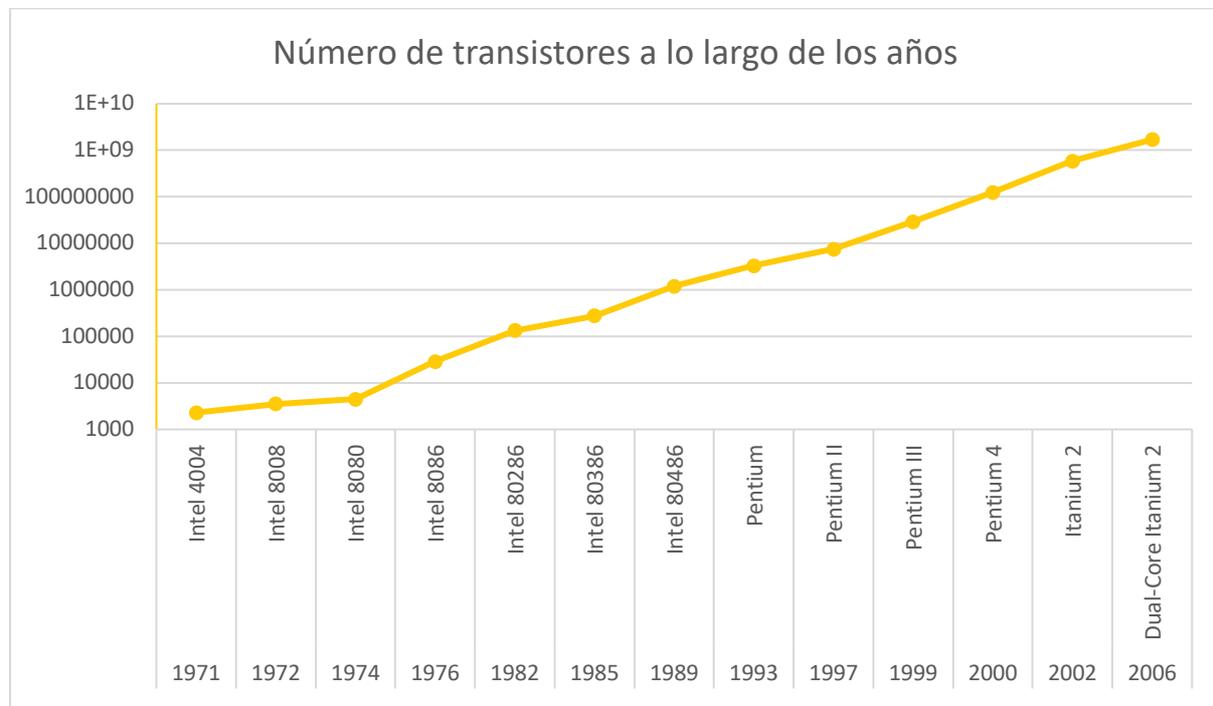


Figura 3-8. El creciente número de transistores en procesadores a lo largo de los años. [35]

La diversificación y la democratización del acceso a computadoras alrededor del mundo sin duda ha cambiado las vidas de miles de millones de personas que hoy en día realizan actividades diariamente que simplemente serían imposibles sin el acceso a las computadoras. Se trata de uno de los cambios más importantes en el estilo de vida de la humanidad de toda la Historia, acelerado también gracias a la aparición de internet.

Estos avances son justamente lo que permitió la aparición del primer teléfono celular en 1984, el DynaTAC de Motorola, que se volvió icónico no solo por ser el primer dispositivo de su tipo disponible de manera comercial, sino también por su forma, similar en tamaño a un ladrillo y con un peso superior a un kilogramo. [36]

Con el tiempo, la tecnología continuó avanzando, haciéndose más pequeña y barata, lo que permitió su adopción masiva en todo el mundo, eventualmente llegando a los teléfonos inteligentes y tablets contemporáneos.

3.2.1.1 Teléfonos inteligentes

Un teléfono inteligente es un dispositivo derivado de los teléfonos móviles tradicionales, pasando de ser dispositivos muy grandes, pesados y costosos, a ser dispositivos muy pequeños y tan asequibles que se volvieron comunes a principios de la década del 2000. El teléfono inteligente hereda la capacidad de realizar llamadas de manera inalámbrica a cualquier número telefónico, al tiempo que incorpora funcionalidad adicional que enriquece la experiencia del usuario.

Un teléfono inteligente moderno cuenta con una pantalla, software de administración de información (como agenda telefónica y calendario), así como un sistema operativo que permite que nuevas aplicaciones puedan ser instaladas, mejorando o añadiendo funcionalidad relacionada a la navegación web, correo electrónico, música, video, etc. [37]

Al igual que el teléfono móvil tradicional, tuvo que pasar un largo proceso de desarrollo de avances tecnológicos para poder llegar al estándar de teléfono inteligente contemporáneo; proceso que se pudo llevar a cabo gracias a la Ley de Moore y a la aparición de la tecnología 3G.

El primer teléfono inteligente hizo su aparición en 1992, se trataba del Simon Personal Communicator, desarrollado por IBM, costaba 900 dólares e incluía una pantalla táctil y funcionalidad de PDA (Personal Digital Assistant). Gracias a esto, además de tener la capacidad de realizar llamadas telefónicas, permitía los usuarios enviar y recibir correos electrónicos, así como administrar un calendario, agenda telefónica y utilizar una calculadora. [38] A pesar de lo primitivo que pudiera parecer este dispositivo comparado con cualquier teléfono inteligente moderno, lo cierto es que incorporaba tecnología muy avanzada para la época, dándole al mundo una primera muestra del potencial de este segmento de dispositivos.



Figura 3-9. El primer teléfono inteligente: Simon Personal Communicator [38]

Aún faltarían muchos años para que el teléfono inteligente se separara de su forma híbrida con los PDAs, mientras que, en Japón, dándose cuenta del potencial de este tipo de dispositivos, desde 1999 comenzó una revolución con dispositivos capaces de conectarse a una red de internet de alta velocidad llamada i-node. [39]

Esta red de alta velocidad, i-node, a diferencia de su contraparte usada en EE. UU., el Wireless Application Protocol (WAP), estaba diseñada específicamente para teléfonos diseñados para el mercado japonés, permitiendo a estos dispositivos no solo revisar y enviar correos electrónicos, sino también otorgándoles acceso a una amplia variedad de servicios, tales como: resultados deportivos, predicciones del clima, videojuegos, servicios financieros y servicios de compra de boletos; todo esto a velocidades mucho más altas. Esto era posible gracias al uso de compact HTML (cHTML), una versión modificada de HTML que permitía el despliegue de páginas web en teléfonos. Con esto, apenas dos años después, en 2001, la red de la compañía de telecomunicaciones NTT DoCoMo contaba con 40 millones de subscriptores. [39]

En occidente, sin embargo, el concepto de los teléfonos inteligentes aún tardaría en despegar algunos años, a pesar de los esfuerzos de compañías como Palm, Microsoft y RIM (Research In Motion), siendo esta última la que finalmente lograría posicionar un teléfono inteligente como una alternativa real a los teléfonos tradicionales, centrando su estrategia inicialmente en el mercado empresarial con su línea de teléfonos BlackBerry. Esta línea contaba con su propio sistema operativo, BlackBerry OS, y se caracterizó por su diseño que incorporaba un teclado QWERTY completo.



Figura 3-10. BlackBerry 5810, uno de los primeros teléfonos inteligentes de RIM. [40]

BlackBerry se posicionó como la marca de teléfonos inteligentes más popular en el mundo, alcanzando a cubrir más del 50% del mercado en EE. UU. y 20% del mercado global en su punto más alto en 2009. [41] Sin embargo, a este gran éxito le seguiría una dramática caída debido a la incapacidad de la compañía de adaptarse a la competencia: iPhone.

El lanzamiento del iPhone en 2007 revolucionaría el mercado de los teléfonos inteligentes, estableciendo el estándar de características que un dispositivo moderno debía de tener, y que aún sigue vigente en 2021.

El aspecto más revolucionario del iPhone fue su pantalla táctil, aprovechando la versatilidad de este tipo de entrada de datos para eliminar la necesidad de un teclado físico, implementando también gestos con múltiples dedos que permitían al usuario interactuar de una manera más natural con el contenido desplegado en pantalla. Por ejemplo: al realizar un gesto de pellizco se podía manipular el tamaño de las imágenes.

Los cambios traídos al mercado de los teléfonos móviles por el primer iPhone dictaron el camino que el resto de los fabricantes de teléfonos seguirían en términos de diseño tanto de hardware como de software.



Figura 3-11. El primer iPhone, lanzado en 2007. [42]

Después del lanzamiento del iPhone, RIM prefirió conservar su ya icónico teclado QWERTY, creyendo que las pantallas táctiles no despejarían. Esto sólo alentó la transición de la serie de teléfonos BlackBerry al nuevo estándar, lo que terminaría por eliminar la relevancia de la marca en el mercado, eventualmente.

Google, por su parte, se posicionó como uno de los principales competidores de Apple gracias a sus esfuerzos centrados en crear alianzas con fabricantes para la utilización de su sistema operativo Android. Esto le permitió rápidamente establecerse como una alternativa real a iPhone gracias a la amplia variedad de dispositivos disponibles con el mismo sistema operativo. Desde el lanzamiento del primer dispositivo con Android en 2008, el T-Mobile G1, la popularidad de la plataforma no ha hecho más que aumentar, volviéndose el sistema operativo más popular en 2012, rebasando a iOS de Apple. Actualmente cerca de 75% de todos los dispositivos móviles usan Android. [43]

A pesar de ciertos intentos de otras grandes compañías a lo largo de los años, como Microsoft con Windows Phone, actualmente los teléfonos inteligentes se han estandarizado en cuanto a características tanto de hardware como de software, sin importar el fabricante, pero nuevos avances en tecnologías como pantallas que se pueden doblar, así como dispositivos ya lanzados al mercado que incorporan esta característica, prometen nuevas e innovadoras formas de uso en el futuro cercano.

El mercado actual de teléfonos inteligentes es extremadamente diverso, con muchos fabricantes, cada uno con sus propias líneas de productos enfocadas en la implementación de nuevos avances tecnológicos que los puedan distinguir del resto. Samsung se ha posicionado como la compañía con la mayor cuota del mercado global, con 27.92% del total, pero Apple le sigue muy de cerca con un 26.42%. [44] Debido a lo extremadamente competitivo de este mercado, ningún fabricante tiene un dominio total del segmento.

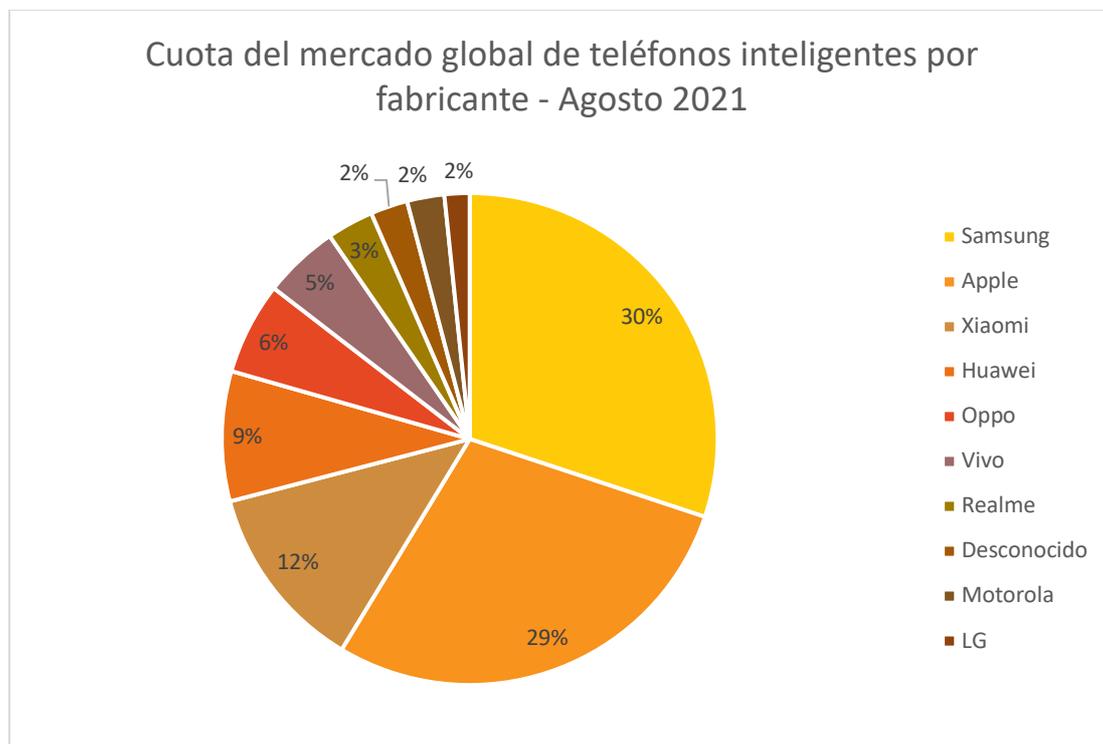


Figura 3-12. El mercado de teléfonos inteligentes es extremadamente competitivo. [44]

Los teléfonos inteligentes se han vuelto dispositivos indispensables para la vida de cotidiana de millones de personas alrededor del mundo, pasando de ser artículos de costo prohibitivo, diseñados específicamente para el mercado de usuarios empresarial, a ser tecnología utilizada por la gran mayoría de la población mundial, y si bien los porcentajes de utilización de teléfonos inteligentes varían mucho dependiendo de cada país, el número de usuarios totales de teléfonos inteligentes se sitúa en 6,378 millones de personas en 2021. [45]

3.2.1.2 Tablets

Las tablets son dispositivos móviles que han estado presentes en el mundo de la tecnología desde hace mucho tiempo. Simplemente se trata de un factor de forma muy natural, dada la amplia interacción que ha tenido el ser humano con superficies para la escritura y lectura de información a lo largo de la Historia.

Desde 1968, la idea de una computadora rectangular, no más grande que un cuaderno, surgió. Alan Kay, científico pionero de la programación orientado a objetos, imaginó un dispositivo con pantalla táctil: el Dynabook. Descrito en “A Personal Computer for Children of All Ages”, Kay imaginó esta computadora como una herramienta de educación. El concepto era muy avanzado a la época y faltarían muchos años para que la tecnología avanzara lo suficiente como para poder hacer realidad un dispositivo de este tipo, pero el concepto se mantuvo presente. [46]

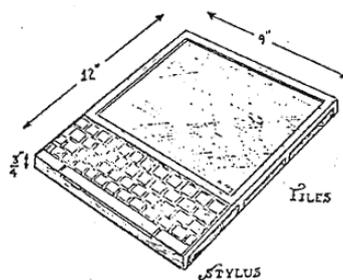


Figura 3-13. Ilustración del Dynabook en “A Personal Computer for Children of All Ages”. [47]

En 1987, casi 20 años después de la concepción inicial de la idea para el Dynabook, fue lanzado al mercado el Linus Write-Top, la primera Tablet lanzada de manera comercial. Se trataba de un dispositivo que incorporaba una pantalla táctil resistiva, por lo que requería de la utilización de un stylus para detectar la ubicación tocada en la pantalla. Esta pantalla táctil era el principal dispositivo de entrada disponible, por lo que incorporaba un algoritmo de reconocimiento de símbolos para poder convertir el texto escrito con el stylus sobre la pantalla en letras, números y símbolos, a una velocidad de 5 caracteres por segundo. Además de lo anterior, era compatible con IBM, por lo que contaba con un puerto serial y 5 entradas para discos floppy de 1/4 pulgadas. [48] A pesar de la versatilidad proporcionada por esto, vendió muy pocas unidades y rápidamente desapareció del mercado.



Figura 3-14. A pesar de su falta de éxito, el Linus Write-Top fue la primera tablet comercial. [48]

En los años siguientes, saldrían al mercado algunos otros dispositivos con factores de forma similares, intentando popularizar el concepto, con diferentes niveles de éxito. Sería en 1993 cuando AT&T lanzaría al mercado una nueva iteración de esta familia de dispositivos, esta vez con conectividad inalámbrica vía la red de teléfono celular, que para este momento ya se encontraba en rápida expansión.

El AT&T EO Personal Communicator fue lanzado en abril de 1993, siendo la primera tablet capaz de conectarse a la red celular, con lo que tenía funcionalidad inalámbrica de voz, correo electrónico y fax. El sistema operativo incluido, PenPoint OS, fue muy bien recibido debido a su simplicidad de uso, sin embargo, junto a este dispositivo, nunca se popularizó y, apenas un año después, en 1994, cesaron sus ventas. [49]



Figura 3-15. El AT&T EO Personal Communicator, la primera tablet con conectividad inalámbrica. [50]

Ese mismo año, en agosto de 1993, fue lanzado al mercado el Newton de Apple, un dispositivo particularmente importante debido a que fue la primera incursión comercial de una computadora con este factor de forma por parte de Apple. Se trataba de un dispositivo muy ambicioso para la época, no necesariamente debido a su funcionalidad, pues esta era muy básica: el usuario podía tomar notas, almacenar una agenda de contactos, administrar un calendario y enviar fax.

Lo más revolucionario del Newton era el tamaño desde el que buscaba proveer de esta funcionalidad a sus usuarios, siendo uno de sus requerimientos principales desde la concepción de la idea, el ser capaz de almacenarse un bolsillo común de ropa. Para esto, los ingenieros de Apple tuvieron que utilizar una nueva arquitectura que permitiera maximizar el rendimiento y la batería: la arquitectura ARM. Esta es la arquitectura que hoy en día se ha vuelto el estándar en dispositivos móviles de todo tipo. [51]

A pesar de todos sus fallos debido a lo apresurado del desarrollo de muchas de sus características, el Newton fue una muestra de lo que la computación móvil puede ser en el mundo exterior, muchos años antes de la aparición de los teléfonos inteligentes.



Figura 3-16. El Apple Newton, una muestra del futuro de la computación móvil en 1993. [51]

Eventualmente, Microsoft intentaría también entrar al mercado de las tablets por medio de su sistema operativo Windows XP, con una versión modificada para funcionar de mejor manera con una pantalla táctil como dispositivo de entrada principal. Esta versión fue lanzada en 2002 con el objetivo de facilitar la adopción de dispositivos con este nuevo factor de forma, lanzados al mercado por diversos fabricantes, como Compaq. Sin embargo, a pesar de tratarse una versión de Windows XP apropiada para tablets, esto gracias a la inclusión de ajustes especiales que facilitaban el control táctil, el escepticismo con respecto a la utilidad de estos dispositivos en comparación a computadoras tradicionales evitó que se popularizara. [52]

Versiones posteriores de Windows XP seguirían soportando dispositivos centrados en pantallas táctiles, esto fue especialmente evidente cuando Windows 8 fue lanzado al mercado en 2012 con una interfaz rediseñada, enfocada en tablets, cuestión que no fue bien recibida por todos los usuarios, pero que marcaría un cambio en el enfoque del diseño de la interfaz de usuario de versiones de Windows futuras y, a pesar de que este factor de forma nunca ha sido especialmente popular en dispositivos con Windows, lo cierto es que las pantallas táctiles se han vuelto un dispositivo de entrada muy común y útil en PCs.

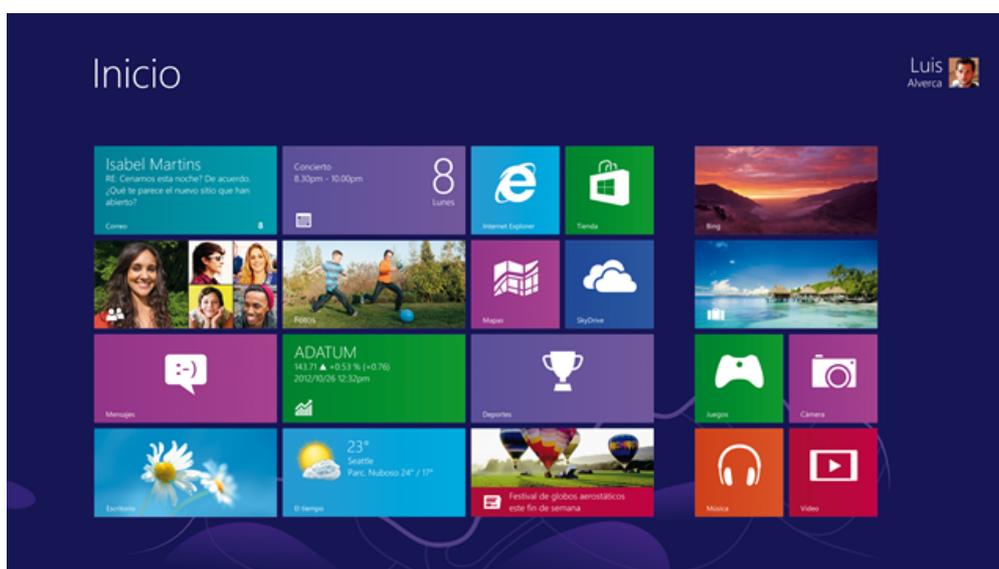


Figura 3-17. Windows 8 representó un gran cambio de interfaz de usuario. [53]

Sería hasta el 2010 cuando el panorama de los dispositivos móviles cambiaría de manera radical con la revelación de Apple de su propia tablet, después de años de rumores de que la compañía se atrevería a incursionar en este tipo de dispositivos, casi 20 años después del fallido Apple Newton.

La prensa se refería al dispositivo como un “iPhone grande” [54], y no sin razón, pues Apple había utilizado lo aprendido con el iPhone para desarrollar un dispositivo con una arquitectura interna similar centrada en ARM y en su sistema operativo móvil iOS, ajustada y refinada para funcionar de mejor manera con la naturaleza de una pantalla de 9.7 pulgadas y el resto de sus características: Wifi, Bluetooth 2.1, acelerómetro, compás, bocina, micrófono y una batería de hasta 10 horas de duración. [54]

El conjunto de características de este nuevo dispositivo, si bien no eran nada especialmente innovador dada la cantidad de intentos pasados de diferentes fabricantes a lo largo de los años, sí representó un cambio en el potencial de aplicaciones que podía proveer para uso masivo.

Desde su lanzamiento, el iPad fue un producto muy exitoso, llegando a vender 7.46 millones de unidades en 2010, su primer año, subiendo rápidamente a 32.39 millones de unidades en 2011 y alcanzando un pico de 67.99 millones de unidades. Hoy en día ya se han vendido más de 425 millones de unidades alrededor del mundo. [55]



Figura 3-18. El primer iPad despertó el interés masivo por las tablets. [54]

Apple actualmente es sin duda el fabricante de tablets más popular del mercado, con una cuota de mercado del 55.16%, y su competidor más cercano siendo Samsung con un 26.54%, mientras que el restante 18.3% está repartido entre fabricantes como Huawei, Asus y Xiaomi.

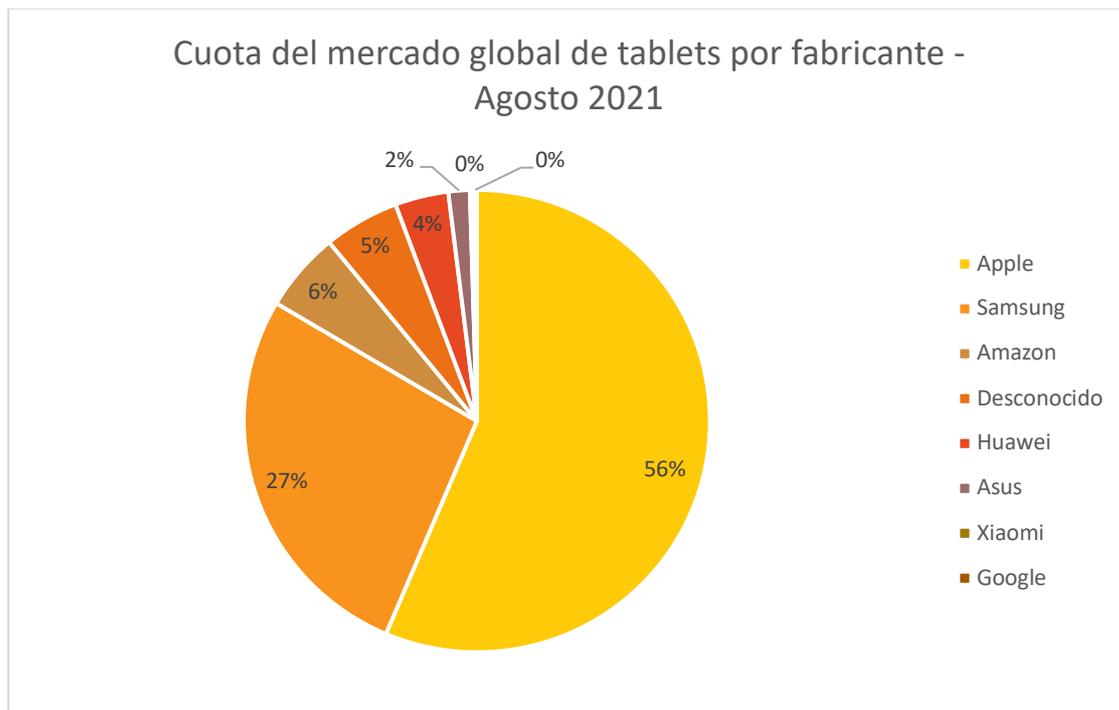


Figura 3-19. Apple se ha posicionado como el fabricante mayoritario de tablets en el mercado. [56]

La Historia de las tablets es larga, con muchas altas y bajas, existiendo durante mucho tiempo como un factor de forma en principio atractivo, pero sin la capacidad de atraer un mercado de usuarios lo suficientemente grande como para justificar su existencia como alternativa real a una computadora de escritorio o portátil tradicional. Pero si algo han demostrado los últimos años del mercado de dispositivos móviles es que lo único que faltaba era que la tecnología avanzara lo suficiente como para ser capaz de proveer una experiencia enfocada en la portabilidad, tamaño y larga duración de batería.

3.2.2 Sistemas operativos móviles

Un sistema operativo es un programa que se encarga de administrar los recursos de una computadora a fin de que esta pueda funcionar de una manera eficiente, administrándola de tal manera que otros programas pueden hacer uso de estos recursos para completar sus tareas. [57]

Esto resulta fundamental debido a la complejidad de las computadoras modernas, cada una contando con una variedad enorme de recursos a su disposición y teniendo la responsabilidad de ejecutar una gran cantidad de programas en un periodo de tiempo muy corto e incluso al mismo tiempo.

Con el progreso de los sistemas operativos en el mundo de la computación enfocado en su mayoría a computadoras de escritorio, sin la movilidad como objetivo fundamental de su diseño dado a, entre otras cosas, las limitaciones tecnológicas existentes en la computación en espacios físicos pequeños mantuvieron muy restringido el progreso de la computación portátil durante décadas. Sin embargo, tal y como la Ley de Moore predijo, con el paso del tiempo el número de transistores que es posible tener en el mismo espacio se duplica en periodos de tiempo muy cortos, lo que permitió que eventualmente salieran al mercado los primeros dispositivos portátiles que buscaban desprenderse de la computación del escritorio.

La primera computadora portátil salió al mercado en 1981, siendo muy diferente al estándar moderno de laptops. Se trataba de la Epson HX-20, una computadora de origen japonés que desde su lanzamiento fue reconocida como una nueva revolución en el mundo de la computación. Pesaba 1.8 kg, teniendo una forma muy cercana a un teclado tradicional al que se le agregó una pequeña pantalla por encima de la última columna de teclas, teniendo esta pantalla una resolución de tan sólo 120x32 pixeles, capaz de mostrar 4 líneas de 20 caracteres cada una. [58]



Figura 3-20. La Epson HX-20 en su maletín de transporte. [58]

Afortunadamente los avances tecnológicos de las últimas 4 décadas han permitido que las computadoras portátiles se convirtieran en dispositivos tan cercanos a sus contrapartes de escritorio en cuestiones de rendimiento, que permiten realizar exactamente las mismas tareas, si acaso un poco más lento, gracias a que los sistemas operativos utilizados son los mismos, lo que facilita la ejecución del mismo programa en una amplia gama de dispositivos distintos.

Debido a lo anterior, algunos dispositivos como las tablets sufrieron durante sus primeras iteraciones en el mercado debido a que simplemente tomaban un sistema operativo de escritorio ya establecido, al que se le hacían modificaciones para que pudiera operar con un dispositivo de entrada muy diferente, en este caso una pantalla táctil. Microsoft fue una de las principales compañías de software que llevó a cabo esta estrategia durante muchos años, lo que evitó que la experiencia proveída por las interfaces de usuarios de estos sistemas operativos fuera lo suficientemente intuitiva como para justificar la existencia de un factor de forma completamente distinto.

Los teléfonos celulares, por su parte, tuvieron sistemas operativos enfocados específicamente a las necesidades de este segmento de dispositivos debido a que la funcionalidad de estos era limitada, enfocada en la realización de llamadas telefónicas de manera eficiente para reducir el uso de batería y, posteriormente, en el envío y recepción de mensajes de texto SMS.

La aparición de los teléfonos inteligentes trajo consigo un cambio radical en las necesidades de los sistemas operativos requeridos debido a la gran cantidad de funciones nuevas que tenían que ser capaces de realizar dado el gran avance y cambio en las necesidades de comunicación que trajo consigo el internet.

Hubo muchas iteraciones de sistemas operativos móviles de diferentes fabricantes a lo largo de los años, algunos más funcionales que otros, pero todos luchando por innovar con las restricciones propias de un hardware de esta naturaleza.

Sería hasta el lanzamiento del iPhone en 2007 que los sistemas operativos móviles encontrarían una nueva dirección de diseño para teléfonos móviles, ahora enfocada completamente en pantallas táctiles que, si bien se trataban de tecnología que ya existía, no sería sino hasta que esta se usó junto al sistema operativo móvil de Apple, iOS, que se harían evidentes las ventajas de un tipo de dispositivo de entrada tan versátil.

Después de esto, las compañías de teléfonos inteligentes cambiaron su enfoque con el fin de ser capaces de competir. Hoy en día, sin embargo, los dos sistemas operativos móviles que se han consolidado como los más importantes dado su amplio índice de utilización tanto en teléfonos inteligentes como tablets son Android y iOS.

3.2.2.1 Android

Android, como sistema operativo, existe desde mucho antes del lanzamiento del primer teléfono inteligente que lo implementaba en septiembre de 2008, el HTC Dream. [59] Android nació en 2003 como un proyecto de una empresa del mismo nombre, Android Inc., enfocado en ser un sistema operativo orientado a cámaras digitales, eventualmente cambiando de enfoque a los teléfonos inteligentes, mercado en pleno crecimiento, en 2004. Fue gracias a esto que Google decidió adquirir la compañía en 2005 [43], con el objetivo de entrar de lleno al mercado de los teléfonos inteligentes, como parte integral de su gama de productos.



Figura 3-21. El robot de Android, la icónica mascota y logo del sistema operativo. [60]

Desde este momento, el desarrollo de Android se trasladó al campus central de Google, en el Edificio 44 [61], como un proyecto secreto que buscaba, desde el principio, revolucionar la industria de los teléfonos inteligentes.

Hasta ese momento, el mercado de los teléfonos estaba dominado por un oligopolio conformado por las compañías fabricantes de los dispositivos y de las compañías de telecomunicaciones, dueñas de la infraestructura que le permitía a los teléfonos transmitir datos de manera inalámbrica para funcionar. Esto les daba un gran poder, desincentivando cualquier intento por estandarización, pues ambos tipos de compañías deseaban que sus dispositivos fueran ecosistemas independientes desde los cuales sólo ellos pudieran tener control de los servicios que se podían utilizar, con el objetivo de generar la mayor cantidad de dinero posible.

Esta falta de estandarización significaba que desarrollar aplicaciones para teléfonos, si es que era posible, era extremadamente complicado y costoso, pues prácticamente se tenía que desarrollar la misma aplicación desde cero para cada dispositivo a fin de que esta

funcionara de manera correcta, esto sin mencionar el soporte futuro que se le tendría que dar a cada una.

Android buscaba resolver este problema de una vez por todas, buscando que una aplicación pudiera funcionar en cualquier dispositivo que utilizara el mismo sistema operativo, no sólo en la versión más reciente, sino también en versiones futuras, enarbolando para esto, desde el principio, la idea de una tienda de aplicaciones que fuera lo suficientemente atractiva para los desarrolladores de software como para adoptarla como plataforma principal.

El interés de Google por este mercado nace a pesar de que a principios de la década de los 2000 la tecnología móvil no era lo suficientemente avanzada como para ser rápida y eficiente en tareas demandantes, ni tampoco lo era la tecnología de telecomunicaciones, pues la transmisión de datos no era lo suficientemente rápida como para permitir el funcionamiento óptimo centrado en la utilización de servicios de internet. Sin embargo, Google sabía que la tecnología avanzaba rápidamente y que la compañía que revolucionara primero el mercado tendría la oportunidad de dominar completamente, de manera similar a como Microsoft lo había logrado en el mercado de PCs. De hecho, esta posición preponderante del sistema operativo Windows en PCs preocupaba a Google, pues si alguien tenía los recursos como para un proyecto tan ambicioso era Microsoft. [61]

Con la presión de la competencia encima de ellos, el equipo de desarrollo trabajó de manera ardua durante dos años, hasta que la presentación del iPhone en enero de 2007 lo cambió todo. Las innovaciones mostradas por este nuevo dispositivo eran tal que fue evidente para todo el equipo que tendrían que retrabajar todo si es que querían mantenerse cerca del nuevo marco de referencia.

A pesar de la enorme secrecía de todos los detalles del proyecto, con el lanzamiento del iPhone en 2007, los rumores sobre la entrada de Google al mercado de teléfonos inteligentes con su propio dispositivo no se hicieron esperar, después de todo, se trataba de una de las compañías de tecnología más importantes gracias a la popularidad de sus servicios web. A pesar de esto, la estrategia de Google sería muy diferente, pues en lugar de competir directamente con Apple, centraría sus esfuerzos en coordinar una alianza de distintos fabricantes de teléfonos y chips, así como de compañías de telecomunicaciones; esta alianza, conocida como la Open Handset Alliance, incluía a HTC, Motorola, Qualcomm, Texas Instruments, T-Mobile, etc. [59]

Según palabras del propio CEO de Google en ese momento, Eric Schmidt, el objetivo principal de esta alianza era la construcción de una plataforma con el potencial de hacer funcionar a una innumerable cantidad de diferentes teléfonos inteligentes. [59]

Esto sin duda fue un plan muy ambicioso, con objetivos similares a los de Apple, con iOS sirviendo ahora de guía para la nueva generación de interfaces de usuario de teléfonos inteligentes, pero dejando de lado la idea del desarrollo de hardware propio como única plataforma capaz de utilizar Android.

Si bien la idea de la plataforma compartida permitiría la diversificación de opciones, esto tendría implicaciones importantes en todo el diseño del sistema operativo, pues tendría que ser compatible con una gran cantidad de posibles dispositivos, lo que inevitablemente terminaría por aumentar la complejidad del sistema y evitaría que se alcanzaran niveles de optimización tan notables como los realizados por Apple para cada uno de sus dispositivos.

Dado lo anterior, Android se consolidó como un sistema operativo de código abierto que utiliza Linux como base, un kernel de código abierto que sirve como la interfaz principal entre el hardware de un dispositivo y sus procesos, buscando que estos se puedan ejecutar de la manera más eficiente posible, administrando para esto memoria, procesos, drivers, llamadas del sistema y seguridad. [62]

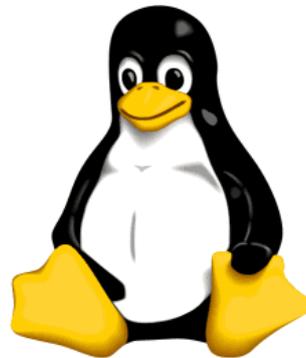


Figura 3-22. Tux, la mascota de Linux kernel, el corazón de múltiples sistemas operativos de código abierto, incluido Android. [63]

Desde el lanzamiento de su primera versión como una beta para desarrolladores a finales de 2007, Android ha sufrido muchos cambios a lo largo de los años, tanto estéticos como internos, cada versión en búsqueda de mejorar la experiencia de uso del sistema operativo, así como de añadir funcionalidad.

Número de versión	Nombre	Fecha de lanzamiento
1.0		5/11/2007
1.5	Cupcake	27/04/2009
1.6	Donut	15/09/2009
2.0-2.1	Eclair	26/10/2009
2.2-2.2.3	Froyo	20/05/2010
2.3-2.3.7	Gingerbread	06/12/2010
3.0-3.2.6	Honeycomb	22/02/2011
4.0-4.0.4	Ice Cream Sandwich	18/10/2011
4.1-4.3.1	Jelly Bean	09/07/2012
4.4-4.4.4	KitKat	31/10/2013
5.0-5.1.1	Lollipop	12/11/2014

6.0-6.0.1	Marshmallow	05/10/2015
7.0-7.1.2	Nougat	22/08/2016
8.0-8.1	Oreo	21/08/2017
9.0	Pie	06/08/2018
10.0	Android 10	03/09/2019
11.0	Android 11	08/09/2020
12.0	Android 12	04/10/2021

Figura 3-23. Lista de las versiones de Android. [64]

Actualmente, Android se encuentra en su versión 12, consolidado como el sistema operativo para dispositivos móviles más utilizado del mundo, pues gracias a su increíble nivel de versatilidad y grandes avances tecnológicos, se utiliza en una amplia variedad de dispositivos diferentes, tales como automóviles, televisiones y relojes inteligentes.

3.2.2.2 iOS

La Historia de iOS está íntimamente ligada a la del iPhone, pues fue desarrollado exclusivamente para hacer funcionar el nuevo teléfono inteligente de Apple, con un objetivo muy distinto al que eventualmente presentaría Google con su propio sistema operativo, Android.

La presentación en enero de 2007 del primer iPhone por parte de Steve Jobs, CEO de Apple, es todavía recordada hoy en día cómo una de las más icónicas en la Historia de la tecnología debido a lo revolucionario que fue y sigue siendo aún hoy en día, en retrospectiva, el dispositivo presentado. [65]



Figura 3-24. Apple se convirtió rápidamente en una de las empresas de tecnología más importantes del mundo gracias al enorme impacto de sus productos. [66]

iOS se desarrolló como el centro de la nueva plataforma de Apple, heredando y sirviendo como transición natural al enorme ecosistema de reproductores de música que la compañía había logrado construir desde principios de la década de los 2000 con el lanzamiento del primer iPod el 23 de octubre de 2001.

El mercado de los teléfonos inteligentes se encontraba en crecimiento, esperando a que un dispositivo lo suficientemente diferente fuera capaz de captar la atención de los millones de usuarios de teléfonos móviles que ya existían, pero que por alguna u otra razón no había realizado la transición a alguno de los modelos de teléfonos inteligentes ya existentes.

En 2007 la compañía más importante de teléfonos inteligentes sin duda era RIM, que gracias a su serie BlackBerry, se había posicionado como la imagen de toda la gama, siguiendo una estrategia similar a la adoptada por los teléfonos móviles tradicionales cuando aparecieron por primera vez en la década de 1980, enfocando toda su funcionalidad en satisfacer las necesidades de clientes empresariales. A pesar de la imagen de prestigio que esta estrategia le había permitido construir a la marca, se trataba de dispositivos muy costosos que, si bien proveían de enormes prestaciones gracias a su capacidad de ejecutar aplicaciones de terceros, así como proporcionar un teclado completo y acceso a internet, lo cierto es que la experiencia no era lo suficientemente refinada como para captivar de forma masiva al público.

Dado el estado del mercado de teléfonos inteligentes al momento de su lanzamiento, iOS debía de ser capaz de ofrecer algo complementemente diferente, que solucionara el aspecto esencial de la experiencia de usuario para volverse atractivo para todo público.

El desarrollo de iOS tomó como base el sistema operativo de computadoras de escritorio de Apple, MacOS, aspecto que Steve Jobs no dudó en recalcar durante su revelación del iPhone [65], aunque desde el principio fue evidente la escala del rediseño que tuvo que hacerse para ajustarse a las limitaciones del nuevo factor de forma.

iOS, más que buscar ser un sistema que tuviera toda la funcionalidad de dispositivos ya existentes, se centró en que, al hacer funcionar la pantalla multi táctil proveída por el hardware del iPhone mediante el uso de gestos con múltiples dedos, eliminaba la complejidad generada por un sistema que dependiera de un teclado físico para funcionar.

Además, al no contar con una tienda de aplicaciones desde el principio, gran parte de la funcionalidad proveída por el sistema operativo se centraba en la utilización de internet como la ventana principal a funcionalidad adicional, y aunque en la época el diseño de páginas web era muy limitado, ocasionando que en prácticamente todos los teléfonos los sitios se mostraran de manera incorrecta, iOS contaba con una versión de Safari capaz de presentar la web sin problemas, aprovechando la funcionalidad de gestos en pantalla para permitir a los usuarios moverse por páginas web diseñadas originalmente para computadoras de escritorio.

Finalmente, en julio de 2008, la versión 2 de iOS incorporó una tienda de aplicaciones [65], producto de lo aprendido por Apple con iTunes y su tienda de canciones para iPod, lo que representó un cambio radical en la manera en la que los usuarios podían acceder a funcionalidad adicional, así como para los desarrolladores de aplicaciones, que ahora tenían un solo destino para la publicación de su trabajo y un nuevo modelo de negocios que dejaba de lado las aplicaciones con precios exorbitantes, privilegiando los precios bajos a cambio de un mercado potencial mucho más grande.

La naturaleza cerrada de iOS y iPhone, a pesar de ser restrictiva para los usuarios debido a lo limitadas que son las modificaciones posibles del sistema, ha permitido que el desarrollo de iOS a lo largo de los años se centre en la optimización de toda su funcionalidad para toda la gama de dispositivos de Apple que lo utilizan.

Uno de los cambios más importantes que tuvo el sistema operativo estuvo directamente relacionado al lanzamiento del primer iPad el 3 de abril de 2010. Esto debido a

que Apple decidió utilizar el mismo sistema operativo para mantener una experiencia unificada en ambos tipos de dispositivo, aprovechando el vibrante mercado de aplicaciones que ya existía en iPhone. Pero para esto, numerosos cambios se llevaron a cabo para que la experiencia se sintiera lo más natural posible en una pantalla mucho más grande. La solución más sencilla hubiera sido simplemente escalar el tamaño de la interfaz ya existente, pero afortunadamente se prefirió un rediseño que sí aumentaba el tamaño de elementos como los íconos, pero también reorganizaba elementos y añadía herramientas que hacían más rápida la interacción con una pantalla más grande.

iOS es un sistema operativo en permanente evolución, con actualizaciones constantes para resolver errores, mejorar rendimiento y añadir funcionalidad. La versión más reciente del sistema operativo es la 15, lanzada a finales de 2021.

Hoy en día iOS es uno de los sistemas operativos para teléfonos inteligentes y tablets más populares del mundo, con una amplia gama de usuarios y una reputación muy positiva, caracterizada por lo refinado de su interfaz, su facilidad de uso y una extensa biblioteca de aplicaciones.

3.2.3 Unity

Unity es uno de los motores gráficos más populares en la actualidad, gracias a su enorme versatilidad que permite desarrollar proyectos para múltiples dispositivos distintos, así como su enorme colección de herramientas de creación, una interfaz intuitiva, y su costo gratuito para proyectos sin fines de lucro.



Figura 3-25. Unity es uno de los motores gráficos más populares de la actualidad, con un enorme impacto en todas las industrias que realizan gráficos en 2D y 3D.

Los motores gráficos son esenciales para toda industria que requiera generar gráficos en 3D y/o 2D, pues se tratan del *framework* que les provee del conjunto de herramientas necesario para combinar código escrito en un lenguaje de programación, modelos tridimensionales, creación de assets, animación, creación de escenarios, etc. Se trata de plataformas que han existido junto al desarrollo de videojuegos para permitir a una computadora dibujar gráficos en una pantalla, sin embargo, originalmente cada estudio tenía que elaborar su propio motor gráfico desde cero, a veces incluso para cada proyecto, debido a las necesidades y características diferentes de cada plataforma y proyecto existente. Esto era un proceso muy largo y complicado que limitaba la producción de videojuegos debido a la gran cantidad de conocimientos técnicos que eran necesarios para elaborar un motor gráfico lo suficientemente completo como para funcionar adecuadamente.

Es necesario mencionar que, si bien el proceso de desarrollo de un motor gráfico involucra un gran esfuerzo de un equipo de personas especializado, esta clase de plataformas

permite un nivel de optimización muy elevado debido a que se puede elaborar a la medida de las necesidades de la compañía que lo elabora y los proyectos sobre los que se utilizará, dejando de lado cualquier clase de funcionalidad innecesaria y desperdicio de recursos.

Con el aumento exponencial de las capacidades de computación modernas, los proyectos 3D y 2D requieren de una cantidad de trabajo y recursos exponencialmente mayor debido a la enorme cantidad de código que se requiere escribir para manejar la lógica de cada proyecto, así como la enorme cantidad de trabajo de diseño, modelado y de animación necesario para producir un producto con un estándar de calidad adecuado.

Unity desde su lanzamiento original en 2005, ha permitido la democratización del proceso de creación de aplicaciones 3D y 2D, otorgando a los desarrolladores una herramienta de fácil acceso para todo público, sin las restricciones tradicionales de motores gráficos pertenecientes a estudios de videojuegos. Esta apertura, combinado con su plan de licenciamiento que empieza de manera gratuita para organizaciones que generen menos de 100,000 dólares al año, le permitieron rápidamente posicionarse como el motor gráfico más utilizado en plataformas móviles después del lanzamiento del iPhone en 2007. [67]

Con el tiempo, el alcance del motor gráfico no hizo más que aumentar y, actualmente, Unity funciona en 30 plataformas: Windows, iOS, Android, Nintendo Switch, PlayStation 4, Oculus Rift, etc. Para 2018, más de la mitad de los videojuegos eran desarrollados con Unity, en todo tipo de plataformas distintas. [68]

Hoy en día, producto de la increíble compatibilidad y su estrategia amistosa con todo tipo de equipos de desarrolladores, han posicionado a Unity como una herramienta con un amplio alcance en todo tipo de industrias, tales como: televisión, cine, diseño automotriz, inteligencia artificial, arquitectura, ingeniería, entre otras. [67]

Además, gracias a la enorme popularidad de Unity, existe una enorme red de desarrolladores dedicados a expandir la funcionalidad del motor gráfico base, expandiendo aún más su potencial para aplicaciones de todo tipo.

3.2.4 Realidad Aumentada (RA)

La realidad aumentada (RA) es una experiencia que busca presentar elementos virtuales, renderizados por computadora, en el entorno real mediante el uso de dispositivos como teléfonos inteligentes, tablets y lentes. Se trata de un concepto que habitualmente se relaciona con la realidad virtual (RV) debido a la naturaleza relacionada a los gráficos generados por computadora, pero que tiene un objetivo distinto, pues no busca presentar un mundo completamente virtual e inmersivo, sino complementar a los elementos físicos del entorno en el que se presenta.

La realidad aumentada tuvo su aparición en los 90s, de la mano de Louis Rosenberg y su trabajo de tesis doctoral que realizó trabajando en un proyecto para la Fuerza Aérea de EE. UU. que buscaba mejorar la tecnología disponible para la realización de cirugías a distancia. Para este proyecto, Rosenberg tuvo la idea de utilizar ayudas digitales, mediante marcadores virtuales, que permitieran indicar de una manera más precisa los puntos adecuados de un paciente con mayor precisión, apoyándose también de retroalimentación en forma de vibración. La idea fue un éxito, demostrando que el rendimiento de las operaciones aumentaba en un 70%, pues los marcadores mejoraban la inmersión de la experiencia.

Desafortunadamente, el proyecto requería de mucho equipo para funcionar adecuadamente, por lo que la escalabilidad con tecnología de la época era limitada. [69]

La tecnología, sin embargo, no dejó de progresar y, con el tiempo, millones de dispositivos con capacidades de procesamiento computacional móvil impensables apenas algunos años atrás, terminaron por popularizarse en gran parte de la población mundial: los teléfonos inteligentes.

Gran parte de la funcionalidad proporcionada por los teléfonos inteligentes se centra en la experiencia del usuario con respecto al dispositivo, específicamente sobre cómo puede este manipular el contenido que se le presenta en pantalla de la manera más natural posible con respecto al contexto de los dispositivos de entrada disponibles. Para lograr que esta clase de experiencia funcione, los dispositivos móviles hacen uso de una gran cantidad de sensores que permiten que el software pueda entender, al menos de manera limitada, el ambiente en el que se encuentra. Desde sensores de luminosidad para regular el brillo de pantalla, hasta brújula, barómetro y giroscopio; los dispositivos móviles modernos aprovechan toda la información a la que tienen acceso.

Los videojuegos fueron los primeros en utilizar el equipo proporcionado por los teléfonos inteligentes para experimentar con funciones para las múltiples cámaras generalmente proporcionadas por estos. Una de estas aplicaciones fue la implementación de realidad aumentada para proyectar contenido sobre el entorno, utilizándose la cámara como visor y aprovechándose también de los sensores de movimiento.

Hoy en día la realidad aumentada es más popular que nunca, gracias a la salida de nuevas plataformas de desarrollo que facilitan la implementación de esta funcionalidad en todo tipo de aplicaciones que abarcan campos como:

- ❖ Navegación y mapas: Aplicaciones capaces de mostrar información de lugares sobre la fachada de estos, así como automóviles que muestran datos de navegación directamente sobre el parabrisas. [70]
- ❖ Educación: Aplicaciones que son capaces de mejorar la enseñanza poniendo al alcance de los alumnos modelos tridimensionales e información adicional sobre los contenidos que se encuentran estudiando mediante la utilización de marcadores como códigos QR. [70]
- ❖ Industria: Aplicaciones lo suficientemente avanzadas como para entender el contexto y presentar información relevante a la actividad que se encuentran realizando los trabajadores de una fábrica. [70]
- ❖ Entretenimiento: Videojuegos, principalmente, gracias al éxito de aplicaciones como Pokémon Go.
- ❖ Redes sociales: Aplicaciones como Instagram y Snapchat utilizan RA para proporcionar filtros de fotos que son capaces de visualizarse en tiempo real, proyectados sobre la imagen del usuario.
- ❖ Ventas: Aplicaciones que permiten al usuario visualizar productos desde cualquier lugar, mejorando la experiencia de compra en línea y reduciendo la necesidad de visitas físicas a una tienda.

El futuro de la RA es muy prometedor, con proyectos como los de Microsoft Hololens, que buscan hacer aún más inmersiva la experiencia de la RA con un concepto al que han bautizado

como Mixed Reality (Realidad Mixta), que busca hacer total la inmersión de los modelos tridimensionales que se presentan, convirtiendo el visor en unos lentes, eliminando por fin la barrera impuesta por la pantalla de un teléfono celular que se debe sujetar en todo momento.

3.2.4.1 ARCore: Android

ARCore es la plataforma de Google desarrollada para mejorar y facilitar las implementaciones de realidad aumentada en teléfonos inteligentes con sistema operativo Android. Para esto, provee de SDKs con APIs nativas para distintos entornos de desarrollo, tales como: Android, Android NDK, Unity (AR Foundation), iOS y Unreal. [71]



Figura 3-26. Logo de ARCore [72], la plataforma de Google de RA para Android.

Desde el lanzamiento de la versión 1.0 en 2018, ARCore ha permitido la propagación de funcionalidad de realidad aumentada en todo tipo de aplicaciones, pues elimina la necesidad de conocimiento especializado en una interfaz de programación como OpenGL, tal y cómo lo era en implementaciones anteriores. Desde el principio, esta plataforma abrió capacidades de RA a más de 100 millones de dispositivos de fabricantes diferentes, gracias a una estrategia de difusión similar a la seguida por Google para el sistema operativo Android, centrada en la realización de convenios con fabricantes de hardware.

La característica principal de ARCore como plataforma de desarrollo es su capacidad de reconocer el entorno para la integración de elementos virtuales, gracias a:

3.2.4.1.1 Motion tracking (rastreo de movimiento)

ARCore utiliza los sensores del dispositivo para entender el movimiento del teléfono a través del entorno, realizando un proceso llamado *localización simultánea y mapeo* (SLAM: Simultaneous Localization and Mapping). Para esto, utiliza la cámara para detectar *feature points* (puntos significativos), esencialmente puntos de referencia alrededor de los cuáles se computan los cambios de posición, en una operación que también requiere del sensor de inercia del dispositivo (IMU: Inertial Measurement Unit) para determinar la *pose* (posición y orientación) a lo largo del tiempo. [73]

Esta característica es fundamental, pues permite que el contenido 3D pueda ser superpuesto sobre la imagen de la cámara de manera natural, haciéndolo parecer parte del mundo real.

3.2.4.1.2 Entendimiento del entorno.

ARCore entiende el entorno mediante la utilización de clústeres de *feature points* posicionados a lo largo de superficies horizontales y verticales, lo que dificulta la detección de superficies completamente blancas, pero que permiten aprovechar las superficies como planos geométricos en las aplicaciones para el posicionamiento de modelos tridimensionales. [73]

3.2.4.1.3 Entendimiento de profundidad

ARCore es capaz de generar mapas de profundidad, que son imágenes de distancia entre superficies desde un punto cualquiera [73], lo que añade flexibilidad a las experiencias que se pueden crear, pues permite colisiones de modelos con superficies, así como la renderización de modelos detrás de objetos.

3.2.4.1.4 Estimación de luz

ARCore proporciona de información de luz del entorno desde la imagen percibida con la cámara del dispositivo [73], lo que permite la iluminación realista de los modelos tridimensionales con respecto a su posición en el entorno.

3.2.4.1.5 Interacción de usuario

ARCore es capaz de utilizar una coordenada (x, y) de la pantalla del dispositivo para proyectarla sobre el entorno generado y determinar su colisión sobre un plano u objeto [73], permitiendo la selección de objetos del entorno.

3.2.4.1.6 Puntos de orientación

ARCore aprovecha los clústeres de *feature points* para determinar el ángulo de una superficie en cualquier punto, permitiendo el posicionamiento preciso de objetos. [73]

3.2.4.1.7 Anclas y objetos rastreables

Las anclas deben ser definidas cada vez que un objeto es posicionado en el entorno para asegurar el seguimiento preciso de este. [73]

Además, los planos y puntos son objetos rastreables, lo que significa que sin importar el movimiento del dispositivo alrededor del espacio, la relación con respecto a ellos se mantendrá estable [73], lo que permite que los objetos se mantengan en las posiciones originalmente determinadas.

3.2.4.1.8 Imágenes aumentadas

ARCore permite la creación de experiencias personalizadas a imágenes, tales como el empaquetado de productos, anuncios espectaculares y anuncios de películas. [73]

3.2.4.1.9 Compartir experiencias

ARCore es capaz de utilizar internet para compartir anclas en tiempo real con otros usuarios [73], permitiendo la visualización de los mismos modelos en el mismo entorno y su interacción compartida en experiencias colaborativas.

Gracias a este conjunto de características, así como su ya amplia compatibilidad con una enorme cantidad de dispositivos diferentes, ARCore es una de las mejores y más versátiles

plataformas en el mercado para el desarrollo de experiencias de realidad aumentada significativas que puedan alcanzar la mayor cantidad de usuarios posibles.

3.2.4.2 ARKit: iOS

ARKit es la plataforma de realidad aumentada de Apple diseñada especialmente para sus dispositivos móviles, iPhone y iPad, lo que significa que está especialmente optimizada para la configuración de hardware correspondiente a estos, ofreciendo una experiencia muy refinada de RA en cualquier versión de iOS superior a la 11.

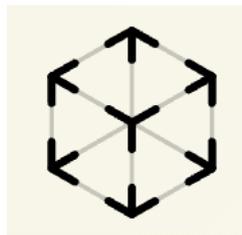


Figura 3-27. Logo de la plataforma de RA de Apple [74], la más importante para iOS.

ARKit es un sistema de odometría de inercia visual (VIO: Visual Inertial Odometry) que utiliza un sistema de reconocimiento de planos bidimensionales y realiza un seguimiento preciso del espacio, recalculado entre cada imagen desplegada en pantalla, para el despliegado de objetos tridimensionales. [75]

El sistema de inercia de la plataforma se basa en la información recabada del acelerómetro y giroscopio del dispositivo, conocidos en su conjunto como el *IMU: Inertial Measurement Unit* (unidad de medidas de inercia). La distancia recorrida por el dispositivo se mide en 3 dimensiones para las coordenadas (x, y, z) y la rotación en *pitch*, *yaw* y *roll*.

Desde su lanzamiento, ARKit se posicionó como la mejor alternativa a plataformas ya existentes en el mercado gracias a su integración con millones de dispositivos ya existentes en el mercado, así como su alta tasa de refresco de posición de más de 1000 veces por segundo, posible gracias al IMU.

Las medidas ópticas son manejadas gracias a la información proveniente de las cámaras del dispositivo, lo que limita la velocidad de refresco de esta a la velocidad máxima de grabación posible, usualmente 30 cuadros por segundo, pero esto se compensa gracias al trabajo que realizan los sensores del IMU. [75]

Lo anterior es sumamente útil para situaciones de detección de planos difíciles, tales como superficies completamente blancas, con pocos puntos característicos que puedan ser identificados por el sistema óptico.

La utilización del IMU también significa la capacidad de ARKit de funcionar incluso en dispositivos con una sola cámara, pues si bien la utilización de dos sensores ópticos al mismo tiempo permite realizar un cálculo de posición y distancia estereoscópico, de manera similar al funcionamiento de los ojos, con una sola cámara es necesario de hacer uso extensivo del IMU

para capturar una imagen y calcular el cambio de posición ocurrido hasta la siguiente captura. [75]

Dispositivos aún más avanzados de Apple como el iPad Pro, incorporan un sensor LiDAR para la detección de profundidad, haciéndola mucho más precisa y rápida, incluso en situaciones difíciles, con poca iluminación.

Para mejorar aún más la experiencia de desarrollo de aplicaciones con implementaciones de RA en su ecosistema, Apple ha lanzado toda una serie de herramientas que utilizan el SDK de ARKit:

3.2.4.2.1 Reality Composer

Herramienta desarrollada para facilitar la utilización de cualquier modelo 3D ya existente con cualquiera de las herramientas de desarrollo de Apple en implementaciones de RA tanto para iPhone como iPad. [76]

3.2.4.2.2 Reality Converter

Aplicación para la conversión de modelos 3D en formatos populares como .obj, .glTF y .USD en objetos USDZ 3D (Universal Scene Description), que es el framework de información de gráficos 3D creado por Pixar, optimizado por Apple para sus aplicaciones con el fin de conservar las capacidades gráficas y de animación de los objetos.

Apple ha utilizado su posición como el fabricante y diseñador de todos los dispositivos que utilizan iOS para desarrollar una plataforma de realidad aumentada muy rápida y precisa, con un alcance de millones de usuarios alrededor del mundo.

3.2.4.3 AR Foundation

Unity, como motor gráfico diseñado para funcionar en la mayor cantidad de dispositivos y plataformas distintas, busca reducir la cantidad de desarrollo específico necesario para una plataforma, pues esto, a pesar de que puede permitir la generación de experiencias más optimizadas, aumenta la cantidad de tiempo y esfuerzo de desarrollo de cualquier aplicación que deba de funcionar en más de una plataforma, así como en cualquier mantenimiento futuro de la aplicación.

Las primeras aplicaciones con funcionalidad basada en RA para dispositivos con sistema operativo Android y iOS, dependían de SDKs muy limitados a comparación de los que eventualmente ofrecerían Google y Apple con ARCore y ARKit, respectivamente, y que permitirían que la RA se volviera una tecnología que puede ser utilizada de manera efectiva para mejorar funcionalidad ya existente de una aplicación, pero con implementaciones específicas de acuerdo con la plataforma objetivo del proyecto en cuestión.

Para resolver este problema, Unity desarrolló AR Foundation, un framework diseñado para el desarrollo de aplicaciones con funcionalidad de realidad aumentada que sean capaces de funcionar en múltiples plataformas sin la necesidad de la existencia de proyectos individuales para cada plataforma objetivo, unificando el flujo de trabajo.

AR Foundation incorpora la funcionalidad principal de ARKit, ARCore, Magic Leap y HoloLens, así como características exclusivas de Unity que buscan proveer a los desarrolladores

de una plataforma lo suficientemente robusta como para que el flujo de trabajo funcione de la manera más natural posible. [77]

AR Foundation no implementa ninguna de las características proveídas por los SDKs abarcados, sino que define una API multiplataforma que permite utilizar funcionalidad común en las múltiples plataformas disponibles [78], con un enfoque en dispositivos con soporte para los siguientes conceptos:

- ❖ Seguimiento de dispositivo.
- ❖ Detección de planos horizontales y verticales.
- ❖ Nubes de puntos, también conocidos como *feature points*.
- ❖ Anclas de orientación y de posición.
- ❖ Estimación de luz.
- ❖ Sondeo del entorno, que genera un mapa para representar un área física del entorno.
- ❖ Seguimiento de rostros.
- ❖ Seguimiento de imágenes 2D.
- ❖ Seguimiento de objetos 3D.
- ❖ *Meshing*, para generar *meshes* de triángulos que corresponden al espacio físico.
- ❖ Seguimiento de representaciones de cuerpos 2D y 3D reconocidos en el espacio físico.
- ❖ Experiencias colaborativas que permiten compartir información de posición y orientación a otros dispositivos.
- ❖ Segmentación humana, para la detección de mapas de profundidad sobre cuerpos humanos.
- ❖ Raycast para la detección de planos y *feature points* seleccionados.
- ❖ Optimización de video de cámara para su uso en tiempo real.
- ❖ Administración automática de activación y desactivación de funcionalidad RA.
- ❖ Oclusión de contenido virtual por el entorno.

[78]

Debido a que actualmente la funcionalidad que AR Foundation puede proporcionar de los diferentes SDKs que abarca no es total, está diseñado con futuras versiones del framework en mente, permitiendo que en cuanto una funcionalidad específica al fin sea habilitada, esta pueda ser integrada de manera fácil, simplemente actualizando los paquetes de la aplicación en lugar de tener que reconstruir la aplicación desde cero. [77]

Unity's AR Foundation Supported Features

Functionality	ARCore	ARKit	Magic Leap	HoloLens
Device tracking	✓	✓	✓	✓
Plane tracking	✓	✓	✓	
Point clouds	✓	✓		
Anchors	✓	✓	✓	✓
Light estimation	✓	✓		
Environment probes	✓	✓		
Face tracking	✓	✓		
Meshing			✓	✓
2D Image tracking	✓	✓		
Raycast	✓	✓	✓	
Pass-through video	✓	✓		
Session management	✓	✓	✓	✓

Figura 3-28. Tabla de funcionalidad disponible en AR Foundation 2.1 – Unity 2019 LTS [77]

AR Foundation es una herramienta muy importante para el desarrollo de aplicaciones de realidad aumentada multiplataforma, pues pone toda la plataforma del motor gráfico Unity a disposición de este tipo de tecnología y para múltiples dispositivos.

3.2.5 Geología

El término Geología proviene del griego “geo”, que significa tierra, y “logos”, que significa tratado o conocimiento [79]. Se trata de una ciencia histórica que analiza el relieve de la Tierra con un enfoque en el desarrollo espacial y temporal, a fin de determinar aquellos factores que llevaron a darle su forma actual.

La Geología, como campo de estudio, se centra en la tierra sólida, incluyendo para esto también a ciencias tales como la Mineralogía, la Geodesia, y la Estratigrafía. [80]

3.2.5.1 Mineralogía

Disciplina científica enfocada en el estudio de los minerales, incluyendo aspectos como sus propiedades físicas, composición química, estructura cristalina interna, así como ocurrencia y disposición en la naturaleza, y orígenes de su formación.

Al igual que otras disciplinas científicas, existen muchos objetivos para los estudios realizados con respecto a minerales, siendo algunos de los principales: descripción y clasificación de minerales; análisis de la estructura cristalina y distribución interna atómica; y síntesis en entornos industriales y de laboratorio de minerales. [81]

3.2.5.2 Geodesia

Disciplina científica enfocada en la determinación de la forma precisa de la Tierra. Durante siglos, este trabajo dependió exclusivamente de métodos de triangulación, pero desde la invención de los satélites, el conocimiento de la disciplina pudo refinarse gracias a la enorme cantidad de información nueva proveída por estos. [82]

3.2.5.3 Estratigrafía

Disciplina científica enfocada en la descripción de rocas en términos de su escala de tiempo, lo que la sitúa como una de las bases principales para la Geología Histórica, con aplicaciones muy importantes en campos como la Geología Petrolera y la Arqueología. [83]

3.2.5.4 Petrología

Estudio científico de rocas centrado en su composición, textura y estructura, así como su ocurrencia, distribución, y su origen en relación con las condiciones químicas y procesos geológicos. [84]

3.2.5.5 Petrografía

Estudio científico de rocas centrado en el análisis de secciones delgadas y transparentes de estos bajo un microscopio de luz polarizada [85].

3.2.5.6 Paleontología

Estudio científico de la vida en el pasado geológico de la Tierra, para lo cual analiza fósiles animales y vegetales, preservados en rocas. Esta especialmente interesado en los aspectos biológicos de formas de vida antiguas. [86]

3.2.5.7 Sedimentología

Estudio de depósitos sedimentarios terrestres y marinos, centrado en su evolución, fauna, flora, minerales y sus texturas. [80]

3.2.5.8 Geología estructural

Estudio de las estructuras geométricas de las rocas para su clasificación con el objetivo de explicar las relaciones entre ellas, así como su aparición y movimiento. [80]

La Geología es capaz de determinar la Historia Geológica de la Tierra utilizando como punto principal de estudios las rocas de la corteza terrestre, los restos petrificados y rastros de los organismos fósiles encontrados.

El estudio de la Geología se divide en dos partes:

3.2.5.9 Geología externa

Centrada en el estudio de los materiales que forman la corteza terrestre y los procesos de la capa atmosférica y de la biosfera que influyen sobre ella. [79]

La Geología externa se divide en:

3.2.5.9.1 Geología física

Estudia los materiales que componen a la Tierra, así como los procesos que la forman y alteran [87] alrededor del planeta, incluyendo la manera en la que han sido transportados y distorsionados en la naturaleza, cambiando el paisaje. [79]

3.2.5.9.2 Geología histórica

Estudia la evolución de la vida sobre el planeta Tierra, desde las primeras formas, hasta la flora y fauna actual, incluyendo el estudio de los cambios del planeta a través de millones de años, considerando los cambios en los mares, erosión de rocas y depósito de sedimentos, y la formación de cadenas montañosas. [79]

3.2.5.10 Geología interna

Centrada en el estudio de los procesos que ocurren debajo de la corteza terrestre y todas las causas de estos. [79]

3.2.5.11 Rocas

Las rocas están en todo nuestro alrededor, siendo el pilar de montañas y la base de planicies y valles. Se encuentran debajo del suelo sobre el que se camina y debajo de la superficie suave de los océanos. [88]



Figura 3-29. Arenisca, una roca sedimentaria clástica. Tiene un color rojizo debido al óxido de hierro. [89]

Las rocas están formadas de diferentes minerales, piezas de cristales, cascarones de animales muertos, o partes de plantas. [88] Es precisamente el análisis de la composición de una roca lo que permite determinar su Historia, enriqueciendo el conocimiento de la evolución del planeta en el transcurso del tiempo.

Las rocas se clasifican en 3 tipos, dependiendo de su fuente y tipo de formación:

3.2.5.11.1 Sedimentarias

Las rocas sedimentarias son rocas recicladas, formadas gracias a la deposición de fragmentos de materiales (sedimentos), producto de fenómenos como la erosión de otras rocas. Son especialmente comunes en lagos y mares debido a la erosión provocada por el agua, pero también es posible su aparición en ambientes desérticos. [89]

Los sedimentos se acumulan en capas conocidas como estrato, una sobre la otra, hasta que la presión hace que se compriman en rocas sólidas.

Algunos ejemplos interesantes de rocas sedimentarias incluyen a la roca caliza, que se forma de cascarones de animales marinos muertos; y carbón, originado de restos muertos de plantas acumulados a lo largo de millones de años. [89]

Tipos de rocas sedimentarias:

3.2.5.11.1.1 Roca sedimentaria clástica

Roca sedimentaria compuesta de fragmentos conocidos como clastos, provenientes de otras rocas gracias a procesos de desgaste, por lo que el tamaño de estos fragmentos puede variar en un rango desde microscópico a pedazos de roca enormes. [90]

3.2.5.11.1.2 Roca sedimentaria biológica

Roca sedimentaria formada de los restos de organismos que murieron y se acumularon en un solo lugar, eventualmente compactándose para formar rocas como carbón, roca caliza y coquina. [90]

3.2.5.11.1.3 Roca sedimentaria química

Roca sedimentaria formada de la disolución de minerales de rocas sobre las que corre el agua. Estos químicos eventualmente son depositados o precipitados lejos de su fuente, cuando el agua finalmente se evapora. [90]

3.2.5.11.2 Ígneas

Tipo de rocas generado del enfriamiento del magma proveniente del interior de la Tierra. El magma se conoce como lava cuando llega a la superficie, y lo hace debido a que se encuentra mucho más caliente y es mucho más liviana que las rocas que lo rodean, en un proceso conocido como extrusión. Una vez que el magma se encuentra en la superficie, es susceptible al aire y agua del ambiente, por lo que enfría rápidamente, generando pequeños cristales. Alternativamente, si el magma no logra llegar a la superficie, comienza a enfriarse en el interior de la Tierra en un proceso muy lento, que puede incluso llevar millones de años, conocido como intrusión. En este caso, las rocas generadas tienen tamaños más grandes y fácilmente visibles. [89]

3.2.5.11.3 Metamórficas

Tipo de rocas generado a partir de otra roca sedimentaria, ígnea o incluso metamórfica, que sufre de un proceso de metamorfosis gracias a altas temperaturas y a la presión del interior de la Tierra. Esta clase de entornos termina por cambiar las rocas en un proceso que puede durar millones de años. [89]

3.2.5.12 Minerales

Un mineral es una sustancia que existe en la naturaleza con una composición, estructura atómica, y propiedades físicas y químicas distintivas. Forman parte de la composición de las rocas en diferentes proporciones. [89]



Figura 3-30. Foto del mineral cuarzo. [91]

Los minerales son formados naturalmente gracias a procesos geológicos, ocurridos a lo largo de millones de años. El resultado es un material homogéneo que puede estar formado por un solo elemento o ser un compuesto. [92]

Un mineral es aquel que cumple con las siguientes características [92]:

- ❖ Ocurrir de manera natural, es decir, sustancias hechas por el ser humano como el acero no cuentan.
- ❖ Ser inorgánicos.
- ❖ Ser sólidos a temperatura ambiente.
- ❖ Tener una estructura interna ordenada, es decir, un patrón geométrico en su estructura atómica.
- ❖ Tener una composición química definida.

Cada mineral cuenta con una serie de propiedades físicas, resultado de sus características químicas y estructurales, y estas son:

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN
COLOR	Propiedad fácilmente observable, siendo uno de los distintivos principales de un mineral gracias a colores característicos. Aquellos minerales con colores constantes son <i>idrocromáticos</i> , mientras aquellos que varían mucho se conocen como <i>alocromáticos</i> generalmente debido a la presencia de impurezas.
DUREZA	Propiedad de mucha importancia dada su facilidad de cálculo de manera aproximada. Se refiere a la resistencia ofrecida por un mineral a la abrasión o al raspado.
BRILLO	Propiedad que se define por la apariencia de un mineral cuando la luz se refleja sobre este. Los dos principales son <i>metálicos</i> y <i>no metálicos</i> , sin embargo, también existen las categorías <i>metaloide</i> y <i>submetálico</i> para todos los demás.

RAYA	Se refiere al color del polvo fino de un mineral, determinado por el tipo de corte, limado o rasguño que se realice, pero generalmente utilizándose una pieza de porcelana blanca sin brillo, llamada <i>biscuit</i> .
FRACTURA	Se refiere a las características de la superficie de un mineral cuando las sustancias cristalinas de este se rompen.
HÁBITO	Describe la apariencia de un cristal aislado, así como la forma en la que estos crecen juntos en los agregados.
CONTRASTE	Se refiere al brillo variable, sedoso, que puede tener un mineral de estructura fibrosa.
ASTERISMO	Describe el comportamiento en ciertos minerales, como zafiros y rubíes, que presentan un efecto similar a luz de estrellas cuando estos se observan con luz reflejada.
TRANSPARENCIA O DIAFANIDAD	Propiedad que también es posible observar a simple vista y que se define por la capacidad de un mineral de transmitir luz.
EXFOLIACIÓN	Describe el fenómeno ocurrido al golpear un mineral directamente con un martillo, provocando la ruptura de este en planos definidos, conocidos como <i>planos de exfoliación</i> .
TENACIDAD	Esta propiedad define el comportamiento de un mineral cuando este se intenta romper, siendo las clases de tenacidad más importantes: frágil, séctil, maleable, dúctil, flexible y elástico.
GUSTO	Definida por el sabor que un mineral pueda tener al ser disuelto en agua. Algunos sabores son: alcalino, astringente, astringente dulzón, amargo, fresco, metálico, picante, salino y agrio.

OLOR	Definida por el olor que un mineral pueda tener al ser rascado, arañado, golpeado o calentado. Algunos olores son: arcilloso, bituminoso, fétido, ajo, rábanos picantes y sulfuroso.
TACTO	Describe la impresión que un mineral deja al ser tocado, siendo algunas: frío, grasiento o jabonoso, tosco y suave.
PESO ESPECÍFICO	Se refiere a la densidad relativa de un mineral, es decir, el número de veces que este es más pesado o ligero que la misma cantidad de agua a 4°C.
MAGNETISMO	Capacidad de un mineral de ser atraído por un imán. Especialmente presente en minerales que contienen hierro.
LUMINISCENCIA	Se refiere a la capacidad de ciertos minerales de transformar rayos de luz en energía de tipo térmica luminosa, eléctrica, química y/o mecánica.
ELECTRICIDAD	Definida por la capacidad de un mineral de conducir electricidad.
RADIOACTIVIDAD	Definida por la presencia de radioactividad en un mineral, sólo presente en aquellos con elementos radioactivos.

[93]

3.2.5.13 Afloramientos

Un afloramiento es un cuerpo de roca expuesto en la superficie de la tierra. Con la construcción de carreteras y autopistas, es necesaria la remoción de suelos y rocas, lo que ha dejado numerosos afloramientos en diversas regiones.

Los afloramientos son especialmente importantes debido a la cantidad de información que nos proveen sobre estructuras geológicas, tipos de rocas y procesos pasados del suelo en el entorno en el que se encuentra. [94]

Son esenciales para el mapeo geológico y el entendimiento histórico de la geología, por lo que es necesario su preservación.

4 MARCO METODOLÓGICO

Esta sección describe el proceso de desarrollo de la aplicación ARGeo para el Departamento de Geología de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, desde la recolección de requerimientos, hasta la organización, planeación e implementación con las herramientas seleccionadas.

Resulta importante mencionar que este proyecto fue un esfuerzo colaborativo multidisciplinario que involucró la participación de un grupo de personas de diferentes carreras, en un conjunto de actividades diversas. Esto es especialmente importante pues sin este equipo de personas no se hubiera podido completar el trabajo de la aplicación cumpliendo con los objetivos establecidos en el capítulo 2.2.

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA APLICACIÓN

4.1.1 Propósito de la aplicación

La aplicación ARGeo tiene el propósito de ayudar a resolver la problemática expuesta en el capítulo 2.1 de este trabajo escrito sobre la falta de muestras suficientes de cada espécimen de roca y mineral para todos los estudiantes, especialmente en el contexto de la creciente demanda por espacios de aspirantes a la universidad, apoyando a la docencia y aprendizaje de todos los estudiantes de clases de Geología de la Facultad de Ingeniería. Tal y como ya se expuso, el aprendizaje de esta rama de la ciencia resulta de especial importancia en el México contemporáneo para el desarrollo del país, tanto de manera física, para el desarrollo de infraestructura, así como en el ámbito científico, para el desarrollo de conocimiento relevante que nos permita conocer mejor la actualidad de la geología mexicana.

4.1.2 Público objetivo de la aplicación

La aplicación está diseñada principalmente para los estudiantes de las clases de Geología del Departamento de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería, pues el problema discutido en el capítulo 2.1 afecta de manera particular a este grupo de estudiantes, por lo que resulta fundamental atender las necesidades educativas de todos ellos con una solución basada en la utilización de la tecnología.

Sin embargo, lo cierto es que la carrera de Ingeniería Geológica, así como clases de Geología, no son exclusivas de la UNAM y la Facultad de Ingeniería, sino que muchas universidades alrededor del país cuentan con planes de estudio que abordan la Geología como un tema muy importante y recurrente. Considerando además que pocas universidades cuentan con colecciones de rocas y minerales como los de la Facultad de Ingeniería, la aplicación también puede ser de gran utilidad para complementar el proceso educativo de los estudiantes de estas universidades.

Con lo anterior, el público de la aplicación se expande a cualquier estudiante de Geología que busque una fuente de estudio de rocas y minerales. Tomando esto en cuenta, resulta muy importante que la aplicación se ponga a disposición de manera gratuita en las tiendas aplicaciones de los sistemas operativos móviles Android y iOS.

4.1.3 Uso de la aplicación

La aplicación se podrá buscar en las tiendas de aplicaciones de un dispositivo con sistema operativo Android o iOS, pudiéndose seleccionar y descargar de manera gratuita. Una vez completado este proceso, el usuario podrá iniciar la aplicación haciendo clic en su ícono desde el menú de aplicaciones de su dispositivo. Al iniciar la aplicación, se mostrará un menú principal desde el cual se mostrarán las opciones principales de la aplicación: botón de acceso al visualizador de modelos, botón de acceso a la colección de los modelos de rocas y minerales en forma de lista, y botón de acceso a un menú con la lista de modelos disponibles para su descarga.

El visualizador de modelos dará un acceso directo a la funcionalidad de realidad aumentada de la aplicación, abriendo la cámara para que el usuario pueda apuntar el dispositivo hacia un código QR que le indique qué modelo de roca o mineral debe de mostrar sobre este marcador. Una vez detectado el código, se mostrará la pieza correspondiente y el usuario podrá utilizar gestos para rotarlo y aumentar su tamaño, si así lo desea.

El menú de colección de modelos de rocas y minerales mostrará a los usuarios una lista completa de todas las figuras disponibles en la aplicación, tanto aquellas que han sido descargadas como las que no, pudiendo el usuario usar un filtro para sólo mostrar las que ya se han descargado previamente. Si se llegara a seleccionar un modelo que aún no ha sido descargado, la aplicación mostrará una pantalla flotante que le preguntará al usuario si desea descargar el modelo en ese momento. Al terminar la descarga, se abrirá un visualizador que no utilizará RA para funcionar, mostrando los modelos en un fondo blanco, pero aun siendo completamente manipulables por el usuario mediante gestos táctiles.

El menú de descarga de modelos mostrará una lista con ítems mostrando el nombre de todas las rocas y minerales con modelos disponibles, así como información de peso y un botón para comenzar el proceso de descarga. Si un modelo ya ha sido descargado, el botón cambiará por uno de borrado.

Uno de los puntos más importantes del desarrollo de la aplicación fue la implementación de una interfaz de usuario intuitiva y fácil de utilizar, en línea con un lenguaje de diseño para aplicaciones móviles moderno.

4.1.4 Alcance de la aplicación

La aplicación estará disponible de manera gratuita para su descarga en la Google Play Store, la tienda de aplicaciones para dispositivos Android, y en la App Store, la tienda para dispositivos iOS. El uso de estas tiendas permitirá hacer la aplicación accesible a la mayor cantidad de usuarios posibles, además de que ayudarán a su mantenimiento a futuro, facilitando la entrega de actualizaciones de la aplicación.

Las características de la aplicación serán las mismas para ambas plataformas, gracias al uso del motor gráfico Unity 3D y de frameworks como AR Foundation para homogeneizar el desarrollo del proyecto.

La funcionalidad de realidad aumentada de aplicación girará en torno a la utilización de códigos QR que sirvan de marcadores de posición de cada modelo. Esto con la finalidad de que el posicionamiento de los modelos en el entorno sea lo más fácil y preciso posible.

Para la primera versión de la aplicación, estará disponible una variedad de modelos tridimensionales de alta calidad de diversas rocas y minerales, pero el sistema estará diseñado para que sea posible continuar creciendo la colección sin la necesidad de alterar la estructura del proyecto, en un proceso que será posible llevar a cabo siguiendo un conjunto de instrucciones preestablecido y por personas sin conocimientos técnicos de computación.

4.1.5 Descripción general

La aplicación servirá como una colección virtual de modelos tridimensionales de alta calidad de rocas y minerales provenientes de la misma colección de la Facultad de Ingeniería usada para las clases de geología. Esto es importante pues la aplicación debe de servir el mismo propósito educativo que los modelos reales, permitiendo a los estudiantes familiarizarse con cada roca y mineral de la colección de una manera muy efectiva.

Además de poder visualizar los modelos, estos podrán ser manipulados con gestos de los dedos sobre la pantalla táctil del dispositivo, permitiendo la rotación y cambio de acercamiento para permitir la apreciación de cada roca o mineral desde cualquier ángulo deseado.

Como complemento de la función de visualización, se usará realidad aumentada para permitir posicionar los modelos en el entorno real en el que se encuentre el dispositivo, aprovechando las cámaras y sensores de este para estudiar y apreciar cada pieza de una manera inmersiva.

4.1.6 Dependencias de la aplicación

El desarrollo de una aplicación como esta requiere del correcto funcionamiento correcto de muchas partes, cada una con niveles de impacto distinto y, en ciertos casos, estos factores podrían terminar por afectar el cumplimiento de ciertas características de la aplicación. A continuación, se listan las dependencias para el cumplimiento de los objetivos de esta aplicación:

Dependencia	Impacto
Acceso a computadoras y dispositivos de Apple para la compilación y realización de pruebas de la versión para el sistema operativo iOS.	Alto
Acceso a una amplia variedad de dispositivos Android para la realización de pruebas de esta versión de la aplicación.	Alto
Acceso a una cuenta de desarrollador para la tienda de aplicaciones de dispositivos móviles de Apple, la App Store, para poder hacer disponible la aplicación en esta plataforma.	Alto

Acceso a una cuenta de desarrollador para la tienda de aplicaciones de dispositivos móviles de Google, la Play Store, para poder hacer disponible la aplicación en esta plataforma.	Alto
Acceso a la colección inicial completa de modelos y fichas informativas de cada roca y mineral.	Bajo
Acceso a un servidor de la Facultad de Ingeniería en el que hospedar el contenido descargable de la aplicación.	Alto

4.1.7 Necesidades del usuario

Desde el principio del proyecto, el Departamento de Ingeniería Geológica identificó a los estudiantes de las clases de Geología de la Facultad de Ingeniería cómo los usuarios principales de la aplicación, contextualizándose las necesidades de estos en el entorno educativo de sesiones de trabajo teóricas y de laboratorio.

El usuario principal de la aplicación es la comunidad estudiantil de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, pues la problemática que busca resolver la aplicación nace de las aulas de las clases de Geología de la Facultad y de las condiciones particulares relacionadas a la falta de suficientes muestras de cada roca y mineral en la colección del Departamento de Ingeniería Geológica de la universidad. Este grupo de usuarios será el que use la aplicación de manera más intensiva y regular.

El grupo de usuarios secundario de la aplicación serán las comunidades estudiantiles de otras universidades que también cuentan con planes que incluyen el estudio de la Geología. Este grupo de usuarios podrá verse beneficiado de todas las características de la aplicación para la mejora de sus condiciones de estudio de la Geología, aprovechando la fácil disponibilidad de esta, así como su naturaleza gratuita.

Lista de necesidades principales:

- ❖ Acceso gratuito a la aplicación.
- ❖ Fácil acceso a la aplicación.
- ❖ Fácil acceso a actualizaciones de la aplicación.
- ❖ Acceso a una colección diversa de modelos de rocas y minerales.
- ❖ Diseño gráfico de la aplicación agradable a la vista.
- ❖ Diseño intuitivo de la interfaz de la aplicación.
- ❖ Visualizador de modelos en realidad aumentada.
- ❖ Visualizador de modelos sin realidad aumentada.
- ❖ Utilización de códigos QR como marcadores para realidad aumentada.
- ❖ Acceso a lista completa de los modelos de la aplicación.
- ❖ Descarga individual de cada modelo bajo demanda.

- ❖ Acceso a fichas técnicas para cada roca y mineral de acuerdo con apuntes del Departamento de Geología.
- ❖ Buen rendimiento de la aplicación en la mayor cantidad de dispositivos posible.
- ❖ Buen rendimiento de la funcionalidad de realidad aumentada.
- ❖ Uso sin conexión a internet.

4.2 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Los requerimientos del sistema se derivan directamente de los objetivos del Departamento de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, quién en su papel de *Project Owner* (dueño del proyecto), definió desde el principio del proyecto las necesidades de los usuarios que deben de ser cubiertas con las características de la aplicación.

4.2.1 Requerimientos funcionales

A continuación, se describen los requerimientos funcionales de la aplicación con base en las necesidades descritas en la sección 4.1.7 de este capítulo. Estos requerimientos se refieren directamente a los aspectos funcionales de la aplicación.

<i>Necesidad</i>	<i>Requerimiento</i>
<i>Acceso a una colección diversa de rocas y minerales.</i>	1. Contenido principal de la aplicación. 1.1. Modelos tridimensionales en alta calidad de rocas. 1.2. Modelos tridimensionales en alta calidad de minerales.
<i>Diseño gráfico de la aplicación agradable a la vista.</i>	2. Diseño gráfico de la aplicación. 2.1. Uso de lenguaje de diseño moderno: Material Design.
<i>Diseño intuitivo de la interfaz de la aplicación.</i>	3. Diseño de la interfaz de la aplicación. 3.1. Uso de las definiciones de Material Design para las interfaces.
<i>Visualizador de modelos en realidad aumentada.</i>	4. Visualizador en realidad aumentada. 4.1. Renderización de modelos en el entorno. 4.2. Manipulación de modelos mediante gestos táctiles.

Utilización de códigos QR como marcadores para realidad aumentada.

4.3. Uso de códigos QR como marcadores de posición para el renderizado de los modelos.

Visualizador de modelos sin realidad aumentada.

5. Visualizador sin realidad aumentada.
5.1. Renderización de modelos sobre un fondo blanco.
5.2. Manipulación de modelos mediante gestos táctiles.

Acceso a lista completa de los modelos de la aplicación.

6. Administración de modelos de rocas y minerales.
6.1. Lista clasificada en rocas y minerales.
6.2. Lista clasificada en subtipos.

Descarga individual de cada modelo bajo demanda.

7. Administración de contenido de la aplicación.
7.1. Lista de todos los modelos disponibles.
7.2. Botón de descarga individual para cada modelo listado.
7.3. Botón de borrado individual para cada modelo listado.

Acceso a fichas técnicas para cada roca y mineral de acuerdo con apuntes del Departamento de Geología.

8. Contenido informativo de la aplicación.
8.1. Ficha informativa para cada modelo descargado.
8.2. Contenido de cada ficha informativa proveniente del Departamento de Ingeniería Geológica.

Debe ser posible para el Departamento de Ingeniería Geológica de la FI continuar con el crecimiento de la colección de modelos de la aplicación.

9. Desarrollo de contenido de la aplicación.
9.1. Manual de creación de contenido para la aplicación.
9.2. Sistema de creación de contenido que no requiera de conocimiento técnico del motor gráfico Unity.

9.3. Almacenamiento del contenido en un servidor de la Facultad de Ingeniería.

4.2.1.1 Justificación de requerimientos

A continuación, se presentan las justificaciones de los requerimientos funcionales identificados y su respectiva especificación.

Requerimiento	Justificación
1. <i>Contenido principal de la aplicación.</i> 1.1. <i>Modelos tridimensionales en alta calidad de rocas.</i> 1.2. <i>Modelos tridimensionales en alta calidad de minerales.</i>	Los modelos tridimensionales deben de ser de la mayor calidad posible para poder ser usados como una fuente de información lo suficientemente precisa y cercana a la realidad como para ser utilizados en lugar de los modelos reales.
2. <i>Diseño gráfico de la aplicación.</i> 2.1. <i>Uso de lenguaje de diseño moderno: Material Design.</i>	Material Design, como lenguaje de diseño, se ha convertido en el estándar de diseño moderno de aplicaciones en Android, gracias a su naturaleza limpia, fluida y responsiva a diferentes tamaños de pantalla.
3. <i>Diseño de la interfaz de la aplicación.</i> 3.1. <i>Uso de las definiciones de Material Design para las interfaces.</i>	Material Design define directrices de diseño de las interfaces de usuario de aplicaciones, estandarizando las interacciones de usuario y haciéndolas intuitivas.
4. <i>Visualizador en realidad aumentada.</i> 4.1. <i>Renderización de modelos en el entorno.</i> 4.2. <i>Manipulación de modelos mediante gestos táctiles.</i> 4.3. <i>Uso de códigos QR como marcadores de posición para el renderizado de los modelos.</i>	El visualizador de realidad aumentada debe de ser capaz de renderizar los modelos tridimensionales en el entorno del dispositivo, proveyendo, además, de una interfaz flexible al usuario, que le permita manipular los modelos mediante gestos táctiles, modificando de esta manera la relación, tamaño y posición del modelo que se haya seleccionado. Gracias a los códigos

	<p>QR, la precisión del posicionamiento de los modelos mejorará.</p>
<p>5. <i>Visualizador sin realidad aumentada.</i> 5.1. <i>Renderización de modelos sobre un fondo blanco.</i> 5.2. <i>Manipulación de modelos mediante gestos táctiles.</i></p>	<p>El visualizador sin realidad aumentada permitirá a los usuarios visualizar los modelos tridimensionales aun cuando este no se encuentre en un espacio apropiado para visualizar los modelos, o no cuente con los códigos QR de posición. Este visualizador también permitirá la manipulación de modelos mediante gestos táctiles.</p>
<p>6. <i>Administración de modelos de rocas y minerales.</i> 6.1. <i>Lista clasificada en rocas y minerales.</i> 6.2. <i>Lista clasificada en subtipos.</i></p>	<p>Debido a la cantidad de modelos tridimensionales que estarán disponibles en la aplicación, es indispensable que exista un sistema de administración en forma de menús que, además, permita al usuario encontrar rápidamente cierta roca o mineral.</p>
<p>7. <i>Administración de contenido de la aplicación.</i> 7.1. <i>Lista de todos los modelos disponibles.</i> 7.2. <i>Botón de descarga individual para cada modelo listado.</i> 7.3. <i>Botón de borrado individual para cada modelo listado.</i></p>	<p>Debido a la funcionalidad de descarga bajo demanda de cada modelo de la aplicación, es necesario que exista un menú de administración de modelos que permita a los usuarios descargar y borrar cada modelo, según las necesidades del usuario.</p>
<p>8. <i>Contenido informativo de la aplicación.</i> 8.1. <i>Ficha informativa para cada modelo descargado.</i> 8.2. <i>Contenido de cada ficha informativa proveniente del Departamento de Ingeniería Geológica.</i></p>	<p>Debido al objetivo educativo de la aplicación y a su uso esperado para el estudio de rocas y minerales, es importante que la descarga de cada modelo de roca o mineral venga acompañada de una ficha informativa que provea de la información más importante para cada uno.</p>
<p>9. <i>Desarrollo de contenido de la aplicación.</i> 9.1. <i>Manual de creación de contenido para la aplicación.</i></p>	<p>Una aplicación de esta naturaleza debe ser capaz de crecer su oferta de contenido con el paso del tiempo, gracias al continuo trabajo del Departamento de Ingeniería Geológica. Esto debe ser posible con un</p>

- 9.2. Sistema de creación de contenido que no requiera de conocimiento técnico del motor gráfico Unity.
- 9.3. Almacenamiento del contenido en un servidor de la Facultad de Ingeniería.

manual y un sistema especial, diseñado para ser usado aún sin conocimientos técnicos sobre Unity. Además, para que el Departamento cuente con control total del contenido, este se almacenará en un servidor de la Facultad de Ingeniería.

4.2.2 Requerimientos no funcionales

A continuación, se describen los requerimientos no funcionales de la aplicación con base en las necesidades descritas en la sección 4.7 de este capítulo. Estos requerimientos se refieren a la calidad de las características de la aplicación.

<i>Necesidad</i>	<i>Requerimiento</i>
<i>Acceso gratuito a la aplicación.</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Descarga de la aplicación. <ol style="list-style-type: none"> 1.1. Sin costo desde la Google Play Store. 1.2. Sin costo desde la App Store.
<i>Fácil acceso a la aplicación.</i>	<ol style="list-style-type: none"> 2. Disponibilidad de la aplicación. <ol style="list-style-type: none"> 2.1. Disponible en dispositivos Android. 2.2. Disponible en dispositivos iOS.
<i>Fácil acceso a actualizaciones de la aplicación.</i>	<ol style="list-style-type: none"> 3. Actualizaciones de la aplicación. <ol style="list-style-type: none"> 3.1. Actualizaciones automáticas por medio de la Google Play Store, en Android. 3.2. Actualizaciones automáticas por medio de la App Store, en iOS.
<i>Buen rendimiento de la aplicación en la mayor cantidad de dispositivos posible.</i>	<ol style="list-style-type: none"> 4. Rendimiento de la aplicación. <ol style="list-style-type: none"> 4.1. Aplicación optimizada para dispositivos con sistema operativo Android. 4.2. Aplicación optimizada para dispositivos con sistema operativo iOS. 4.3. Complejidad de modelos optimizada para dispositivos móviles.

Buen rendimiento de la funcionalidad de realidad aumentada.

5. Realidad aumentada.
 - 5.1. Uso del framework AR Foundation en el motor gráfico Unity.
 - 5.2. Uso de la API de ARCore para dispositivos Android.
 - 5.3. Uso de la API de ARKit para dispositivos iOS.

Uso sin conexión a internet.

6. Contenido de la aplicación.
 - 6.1. Descargado y almacenado de manera local en el dispositivo.
 - 6.2. Aún sin conexión a internet, el contenido se puede visualizar.
 - 6.3. La conexión a internet sólo es necesaria para descargar nuevos modelos.

4.2.2.1 Justificación de requerimientos

A continuación, se presentan las justificaciones de los requerimientos no funcionales, así como de su especificación.

Requerimiento	Justificación
<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Descarga de la aplicación.</i> <ol style="list-style-type: none"> 1.1. <i>Sin costo desde la Google Play Store.</i> 1.2. <i>Sin costo desde la App Store.</i> 	<p>Los sistemas operativos móviles más utilizados son Android y iOS, por lo que la aplicación debe de estar disponible en las tiendas de aplicaciones de estos, Google Play Store y App Store, respectivamente, para que sean fácilmente descargables.</p>
<ol style="list-style-type: none"> 2. <i>Disponibilidad de la aplicación.</i> <ol style="list-style-type: none"> 2.1. <i>Disponibile en dispositivos Android.</i> 2.2. <i>Disponibile en dispositivos iOS.</i> 	<p>Los sistemas operativos móviles más utilizados son Android y iOS, por lo que la aplicación debe de estar disponible en las tiendas de aplicaciones de estos, sin costo, para que sean accesibles para todos los usuarios.</p>

3. *Actualizaciones de la aplicación.*

3.1. *Actualizaciones automáticas por medio de la Google Play Store, en Android.*

3.2. *Actualizaciones automáticas por medio de la App Store, en iOS.*

Aplicaciones modernas necesitan de mantenimiento aún después de su lanzamiento, por lo que proveer la aplicación en la Google Play Store y la App Store permitirá que se puedan hacer llegar actualizaciones de manera automática, ya que se trata de una de las funcionalidades principales de estas tiendas de aplicaciones.

4. *Rendimiento de la aplicación.*

4.1. *Complejidad de modelos optimizada para dispositivos móviles.*

La complejidad de los modelos tridimensionales de la aplicación debe de cuidarse especialmente, debido a las limitaciones naturales de los dispositivos móviles, de tal manera que conserven la mayor calidad posible sin afectar negativamente el rendimiento de la aplicación.

5. *Realidad aumentada.*

5.1. *Uso del framework AR Foundation en el motor gráfico Unity.*

5.2. *Uso de la API de ARCore para dispositivos Android.*

5.3. *Uso de la API de ARKit para dispositivos iOS.*

El uso del framework AR Foundation del motor gráfico Unity permitirá aprovechar las APIs de Google y Apple, ARCore y ARKit, respectivamente, para mejorar el rendimiento de la funcionalidad de RA y facilitar el proceso de desarrollo de versiones de la aplicación para cada sistema operativo.

6. *Contenido de la aplicación.*

6.1. *Descargado y almacenado de manera local en el dispositivo.*

6.2. *Aún sin conexión a internet, el contenido se puede visualizar.*

6.3. *La conexión a internet sólo es necesaria para descargar nuevos modelos.*

La flexibilidad requerida en el contenido de la aplicación necesita que los modelos sean ofrecidos bajo demanda para cuidar el tamaño de la aplicación. Con esto en mente, debe de existir una interfaz de usuario que permita administrar el contenido mediante botones de borrado y de descarga de cada modelo.

4.3 CONCEPTO

Una vez obtenidos los requerimientos de la aplicación, es posible definir el concepto general de la aplicación que se necesita.

Aplicación para dispositivos móviles con sistema operativo Android y iOS diseñada para contener una colección de modelos tridimensionales de alta calidad de rocas y minerales, con sus respectivas fichas informativas, proveídos por el Departamento de Ingeniería Geológica de la Facultad de Ingeniería, con el objetivo de apoyar a la docencia y el aprendizaje de la Geología en todas las clases relacionadas al tema.

4.4 PROPUESTA

Afortunadamente, desde la concepción del proyecto por parte del Departamento de Ingeniería Geológica, se tenía la visión de resolver la problemática explicada en el capítulo 2.1 por medio de una aplicación para dispositivos móviles, tanto aquellos con sistema operativo Android como iOS, y que utilizara realidad aumentada para la renderización de modelos tridimensionales durante las sesiones de clase de Geología de la Facultad de Ingeniería.

Conocer la plataforma de destino, así como la tecnología principal que se deseaba fuera aprovechada en la aplicación aceleró el proceso de investigación y posterior selección de herramientas para el proceso de desarrollo. Ya se sabía la idea general de la forma del producto final, pero faltaba determinar el cómo se llegaría ahí.

Sin embargo, aún con estas limitaciones establecidas desde el comienzo de la fase de recolección de requerimientos, y después de haber revisado múltiples ejemplos de aplicaciones con implementaciones de tecnología similares, se identificaron diversas opciones, cada una con sus propias ventajas y desventajas.

Para una aplicación de esta naturaleza, con la necesidad del mayor alcance posible entre la comunidad estudiantil de la facultad, resulta muy importante la selección de las herramientas adecuadas, de otra manera, si bien probablemente sea posible entregar el producto deseado, el proceso de desarrollo se puede complicar de tal manera que los recursos limitados de tiempo, desarrolladores y modeladores no sean suficientes. Por si fuera poco, incluso si los recursos fueran lo suficientemente escalables como para sustentar una elección incorrecta, es necesario considerar la complejidad adicional administrativa que esto traería.

Con lo anterior en mente, se identificaron las siguientes opciones.

4.4.1 Opción 1: Android Studio y ARCore

Inicialmente, considerando la marcada prevalencia de dispositivos con sistema operativo Android en el país, con más de un 80% del mercado mexicano usando este sistema en sus teléfonos inteligentes [16], se pensó en centrar los esfuerzos de desarrollo de la aplicación en esta plataforma, con la intención de que al menos la mayor parte de los estudiantes de la facultad, aquellos con teléfonos inteligentes con Android, pudieran instalar y hacer uso de la aplicación.

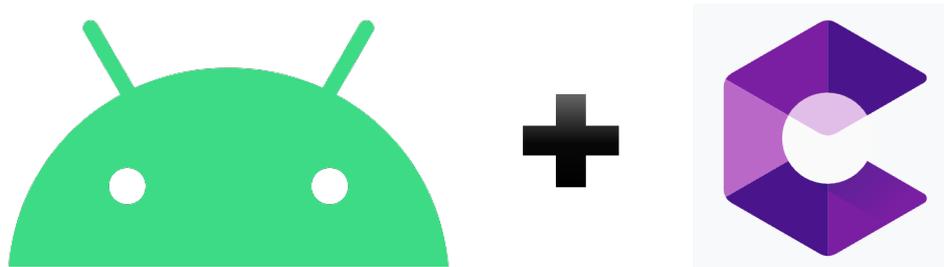


Figura 4-1. Android permite aprovechar las características de ARCore al máximo. [60] [72]

Esta opción implica la utilización del IDE (Integrated Development Environment) de Google para Android, Android Studio. Siendo este el entorno oficial de desarrollo para aplicaciones en Android permite la optimización de los proyectos gracias al enfoque en una sola plataforma de ejecución.

Android Studio permite la utilización de los lenguajes de programación Java y Kotlin (creado por Google), con un enfoque en la programación orientada a objetos. Sin importar la elección del lenguaje, el código escrito se compila en código binario listo para ser interpretado por la *Dalvik Virtual Machine* (DVM) del dispositivo en el que se vaya a realizar la ejecución. Esta máquina virtual está optimizada para funcionar en dispositivos portátiles, a diferencia de una *Java Virtual Machine* (JVM), comúnmente usada en aplicaciones de escritorio.

Siendo Android Studio un entorno completamente dedicado al sistema operativo Android, los proyectos desarrollados en este pueden ser especialmente optimizados y aprovechar el set completo de características ofrecidas por la API ARCore para implementaciones de RA.

Además de esto, la tienda de aplicaciones de Android, la Google Play Store, se caracteriza por ser muy accesible para todo tipo de desarrolladores, con una cuota única de 25 dólares para poder hacer uso de todas las características de esta plataforma de descargas y actualizaciones.

Esta opción sin duda sería la mejor opción para la mayor parte de los dispositivos móviles usados por los estudiantes de la facultad, sin embargo, aquellos con dispositivos de Apple, un porcentaje no insignificante, no podrían hacer uso de la aplicación, lo que impediría que se cumpliera el objetivo de complementar el proceso educativo de Geología en la Facultad de Ingeniería.

4.4.2 Opción 2: Xcode y ARKit

El uso de dispositivos de Apple con sistema operativo iOS, de la línea de iPhone y iPad, a pesar de no ser tan grande en México comparado con los dispositivos Android, si representa un porcentaje importante de usuarios en la Facultad de Ingeniería que no puede ser ignorado. Además, la API proporcionada por Apple para realidad aumentada, ARKit, es la más robusta del mercado gracias a la optimización realizada para el hardware de todos los dispositivos móviles con iOS.

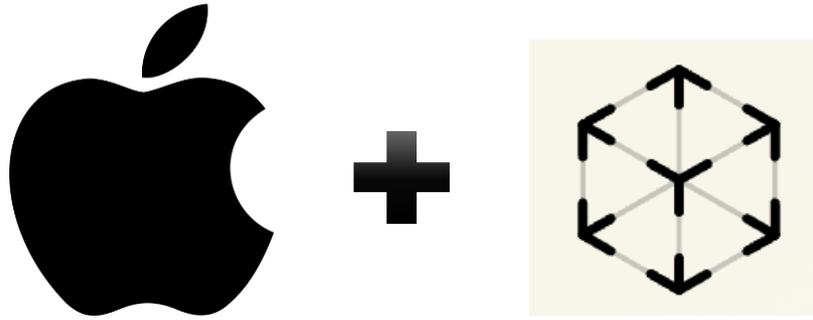


Figura 4-2. ARKit, de Apple, es la API de RA más robusta del mercado de dispositivos móviles. [66] [74]

Esta opción implica la utilización del IDE de Apple para el desarrollo de aplicaciones para dispositivos iOS y macOS, Xcode. El uso de este entorno de desarrollo permite una enorme cantidad de control sobre los dispositivos en los que se esté trabajando, gracias a que la gama de dispositivos de Apple es mucho más limitada, lo que permite un nivel de optimización que simplemente sería imposible lograr en una plataforma como Android.

Los lenguajes principales para el desarrollo de aplicaciones para iOS con Xcode son Swift y Objective-C, siendo Swift un lenguaje desarrollado por Apple como una alternativa moderna y volviéndose rápidamente el lenguaje preferido por desarrolladores de plataformas de Apple desde su lanzamiento en 2014.

El uso de Xcode permite acceder directamente a todas las características de la API de ARKit, lo que otorga una experiencia de implementación de características en realidad aumentada muy precisa, aprovechando todas las características de hardware de cada modelo diferente de iPhone o iPad, siguiendo la misma línea de optimización que todas las plataformas exclusivas de dispositivos de Apple siguen.

Sin embargo, esta naturaleza exclusiva de la plataforma de desarrollo para iOS también es uno de los puntos negativos de esta opción, pues requiere no solo que se cuente con varias unidades de dispositivos móviles para la realización de pruebas a lo largo del proceso, sino que también se necesita contar con múltiples equipos Mac, pues todo el entorno de desarrollo proveído por Xcode para esta clase de plataforma es exclusivo de computadoras con sistema operativo macOS.

Si bien los dispositivos iPhone y iPad son relativamente comunes, las computadoras Mac no lo son tanto, sin duda siendo Windows el sistema operativo más popular. Además, por limitaciones impuestas por Apple, el sistema operativo macOS no se puede instalar en otra clase de hardware, lo que impediría el desarrollo de la aplicación a menos de que se consiguiera todo el equipo necesario para cada uno de los desarrolladores del proyecto.

Es importante también considerar que, a pesar de que la tienda de aplicaciones para dispositivos iOS, la App Store, es tan robusta y fácil de usar como la Google Play Store, es mucho más costosa de utilizar, con una cuota de 299 dólares anuales por una cuenta de desarrollador que permita subir y distribuir una aplicación por este medio.

Enfocar los esfuerzos de desarrollo de la aplicación en dispositivos de Apple, probablemente traería como resultado la implementación más robusta y precisa de toda la funcionalidad de realidad aumentada que se desea. A pesar de esto, las limitaciones del ecosistema de desarrollo de Apple impiden que sea realista la alternativa debido a lo costoso que sería adquirir todo el equipo necesario para el proyecto. Esto sin mencionar que la

cantidad de dispositivos Android en la Facultad de Ingeniería es significativamente mayor, por lo que no tendría sentido enfocar todos los esfuerzos en esta plataforma.

4.4.3 Opción 3: Unity y AR Foundation

Las primeras dos opciones expuestas se consideraron a profundidad porque a pesar de que el enfoque en una sola plataforma es similar, el proceso de desarrollo sería muy diferente, con entornos muy distintos y con consideraciones muy importantes dependiendo del sistema operativo móvil.

Este es un problema que toda aplicación móvil multiplataforma enfrenta hoy en día, lo que puede terminar por duplicar el tamaño del equipo de desarrollo para el mantenimiento de 2 versiones de cada aplicación, una para Android y otra para iOS, con exactamente las mismas características, pero incompatibles entre sí.

Es en este contexto que el motor gráfico de Unity brilla, pues permite el trabajo en un solo proyecto que se puede compilar para múltiples plataformas diferentes, realizando apenas algunos ajustes de configuración específicos, y sin la necesidad de tener que crear y mantener, desde cero, un proyecto diferente por cada plataforma que se desee cubrir.



Figura 4-3. Unity es una de las herramientas más versátiles de gráficos 2D y 3D.

Esta característica de Unity le ha permitido rápidamente volverse el motor gráfico más popular en dispositivos móviles, hoy en día siendo utilizado por más de la mitad de todos los videojuegos para teléfonos inteligentes [68]. Esta popularidad ha expandido el alcance del motor, por lo que ahora es utilizado en múltiples aplicaciones que no son solo videojuegos y que tienen necesidades de renderización de gráficos.

Además, con la popularización de la realidad aumentada como una tecnología con funcionalidad real en ciertos tipos de aplicaciones y el lanzamiento de ARCore y ARKit como APIs especializadas para este tipo de implementaciones en Android y iOS, respectivamente, Unity lanzó AR Foundation como un framework que permite aprovechar ambas APIs en funcionalidad de RA, desde un mismo proyecto.

La interfaz de desarrollo de Unity es compatible en computadoras con sistema operativo Windows y macOS, por lo que el equipo de desarrollo será capaz de trabajar con las computadoras con las que ya cuentan, sin la necesidad de obtener equipo específico.

A diferencia de otros motores gráficos en el mercado, la licencia de uso de Unity es gratuita para organizaciones pequeñas, lo que permite instalar tantas copias de la herramienta como sea necesario. Esto resulta especialmente importante para el proyecto en curso debido a que se trata a una aplicación sin fines de lucro

La instalación de Unity incluye todo el conjunto básico de herramientas necesario para crear una aplicación con gráficos 2D o 3D, con una interfaz intuitiva y muy versátil, que permite la modificación de la organización del entorno de trabajo y la instalación de herramientas adicionales desde una tienda de aplicaciones propia.

A diferencia de un IDE como Android Studio o Xcode, Unity no incluye un editor de código, dejando a elección del desarrollador la elección de su editor de texto favorito. Esto le otorga un nivel añadido de versatilidad, pues existe una amplia variedad de editores disponibles, y esta decisión no afecta el funcionamiento de Unity.

A pesar de lo anterior, el editor de texto más integrado con Unity es Visual Studio Code, un editor desarrollado por Microsoft y que rápidamente se ha posicionado como el más popular en la comunidad de desarrolladores gracias a que es gratuito, tiene un buen rendimiento, su naturaleza de código abierto, y a su capacidad de tener complementos instalados que expanden la funcionalidad de la aplicación.

Unity utiliza código escrito en el lenguaje de programación C# para determinar el comportamiento del contenido de las aplicaciones. Esto es especialmente importante pues se trata de un lenguaje que es especialmente fácil de aprender gracias a una sintaxis similar a C y su enfoque en la programación orientada a objetos.

Por estas razones, Unity puede ser una gran alternativa a las primeras dos opciones presentadas, permitiendo que la aplicación desarrollada pueda entregarse tanto para dispositivos Android como iOS con mínimos ajustes individuales, sin afectar los tiempos de entrega ni alterar drásticamente el tiempo de desarrollo del proyecto.

Las características de Unity permitirían cumplir todos los objetivos de funcionalidad de la aplicación, sin dejar de lado a ninguno de los usuarios de los sistemas operativos móviles más importantes del mercado: Android y iOS.

Como se puede apreciar por las 3 opciones presentadas, este proyecto pudo haber tomado diferentes rutas para alcanzar el cumplimiento de los objetivos descritos en la sección 2.2 de este trabajo escrito. Esta situación es muy común en todo proyecto de desarrollo de software debido a la versatilidad de herramientas, plataformas y estrategias.

La opción elegida terminaría por determinar todo aspecto de desarrollo del proyecto, desde el software que tendría que instalarse en cada computadora de desarrollo y los dispositivos necesarios para la realización de pruebas, hasta el conjunto de nuevas tecnologías que tendrían que ser aprendidas.

Considerando lo anterior, se determinó que la tercera opción era la mejor, pues se trata de la que involucra el conjunto de herramientas más versátil, capaz de unificar el proceso de desarrollo de las 2 versiones necesarias de la aplicación, optimizando el tiempo de trabajo de los desarrolladores y centrando los esfuerzos en los aspectos funcionales de la aplicación, en lugar de aquellos relacionados exclusivamente a la compatibilidad.

4.5 PLANEACIÓN

Una vez determinados los aspectos generales de la aplicación, se procedió con la planeación del proceso de desarrollo de la aplicación. Esto es muy importante para organizar todos los recursos disponibles en un plan de trabajo con estimaciones de fechas de progreso.

4.5.1 Equipo de trabajo

Dada la escala del proyecto, este se realizó mediante un esfuerzo colaborativo de múltiples estudiantes de la UNAM, cada uno con responsabilidades distintas pero fundamentales para el cumplimiento de todos los requerimientos establecidos.

A continuación, se listan a los nombres de los participantes:

TAREA	NOMBRE
DESARROLLO DE SOFTWARE	Ricardo Hernández Gómez
	Diego Iñaki García Rebollo
DISEÑO GRÁFICO	Miguel Ángel Cruz Zavala
	Alonzo López Lona
FOTOGRAMETRÍA	Mariana Feria Nuñez
	Nadia Ximena Manteca Rodríguez
	Guillermo Alejandro Vigil Neria
	Ashley Julián Almaráz
	Natalia Hernández González
	Saúl Rodríguez Pacheco
	Andrés Salinas Omassi
	Carlos Alexei Chirino López
	Alfadir Jourdain Álvarez Cortez

4.5.2 Herramientas de desarrollo

Una vez claro el tipo de aplicación que se desarrollaría, después del análisis de opciones disponibles al momento del inicio del proyecto, en febrero de 2020, fue posible definir de manera precisa las herramientas necesarias para el proceso de desarrollo.

Las herramientas seleccionadas y sus versiones específicas se eligieron de acuerdo con lo que se encontraba disponible en ese momento. Se presentan a continuación estas herramientas, así como su papel dentro de la creación de la aplicación.

4.5.2.1 Unity 2019.3.6f1

La plataforma principal para el desarrollo de la aplicación es el motor gráfico Unity, gracias a la flexibilidad de plataformas que se mencionó en la sección 4.4.3 de este capítulo. Las versiones de Unity están enumeradas por año, pero eso no significa que estas sean lanzadas de manera exacta con cada inicio de año, ya que, debido a la complejidad del motor gráfico, pasa por un periodo de *beta* que, si bien contiene el conjunto de nuevas características planeado para la versión, no está lista para su uso general debido a que aún puede haber cambios y diversos fallos durante su ejecución.

En marzo de 2020, Unity 2020 ya se encontraba en fase de *beta*, pero aún no había fecha clara de lanzamiento de una versión estable, razón por la cual se optó por utilizar la última versión estable disponible en ese momento, Unity 2019.3.6f1. Esta versión fue lanzada el 19 de marzo de 2020 y, siendo una de las últimas versiones de 2019 antes de la 2020, es una versión muy completa, con pocos errores.

Es muy importante la selección de una versión específica de Unity para evitar problemas futuros de compatibilidad con código y configuraciones del proyecto, pues el salto entre versiones diferentes en el mismo proyecto puede incluir cambios que terminen por alterar funcionalidad que ya ha sido implementada anteriormente e incluso, hacer que deje de funcionar por completo, lo que terminaría por hacer necesarios ajustes que permitan solventar el resultado de estas situaciones.

4.5.2.1.1 AR Foundation 2.1

El framework proporcionado por AR Foundation para funcionalidad de realidad aumentada en Unity está en constante desarrollo, por lo que la selección de una versión estable también resulta de especial interés, dada la gran importancia que tiene el requerimiento de RA en la aplicación.

La versión seleccionada para esto fue la 2.1, lanzada especialmente para trabajar con versiones de Unity 2019 y superiores. Esta versión del framework proporciona la compatibilidad necesaria con las características de ARCore y ARKit para cumplir con los objetivos de funcionalidad planteados.

4.5.2.2 Blender

Blender es un software libre y de código abierto utilizado para la realización de gráficos por computadora, con una amplia variedad de herramientas de modelado. Gracias a su versatilidad

y su disponibilidad de manera gratuita, es una herramienta muy utilizada para la realización de películas, efectos especiales, aplicaciones interactivas, realidad virtual y modelado tridimensional.

Este software es importante para el desarrollo de la aplicación debido a la gran cantidad de modelos de rocas y minerales que deberán de modificarse y optimizarse para su uso en un entorno móvil.

4.5.2.3 Github

Github es el administrador de versiones que usa Git más popular en el mundo del desarrollo de software. Sus características ofrecidas en su versión gratuita permiten la colaboración en proyectos de una manera fácil e intuitiva.



Figura 4-4. Logo de Github, el administrador de versiones más utilizado.

El uso de un administrador de versiones en un proyecto como este es muy importante debido a que el tamaño y complejidad son considerables, lo que haría muy difícil llevar un control apropiado del trabajo realizado por cada desarrollador de manera manual, eventualmente ocasionando conflictos y la realización de trabajo duplicado.

Además, en caso de cambios que provoquen la pérdida de funcionalidad ya existente, es posible revertirlos hasta un punto anteriormente guardado.

4.5.2.4 Zoom

La comunicación de voz y video entre los miembros del equipo de desarrollo es muy importante debido a que la mayor parte del trabajo se llevó a cabo a distancia. Era necesario un software de teleconferencia lo suficientemente robusto como para permitir la comunicación fluida entre múltiples participantes al mismo tiempo, y con capacidad de compartir contenido de pantalla en tiempo real.



Figura 4-5. Zoom se ha convertido en una de las principales herramientas de comunicación.

Con lo anterior en mente, se eligió Zoom, que a pesar de ser una plataforma principalmente de pago para organizaciones grandes, proporciona una experiencia muy fluida gracias a una aplicación disponible para todo tipo de dispositivos, además de que su plan gratuito permite llamadas de 40 minutos con hasta 100 participantes, lo que cubre perfectamente las necesidades del equipo de desarrollo.

Este es el conjunto de herramientas esencial que se utilizó durante toda la duración del proyecto, otras aplicaciones, como los editores de texto, fueron dejadas como una elección libre, dado que no interfieren con el funcionamiento del proyecto en sí y dependen de preferencias personales, por lo que lo más importante es la comodidad y familiaridad de su uso.

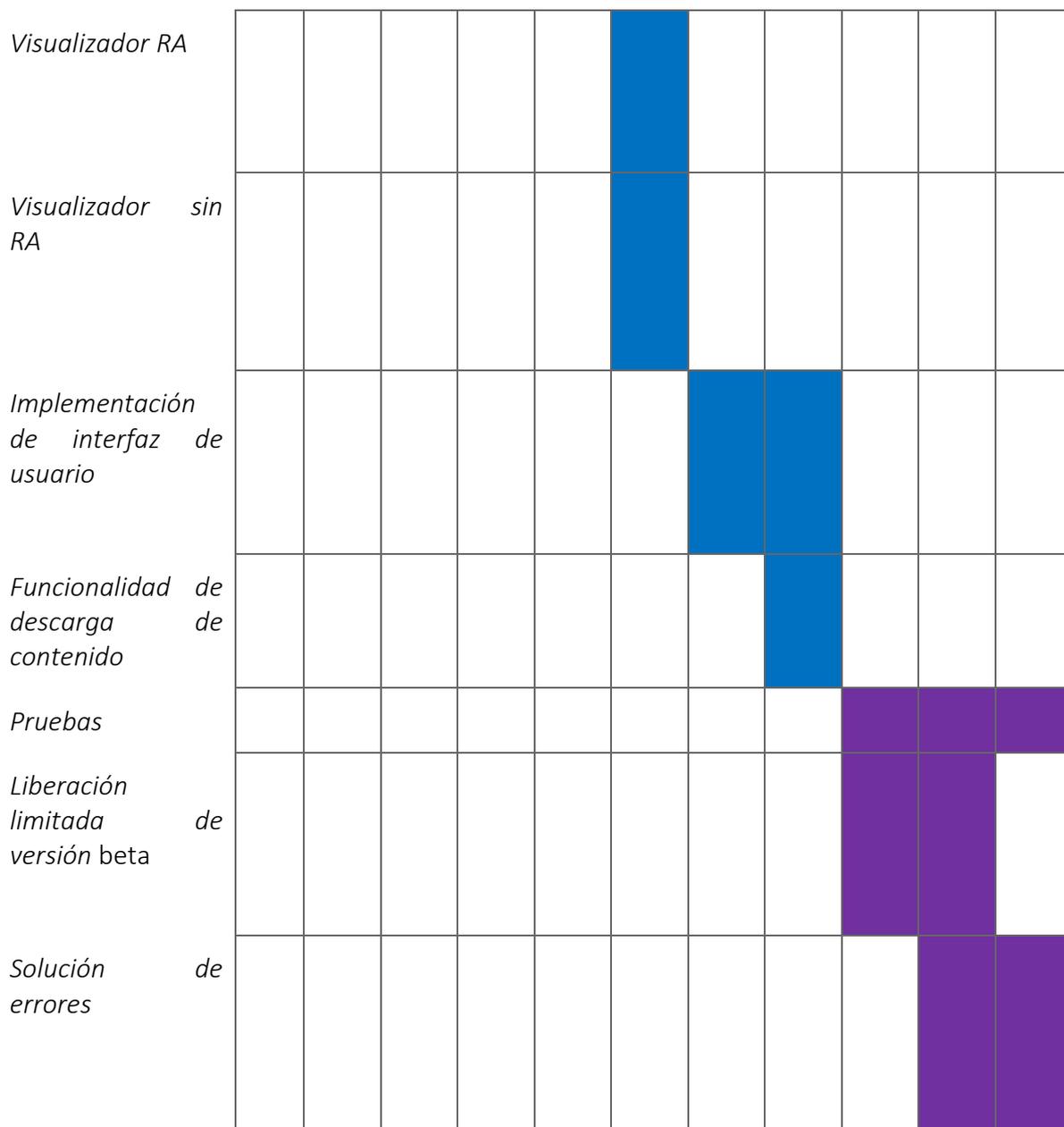
4.5.3 Cronograma del proyecto

Esta aplicación se trata de un proyecto ambicioso tanto en alcance y objetivos, como en el conjunto de herramientas y tecnologías a aprovecharse. Además, el equipo de desarrollo es pequeño, por lo que es importante mantener un estimado realista del tiempo de desarrollo, con un conjunto de objetivos claros, delimitados por etapas, pero con el suficiente tiempo como para que cada una pueda completarse con un estándar mínimo de calidad adecuado para una aplicación a lanzarse para una gama de dispositivos tan amplia.

El arranque del proyecto fue en febrero de 2020, con las actividades proyectadas a prolongarse hasta finales del mismo año, en diciembre.

<i>Actividad</i>	FE B	MA R	ABR	MA Y	JUN	JUL	AG O	SEP	OCT	NO V	DIC
<i>Análisis</i>											
<i>Recolección de requerimientos</i>											

Análisis de requerimientos																				
Prueba de concepto de RA																				
Diseño																				
Diseño de la UI																				
Diseño de clases principales																				
Selección de paquetes de Unity																				
Definición de la estructura de archivos																				
Desarrollo																				
Funcionalidad de gestos táctiles																				
Optimización de modelos 3D																				
Funcionalidad RA																				
Implementación de BD SQLite																				



Nota: No se incluyó en el cronograma del proyecto la etapa de lanzamiento de la aplicación en las plataformas objetivo debido a que, por limitaciones ocasionadas por la contingencia sanitaria de 2020, no se pudieron concretar los detalles finales para la subida de la aplicación a las tiendas de aplicaciones de Android y iOS.

4.6 PROCESO DE DESARROLLO

Una vez sentadas las bases de trabajo y objetivos a cumplirse durante un cronograma de tiempo estimado, pudo comenzar el proceso de desarrollo del proyecto, siendo esta una etapa que involucró la realización de múltiples tareas de diferente naturaleza, complementándose las unas a las otras con el progreso de cada una.

4.6.1 Diseño

4.6.1.1 Diseño de la interfaz de usuario

El diseño de la interfaz de usuario (UI) de una aplicación es una de las etapas más importantes de desarrollo debido a que este conjunto de decisiones visuales terminará por determinar la forma en la que los usuarios interactúan con cada aspecto funcional de la aplicación. Una mala interfaz hará que la experiencia de uso sea confusa e imprecisa, pudiendo incluso causar tal molestia que el usuario prefiera dejar de utilizar la aplicación. Por su parte, una buena interfaz mantendrá a los usuarios enganchados, alentándolos a que sigan utilizando la aplicación.

La UI es el vínculo que existe entre la funcionalidad de la aplicación y el usuario, pues es la manera en la que esta toma decisiones y visualiza resultados en pantalla. Por tal motivo, resulta imprescindible que los resultados sean claros, esperados y consistentes.

Con lo anterior en mente, es necesario que se defina el *workflow* de la aplicación, es decir, la estructura principal de cada pantalla y el flujo que describe el comportamiento que permite moverse entre cada una de las pantallas disponibles al recibir interacciones del usuario. Para esto se usaron *mockups* sin ningún diseño aplicado.

4.6.1.1.1 Pantalla principal de la aplicación

Esta pantalla es la que da la bienvenida al usuario cuando este abre la aplicación desde la lista de aplicaciones de su dispositivo. Muestra 3 botones que dan acceso a las funciones principales de la aplicación: el visualizador RA, la colección completa de rocas y minerales disponibles, y el menú de administración de contenido descargado de la aplicación. Al seleccionarse el botón inferior izquierdo se muestran los créditos de la aplicación.

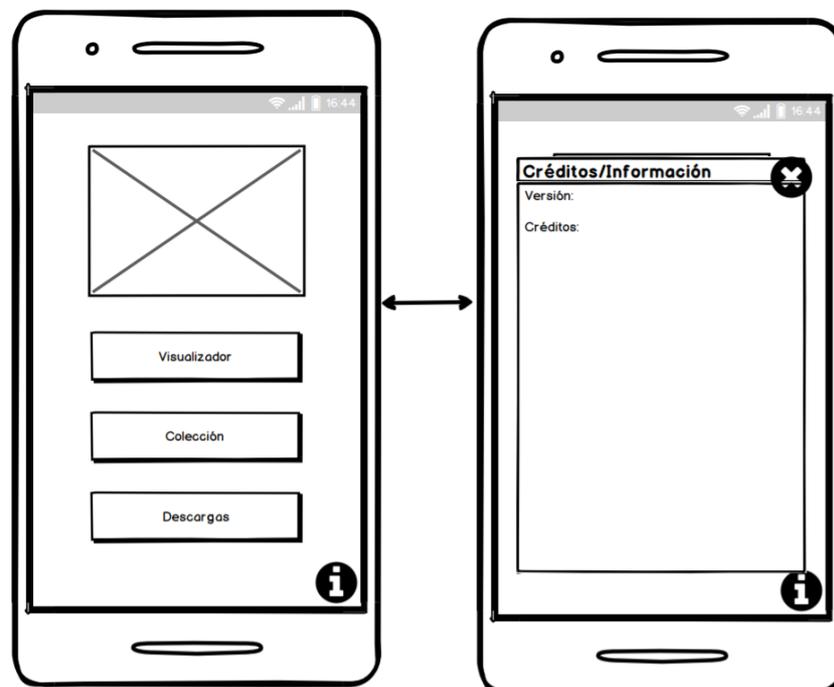


Figura 4-6. Mockup del flujo de la pantalla principal.



Figura 4-7. Diseño de la pantalla principal.

4.6.1.1.2 Visualizador RA

Esta opción da acceso directo a la funcionalidad de realidad aumentada, que permite al usuario apuntar la cámara de su dispositivo hacia un código QR que sirve de identificador del modelo a mostrar, así como de marcador de posición. Se muestra el modelo tridimensional en pantalla con un botón en la esquina inferior derecha que da acceso a la ficha informativa del modelo.

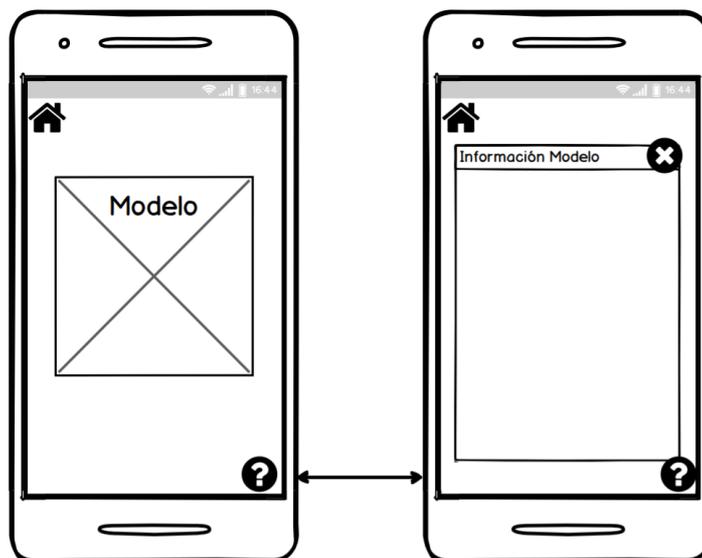


Figura 4-8. Mockup de la pantalla del visualizador.

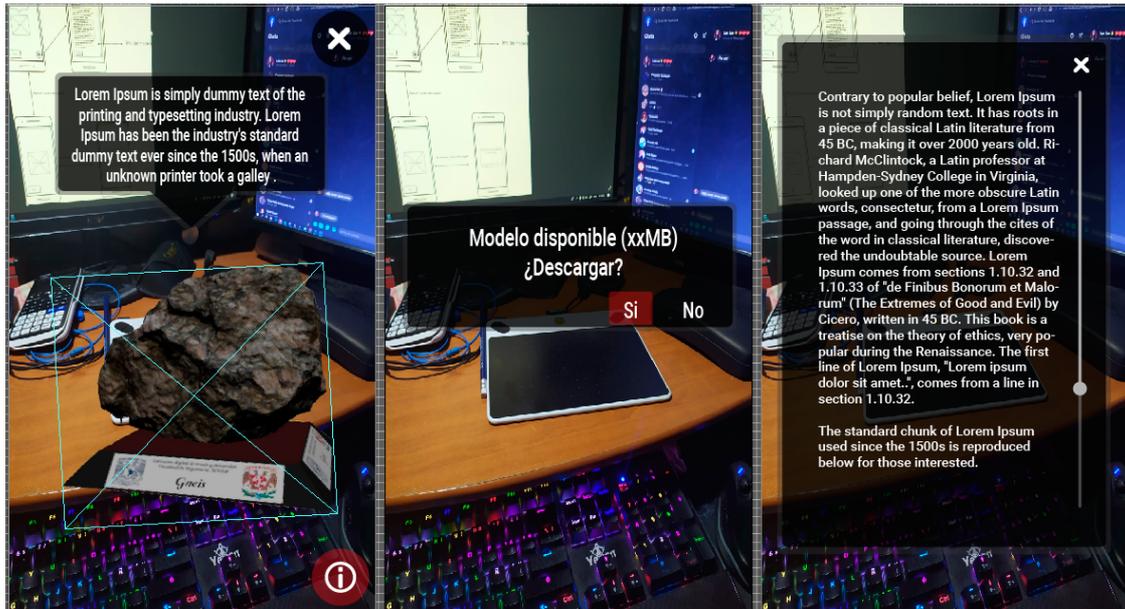


Figura 4-9. Diseño del visualizador RA.

4.6.1.1.3 Colección de rocas y minerales

Esta opción da acceso a un menú que organiza cada roca y mineral disponible en categorías, tanto aquellos que han sido descargados como los que no, para proveer de fácil selección al usuario del modelo que desea visualizar sin realidad aumentada. El visualizador sin realidad aumentada sigue la misma lógica de uso que el visualizador RA de la sección anterior.

Este menú divide inicialmente a los modelos en Rocas o Minerales, descritos en las secciones 3.2.5.11 y 3.2.5.12 de este trabajo. Al seleccionar alguna de estas clasificaciones, la colección se subdivide de nuevo en tipos, mostrados en forma de botón que, al seleccionarse, revelan a los elementos individuales de cada subdivisión junto a una imagen. Al seleccionarse un modelo, este se despliega en un visualizador sin RA.

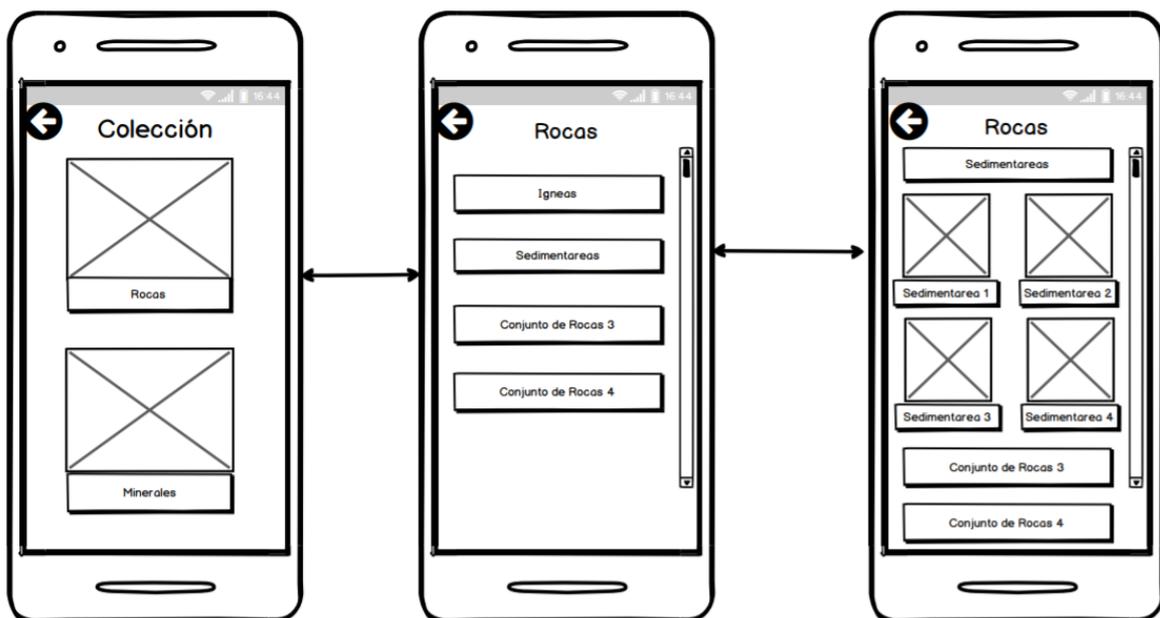


Figura 4-10. Mockup del menú de colección.

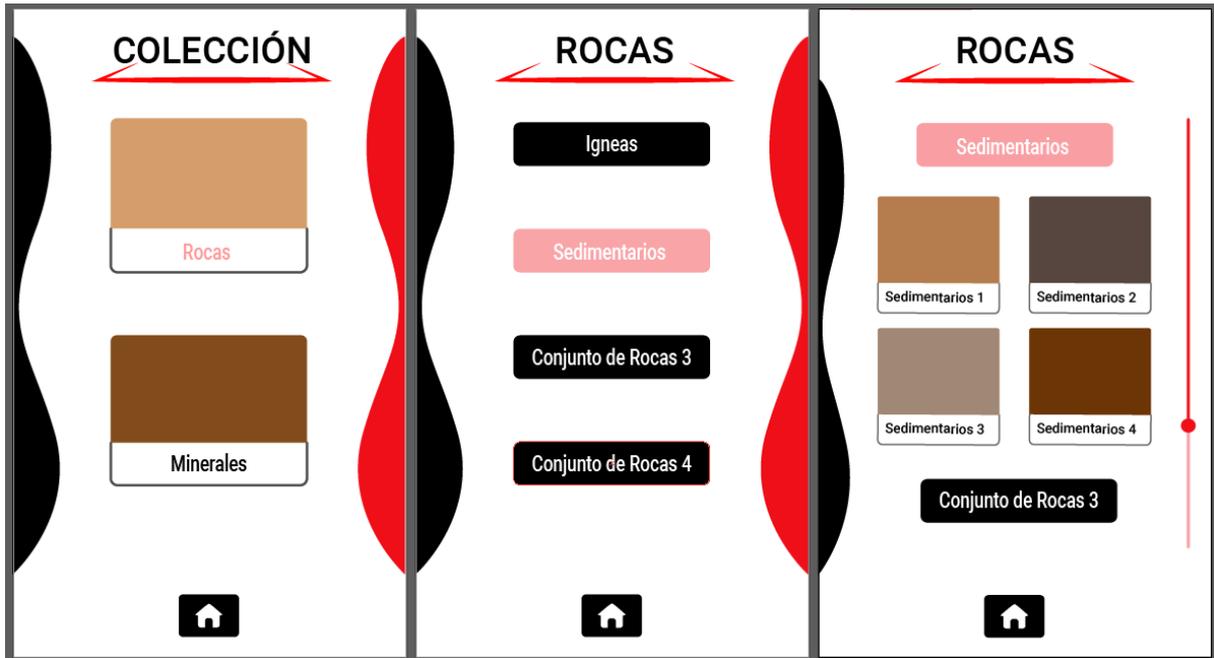


Figura 4-11. Diseño del menú de colección.

El visualizador sin RA que se abre al seleccionar alguno de los modelos es funcionalmente similar al que se muestra en RA, pero sin usar la cámara del dispositivo y mostrando un fondo blanco.



Figura 4-12. Diseño del visualizador sin RA.

4.6.1.1.4 Menú de administración de contenido disponible para descarga

Este menú le permite al usuario administrar el contenido disponible, permitiéndole eliminar y descargar, bajo demanda, cada modelo, según lo vaya necesitando. Esto le permite al usuario un control preciso del almacenamiento usado por la aplicación en su dispositivo.

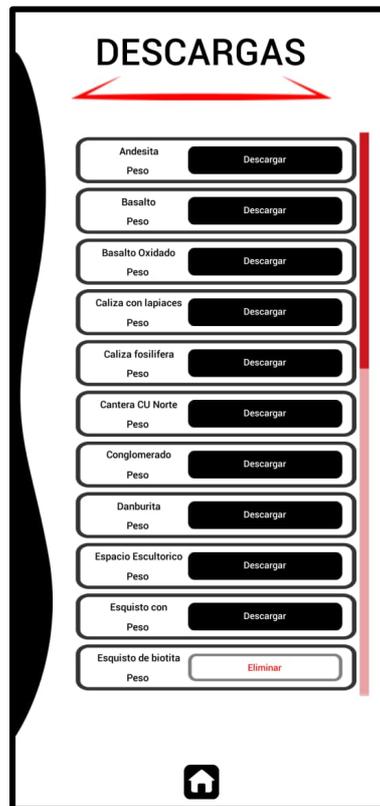


Figura 4-13. Diseño del menú de administración de contenido.

4.6.1.2 Selección de paquetes

Para algunas de las funcionalidades de la aplicación, se optó por recurrir a algunos paquetes de terceros para acelerar el proceso de implementación de características. La utilización de paquetes es importante en proyectos de esta naturaleza para evitar errores y concentrar esfuerzos de desarrollo en las características especiales de la aplicación.

A continuación, se listan los paquetes que se utilizaron y la funcionalidad que complementaron.

4.6.1.2.1 AR Foundation 4.0.2

Este paquete está disponible directamente desde el *Package Manager* de Unity, y proporciona acceso al framework de AR Foundation, permitiendo la implementación de funcionalidad de realidad aumentada en Unity, lista para ser compilada tanto para dispositivos con sistema operativo Android como iOS.

4.6.1.2.2 ARCore XR Plugin

Este paquete está disponible directamente desde el *Package Manager* de Unity, y proporciona acceso al SDK de ARCore, diseñado por Google para permitir la implementación de funcionalidad de realidad aumentada en aplicaciones para Android. Es indispensable para el funcionamiento de *AR Foundation*.

4.6.1.2.3 ARKit XR Plugin

Este paquete está disponible directamente desde el *Package Manager* de Unity, y proporciona acceso al SDK de ARCore, diseñado por Apple para permitir la implementación de funcionalidad de realidad aumentada en aplicaciones para iOS. Es indispensable para el funcionamiento de *AR Foundation*.

4.6.1.2.4 Lean Touch

Este paquete de Unity está disponible de manera gratuita desde la Unity Asset Store [95] y proporciona una solución para la administración de entradas táctiles sobre una pantalla, permitiendo la identificación precisa del número de dedos que se están utilizando, así como una interpretación de los gestos.

Se utilizó este paquete para detectar el comportamiento de los dedos sobre la pantalla táctil del dispositivo móvil y, con base en esto, se escribió el código encargado de guiar el funcionamiento de la aplicación para cada caso. Además, este paquete proporciona una solución de selección de objetos en pantalla, lo que permitió dirigir la lógica de comportamientos hacia cada elemento específico mostrado en pantalla en cada momento.

Las entradas táctiles son muy complejas debido a las características de pantallas táctiles modernas, que permiten la detección de múltiples dedos al mismo tiempo para la posterior interpretación de estos en forma de gestos, por lo que este paquete aceleró el proceso de desarrollo desde su etapa más temprana.



Figura 4-14. Logo de LeanTouch. [95]

4.6.1.2.5 SQLite

Este paquete de Unity está disponible de manera gratuita gracias a la comunidad de desarrolladores de Unity [96], que necesitan de una solución eficiente para la administración del contenido de su aplicación.

Las bases de datos relacionales son una de las herramientas más comunes y útiles en aplicaciones modernas. En el caso de sistemas operativos móviles, las bases de datos deben de estar optimizadas para la diferencia en poder computacional de los dispositivos móviles con

respecto a computadoras de escritorio, de otra manera, el rendimiento podría ser muy pobre y consumir mucha batería.

Para esta aplicación se eligió utilizar SQLite debido a su naturaleza embebida en la aplicación que, utilizando la sintaxis SQL, permitiría la administración de los modelos de rocas y minerales de la aplicación de una manera óptima, para el posterior despliegue de la información al usuario de una manera organizada.



Figura 4-15. Logo de SQLite. [97]

4.6.1.2.6 JSON.NET for Unity

El framework .NET proporcionado por Microsoft incluye herramientas que facilitan la serialización de archivos Json para facilitar la interpretación de la información contenida en estas, así como su guardado. El paquete *JSON.NET for Unity* busca traer estas herramientas al entorno de desarrollo de Unity, y se encuentra disponible de manera gratuita desde la Unity Asset Store [98].

Gracias a este paquete, se pudo aprovechar el poder de los archivos Json para la administración de información de configuración de la aplicación.



Figura 4-16. Logo de JSON.NET for Unity. [98]

4.6.2 Desarrollo

Esta sección describe el proceso de implementación de las características principales de la aplicación y, si bien no explica línea por línea el funcionamiento de cada archivo de código sí busca proporcionar una idea general de los aspectos clave de la aplicación.

4.6.2.1 Funcionalidad de gestos táctiles

Unity incorpora una clase en *UnityEngine.UI* diseñada para manejar objetos de tipo botón en cualquier proyecto que los necesite. Por este motivo, este tipo de objeto cuenta con un evento *onClick*, que se puede extender para añadir funcionalidad específica según sea necesario, aprovechando el *EventSystem* (sistema de eventos) de Unity mediante el *listener* permanente *AddListener*, disponible desde el mismo evento *onClick*, para indicar la función que se debe ejecutar cuando el botón sea presionado. Se presenta un ejemplo de la sintaxis:

```
Button btn = this.GetComponent<Button>(); // Se obtiene el
componente Button
btn.onClick.AddListener(TaskOnClick); // Se añade la función
al listener del evento onClick
```

Figura 4-17. Ejemplo de uso del evento *onClick* de un componente tipo *Button*.

El componente botón es lo suficientemente inteligente como para responder a su selección por algún dedo en pantalla, sin embargo, los teléfonos inteligentes proporcionan un nivel de flexibilidad mucho más amplio, pues las pantallas táctiles modernas son capaces de detectar el movimiento de múltiples dedos a la vez. Sin embargo, esto también aumenta la complejidad de la interpretación de los datos de entrada.

Considerando lo anterior, y tal y como se describió en la sección 4.6.1.2, se utilizó el paquete *Lean Touch* para facilitar el acceso a la información de interacción del usuario con la pantalla del dispositivo

El paquete *Lean Touch* requiere que uno de los *GameObjects* de la escena en dónde se vaya a aprovechar contenga el componente *Touch* proveído por el paquete mismo. Este componente es el encargado de convertir la información de entrada táctil en un formato fácil de utilizar. [99]

Lean Touch también aprovecha el sistema de eventos de Unity, definiendo una colección de estos que pueden ser utilizados por nuevas funciones específicas. Para esta aplicación, esta función está centrada en la manipulación de los modelos tridimensionales.

Los eventos aprovechados son los siguientes:

- *LeanTouch.OnFingerDown*: Este evento se activa cuando se detecta que un dedo comienza a tocar la pantalla, y se utilizó para mantener una referencia del valor inicial de rotación del modelo tridimensional.

```
// Reacción al evento OnFingerDown. Valor inicial de rotación del objeto.
private void HandleFingerDown(LeanFinger finger)
{
    startRotation = this.transform.rotation;
    Debug.Log("Se detecta Finger Down");
}
```

Figura 4-18. Ejemplo de handler para el evento *OnFingerDown*.

- *LeanTouch.OnFingerSet*: Este evento se activa cada *frame*, mientras un dedo se encuentre tocando la pantalla, por lo que se aprovechó para controlar la rotación del

modelo tridimensional cuando se usa un solo dedo, y para controlar la escala del modelo cuando se usan dos dedos.

- *LeanTouch.OnFingerUp*: Este evento se activa cuando se detecta que un dedo ha dejado de tocar la pantalla, y se utilizó para identificar el modelo tridimensional ha dejado de ser seleccionado.

```
private void HandleFingerUp(LeanFinger finger)
{
    leanSelectable.IsSelected = false;
}
```

Figura 4-19. Ejemplo de handler para el evento *OnFingerUp*.

Además de lo anterior, se aprovechó la funcionalidad de selección de objetos proveída por *Lean Touch* para identificar cuando el modelo mostrado en específico se mantiene seleccionado por algún dedo. Para esto se utiliza el componente *LeanSelectable*, añadiéndose al objeto del modelo.

La definición de los *handlers* para cada evento se realiza desde la etapa del ciclo de vida *OnEnable*:

```
void OnEnable()
{
    // OnFingerDown es un evento que se activa al detectarse que un dedo comienza a tocar la pantalla.
    LeanTouch.OnFingerDown += HandleFingerDown;
    // OnFingerSet es un evento que se activa cada frame, mientras un dedo esté tocando la pantalla
    LeanTouch.OnFingerSet += HandleFingerSetRotation;
    // OnFingerUp es un evento que se activa al detectarse que un dedo deja de tocar la pantalla.
    LeanTouch.OnFingerUp += HandleFingerUp;
    leanSelectable = this.gameObject.GetComponent<LeanSelectable>();
}
```

Figura 4-20. Ejemplo de definición de *handlers* para los eventos utilizados.

Por último, es necesario que los *handlers* sean removidos de los eventos cuando se alcanza la etapa del ciclo de vida *OnDisable*:

```
private void OnDisable()
{
    LeanTouch.OnFingerDown -= HandleFingerDown;
    LeanTouch.OnFingerSet -= HandleFingerSetRotation;
    LeanTouch.OnFingerUp -= HandleFingerUp;
}
```

Figura 4-21. Ejemplo de uso del ciclo de vida *OnDisable*.

4.6.2.2 Base de datos SQLite

Para la administración de los modelos de la aplicación, las operaciones proveídas por una base de datos son muy útiles, razón por la cual se utilizó SQLite. Este tipo de BD se caracteriza por su optimización para dispositivos móviles.

La utilización de SQLite con este proyecto involucró la utilización de la carpeta *Plugins* del proyecto en Unity, para agregar las bibliotecas y archivos necesarios para el funcionamiento de SQLite. [96]



Figura 4-22. Imagen del contenido de la carpeta de Plugins de la aplicación para SQLite.

Con los *plugins* en el proyecto, fue necesario una clase encargada de la configuración y administración de la base de datos, para lo que se utilizó *SqliteHelper.cs* [96], esencial debido a que es la encargada de realizar la conexión a la base de datos y, en caso de que no exista aún, de la creación de una nueva base de datos en la ubicación apropiada dependiendo del dispositivo en el que se esté utilizando la aplicación.

La clase anterior se utilizó para la creación y configuración de una base de datos enfocada al almacenamiento de información relevante para cada piedra y mineral de la aplicación. Esta información está definida por el siguiente modelo:

Materiales	Tipo
MATERIAL_ID	INTEGER PRIMARY KEY
MATERIAL_NAME	TEXT NOT NULL
MATERIAL_TYPE	TEXT NOT NULL
MATERIAL_CLASSIFICATION	TEXT NOT NULL
MATERIAL_ASSETBUNDLENAME	TEXT NOT NULL
MATERIAL_DOWNLOADED	BOOLEAN DEFAULT 0
MATERIAL_IMAGERECOG	TEXT

La definición de la tabla para los materiales se implementó en una clase llamada *MaterialDB*, que incluye una variedad de métodos para la obtención de información mediante consultas SQL a la base de datos, así como para la inserción de datos a la tabla.

```
1 reference
public MaterialDB(string db_connection_string) : base(db_connection_string)
{
    IDbCommand dbcmd = getDbCommand();
    dbcmd.CommandText = "CREATE TABLE IF NOT EXISTS " + TABLE_NAME + " ( " +
        KEY_MATERIAL_ID + " INTEGER PRIMARY KEY, " +
        KEY_MATERIAL_NAME + " TEXT NOT NULL, " +
        KEY_MATERIAL_TYPE + " TEXT NOT NULL, " +
        KEY_MATERIAL_CLASSIFICATION + " TEXT NOT NULL, " +
        KEY_MATERIAL_ASSETBUNDLENAME + " TEXT NOT NULL, " +
        KEY_MATERIAL_DOWNLOADED + " BOOLEAN DEFAULT 0, " +
        KEY_MATERIAL_IMAGERECOG + " TEXT )";
    dbcmd.ExecuteNonQuery();
}
```

Figura 4-23. Constructor de la clase *MaterialDB*, encargado de la creación de la tabla de materiales si es que no existe.

4.6.2.3 Optimización de modelos 3D

Los modelos de las rocas y piedras de la aplicación son proporcionados por el equipo de Fotogrametría, indicado en la sección 4.5.1, con base en los modelos reales de la colección de la Facultad de Ingeniería. Estos modelos son de alta calidad, sin embargo, para asegurar el correcto despliegue de estos en el hardware de un dispositivo de naturaleza móvil, es necesario optimizar cada uno, de tal manera que la complejidad de estos se reduzca, eliminando vértices innecesarios del modelo mediante un proceso de *decimado* que reduzca el número de vértices totales del modelo, facilitando su proceso de carga, así como el tamaño total de este, agilizando así su proceso de descarga y ocupando menos espacio de almacenamiento.

Cada modelo es proporcionado en formato .DAE, con un tamaño que depende de la complejidad natural de cada muestra real. En el caso de la Danburita, el tamaño original del modelo es de 135 MB, lo que puede no parecer un tamaño significativo para un entorno de escritorio, pero que puede resultar mucho más importante para un entorno móvil, con un espacio de almacenamiento mucho más limitado, especialmente considerando que múltiples modelos estarán disponibles desde la aplicación.

Para realizar el decimado de cada modelo, se utilizó Blender, que permite la importación de modelos y proporciona un modificador de *decimado* que utiliza un valor *Ratio* para determinar el número deseado de vértices y caras.

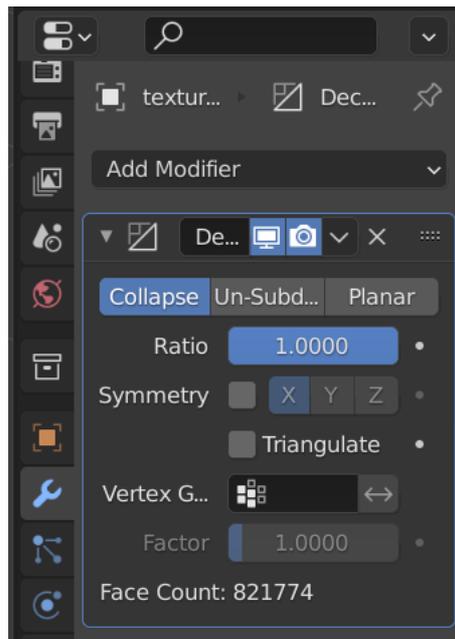


Figura 4-24. Imagen de la interfaz del modificador de decimado, en Blender.

Originalmente, un modelo como el de la Danburita tiene tantos vértices que en el modo de visualización *Viewport Shading*, en el que los vértices se colorean de color naranja, todo el modelo se torna de ese color.

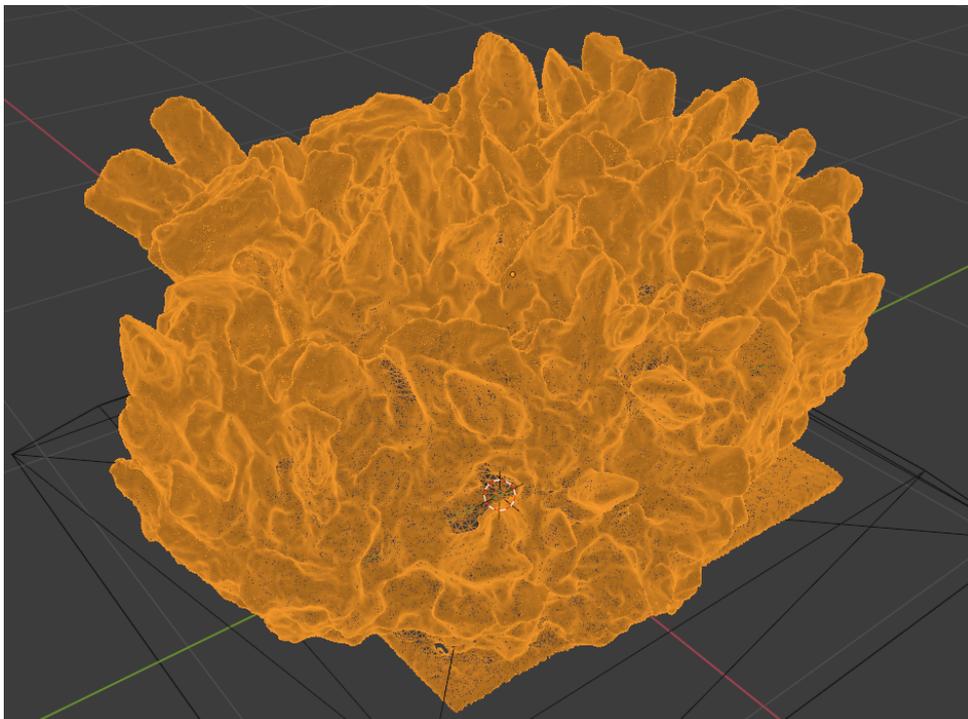


Figura 4-25. Vista del modelo de la Danburita con su complejidad original.

Ajustando el *Ratio* de decimado a sólo 0.02, en lugar del 1.0 original, se mantiene una buena cantidad de detalle del modelo, reduciendo enormemente la cantidad de recursos necesarios para renderizarlo en pantalla manteniendo un buen rendimiento.

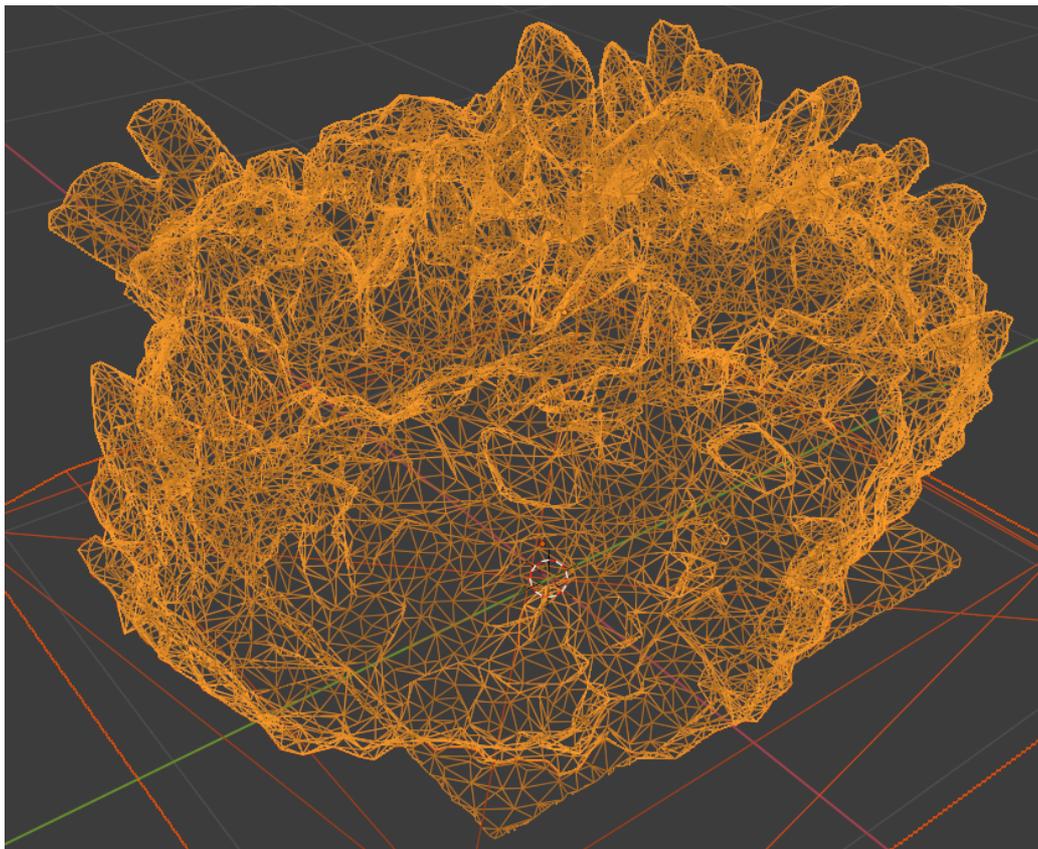


Figura 4-26. Vista del modelo de la Danburita con un ratio de decimado de 0.02.

4.6.2.4 Funcionalidad RA

Esta funcionalidad abarca el despliegue de modelos tridimensionales en el entorno, incorporando los gestos táctiles de manipulación mediante gestos, y aprovechando el framework proveído por el paquete *AR Foundation* para asegurar la compatibilidad del proyecto en dispositivos Android y iOS. Este paquete sirve de puente entre Unity y la funcionalidad nativa que manejan los SDKs *ARCore* y *ARKit*.

Para utilizar *AR Foundation*, la escena que requiere de la funcionalidad necesita incorporar dos elementos esenciales: los componentes *ARSession* y *ARSessionOrigin*.

El componente *ARSession* se encarga de administrar el ciclo de vida de la *sesión RA*, es decir, del conjunto de características que permiten el funcionamiento, obteniendo actualizaciones de manera constante para confirmar que la sesión sigue ejecutándose. [100]

El componente *ARSessionOrigin*, por su parte, se encarga de recibir actualizaciones para modificar la posición de los objetos renderizados, de tal manera que estos se mantengan alineados con el mundo real. De hecho, los objetos RA deben de colocarse como *hijos* de este componente para que se mantengan actualizados. [100]

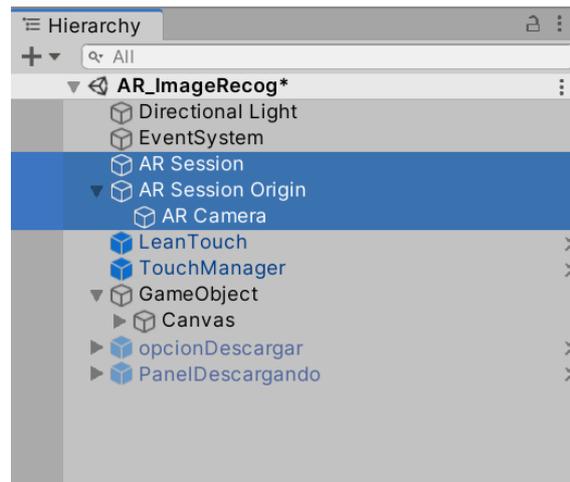


Figura 4-27. Imagen de los componentes ARSession y ARSessionOrigin dentro de la jerarquía de la escena en Unity.

De acuerdo con los requerimientos de la aplicación, la instanciación de los modelos de rocas y minerales debe de realizarse sobre marcadores de posición que, además, indiquen el modelo exacto que debe de mostrarse. Para esto, *AR Foundation* incluye el componente *AR Tracked Image Manager*, que permite identificar una biblioteca de imágenes que deben ser identificadas, así como el número máximo de imágenes que deben de ser identificadas al mismo tiempo. Este componente se debe incluir junto a *ARSessionOrigin*.

Una vez configurados estos componentes, se tiene acceso a toda la información necesaria para la realización del código encargado de la lógica de instanciación de modelos. En este caso, esta lógica incluye la identificación correcta de cada imagen de acuerdo con cada modelo de la colección y su posterior instanciación.

Este *instanciador* debe de ir en el mismo objeto que los componentes *ARSessionOrigin* y *AR Tracked Image Manager*.

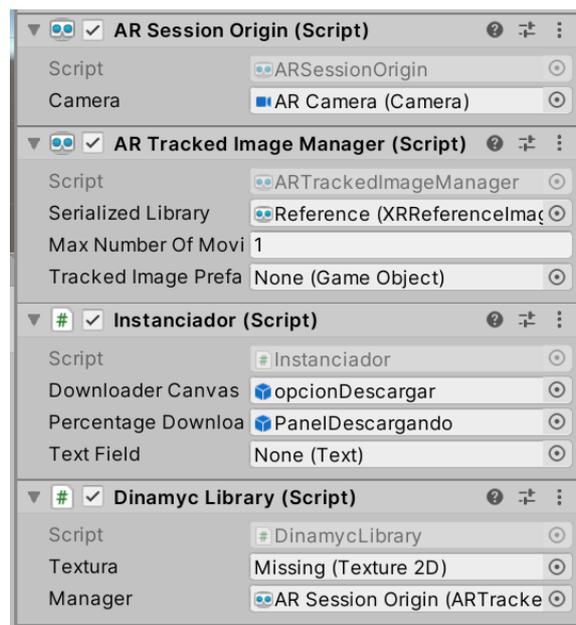


Figura 4-28. Ejemplo de uso de los componentes ARSessionOrigin y AR Tracked Image Manager junto al Instanciador, en Unity.

4.6.2.5 Visualizador

El visualizador de la aplicación se trata principalmente de la interfaz de usuario utilizada para la visualización de los modelos de rocas y minerales sin realidad aumentada, para la sección de *Colección* de la aplicación. Esta escena del proyecto hace uso de la funcionalidad de gestos táctiles para la manipulación de rotación y escala de modelos.

Para el visualizador, se identifican 3 botones con funcionalidades diferentes:

1. Botón de regreso: Encargado de controlar el regreso a la pantalla anterior. Utilizado cuando se desea salir del visualizador.
2. Botón de centrado: Encargado de reiniciar la rotación del modelo. Utilizado cuando se desean deshacer los cambios de posición aplicados al modelo.
3. Botón de menú principal: Encargado de controlar el regreso al menú principal de la aplicación.

El visualizador también incorpora una representación gráfica de una mano como elemento de ayuda que aparece durante los primeros segundos, para hacerle saber al usuario que puede interactuar con el modelo desplegado en pantalla.

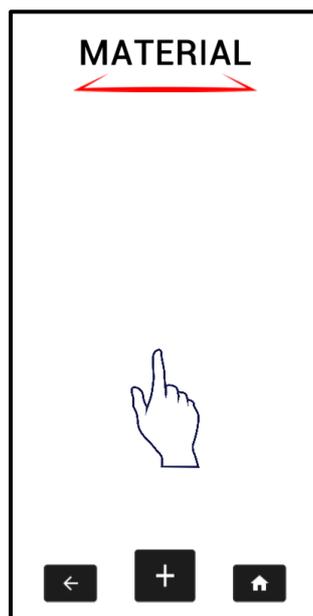


Figura 4-29. Imagen de la pantalla del visualizador de modelos de la aplicación.

El modelo desplegado por el visualizador depende de la selección que haya realizado el usuario en la pantalla anterior. Para esto, se desarrollaron dos clases para la administración del contenido y para su posterior instanciación: *CollectionUIManager* y *VisualizerManager*.

4.6.2.5.1 CollectionUIManager

Esta clase se añade como componente de un objeto de la jerarquía de la sección de *Colección* de la aplicación, instanciándose por primera vez cuando el usuario selecciona esta opción desde el menú de la pantalla principal. Esta clase es la encargada de mantener un registro del

tipo de material seleccionado, clasificación actual y material actualmente seleccionados, por lo que se utilizó el patrón de diseño *Singleton* para asegurar que una única instancia de la clase es utilizada.

Para utilizar el patrón *Singleton* en Unity, se utiliza la etapa *Awake* del ciclo de vida del objeto, ejecutado sólo una vez, durante el proceso de inicialización del objeto en cuestión, asignando el estatus de instancia única al primer objeto que hace uso de la clase y destruyendo cualquier otro que pueda instanciarse posteriormente.

```
// Singleton instance for this class:
3 references
private static CollectionUIManager instance;

0 references
void Awake()
{
    if (instance == null)
    {
        instance = this; // Make singleton
        DontDestroyOnLoad(gameObject);
    }
    else if (instance != this)
        Destroy(gameObject); // On reload, singleton already set, so destroy duplicate.
}
```

Figura 4-30. Ejemplo de uso del patrón Singleton en el proyecto.

Para la manipulación de la información de selección de modelo, la clase incorpora *Getters* y *Setters* a fin de mantener privadas las variables encargadas de guardar directamente esta información. Uno de los *Getters* más importantes es *getCurrentMaterial*, encargado de proveerle la información del modelo seleccionado al *VisualizerManager*.

```
5 references
public static string getCurrentMaterial()
{
    return currentMaterial;
}
```

Figura 4-31. Imagen del getter *getCurrentMaterial*.

4.6.2.5.2 VisualizerManager

Esta clase se utiliza específicamente para la escena del visualizador, colocándose también como componente de un objeto de la jerarquía de la escena en Unity, y es la encargada de utilizar la información obtenida de *getCurrentMaterial*, del *CollectionUIManager*, para instanciar el modelo correspondiente en pantalla.

Antes de intentar instanciar el modelo, se realiza una consulta a la base de datos de la aplicación para obtener el nombre del *AssetBundle* del modelo, para posteriormente buscarlo dentro del cache de la aplicación. Si no se encuentra el *AssetBundle*, se despliega un cuadro de diálogo para permitir al usuario descargar el modelo en ese momento.

```
MaterialDB materialDB = new MaterialDB();
string materialName = materialDB.getAssetBundleName(originalName);
materialDB.close();

// Lista de versiones descargadas
List<Hash128> versions = new List<Hash128>();
Caching.GetCachedVersions(materialName.ToLower(), versions);
```

Figura 4-32. Imagen de consulta a la base de datos y verificación de AssetBundle en el cache de la aplicación.

4.6.2.6 Interfaz de usuario

Con base en el diseño de la interfaz, mostrado en la sección 4.6.1.1 de este documento, se realizó la implementación de los menús de la aplicación en Unity. Se presentan a continuación los detalles de las pantallas de menús de la aplicación.

4.6.2.6.1 Menú principal

Esta pantalla es la primera que se le muestra al usuario cuando abre la aplicación desde la lista de aplicaciones de su dispositivo, motivo por el cual debe de proveer una interfaz clara y fácil de entender, para dar acceso inmediato a las funciones principales de la aplicación. Estas funciones son: acceso al visor de realidad aumentada, acceso al menú de colección de rocas y minerales, y acceso al menú de descargas para la administración del contenido. Además de esto, cuenta con un botón que permite ver los créditos de la aplicación.



Figura 4-33. Imagen del menú principal de la aplicación.

Para el control del flujo de la aplicación desde los botones de esta pantalla, se aprovechó la clase *SceneManager* proveída directamente por Unity para la carga de escenas en aplicaciones mediante el método *LoadScene*.

```
public void LoadMenu()  
{  
    SceneManager.LoadScene("MenuPrincipal");  
}
```

Figura 4-34. Ejemplo de uso del método *LoadScene*, con el nombre de la escena como argumento.

4.6.2.6.2 Colección

Este conjunto de pantallas proporciona una interfaz para la visualización de todo el contenido disponible de la aplicación, tanto aquel que ha sido descargado como el que no, ordenándolo por categorías y permitiendo filtrar sólo aquellos que ya han sido descargados.

4.6.2.6.2.1 Lista de tipos de materiales disponibles

Esta pantalla muestra todos los tipos de materiales contenidos dentro de la base de datos de la aplicación, realizando una consulta SQL para obtenerlos y posteriormente generar, de manera dinámica, botones para cada uno.



Figura 4-35. Imagen del menú de tipos de materiales.

La selección de botón es guardada en una instancia de la clase *CollectionUIManager*, que se mantiene como *Singleton* durante los menús de Colección para la generación correcta de menús y la identificación precisa de modelos.

```
public ArrayList getTypeList()
{
    IDbCommand dbcmd = getDbCommand();
    dbcmd.CommandText =
        "SELECT DISTINCT " + KEY_MATERIAL_TYPE + " FROM " + TABLE_NAME;
    IDataReader reader = dbcmd.ExecuteReader();
    ArrayList typeList = new ArrayList();
    while (reader.Read())
    {
        typeList.Add(reader[0].ToString());
    }
    return typeList;
}
```

Figura 4-36. Consulta realizada a la base de datos para la obtención de tipos de materiales.

4.6.2.6.2.2 Lista de materiales del tipo seleccionado

Este menú muestra los materiales disponibles del tipo seleccionado en la pantalla anterior, obtenidos mediante una consulta a la base de datos de la aplicación para la generación dinámica de los elementos.

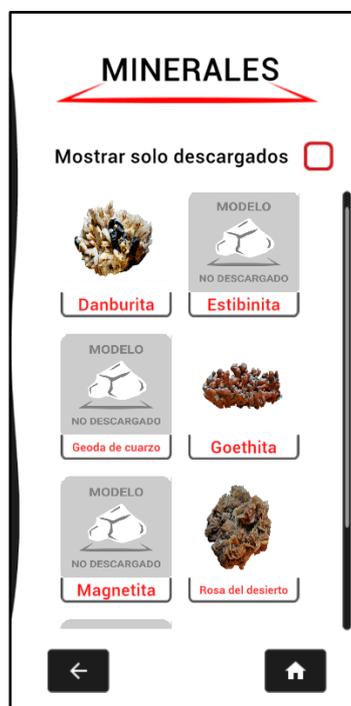


Figura 4-37. Imagen de la lista de materiales del tipo Minerales.

Este menú, además, es capaz de mostrar botones individuales con clasificaciones para el tipo de material *Rocas*.



Figura 4-38. Imagen de la lista de materiales del tipo Rocas, inicialmente mostrando sólo botones de sus clasificaciones.

Al seleccionarse uno de los botones, se almacena la clasificación en la instancia *Singleton* de la clase *CollectionUIManager* y se despliega la lista de los materiales correspondientes.



Figura 4-39. Imagen de la lista de materiales de tipo Rocas, de la clase Estructuras Sedimentarias.

Para la obtención de la lista de materiales se realiza una consulta SQL a la base de datos de la aplicación para la generación correcta de los elementos en pantalla.

```
public ArrayList getAllMaterialList(string type)
{
    IDbCommand dbcmd = getDbCommand();
    dbcmd.CommandText =
        "SELECT DISTINCT " + KEY_MATERIAL_NAME + " FROM " + TABLE_NAME +
        " WHERE " + KEY_MATERIAL_TYPE + " = '" + type + "'";
    IDataReader reader = dbcmd.ExecuteReader();
    ArrayList minerallist = new ArrayList();
    while (reader.Read())
    {
        minerallist.Add(reader[0].ToString());
    }
    return minerallist;
}
```

Figura 4-40. Imagen de la consulta de la lista de materiales en la BD.

El filtro “Mostrar solo descargados”, puede activarse y desactivarse en cualquier momento por el usuario, y una vez seleccionado se realiza una consulta diferente a la base de datos, para sólo obtener el contenido que ya se encuentra almacenado en la cache del dispositivo.

```
public ArrayList getAllDownloadedMaterialList(string type)
{
    IDbCommand dbcmd = getDbCommand();
    dbcmd.CommandText =
        "SELECT DISTINCT " + KEY_MATERIAL_NAME + " FROM " + TABLE_NAME +
        " WHERE " + KEY_MATERIAL_TYPE + " = '" + type + "' " +
        " AND " + KEY_MATERIAL_DOWNLOADED + " = 1 ";
    IDataReader reader = dbcmd.ExecuteReader();
    ArrayList minerallist = new ArrayList();
    while (reader.Read())
    {
        minerallist.Add(reader[0].ToString());
    }
    return minerallist;
}
```

Figura 4-41. Imagen de la consulta de la lista de materiales descargados en la BD.

4.6.2.6.3 Descargas

Este menú muestra una lista completa de todo el contenido disponible en la aplicación, permitiendo al usuario descargar y borrar cada elemento almacenado, lo que le otorga un mayor control sobre el espacio que la aplicación utiliza en su dispositivo.

Para mostrar la lista de modelos, se realiza una llamada directa al servidor de la aplicación encargado del almacenamiento de los modelos, descargando primero un *manifiesto* que indica el contenido disponible.

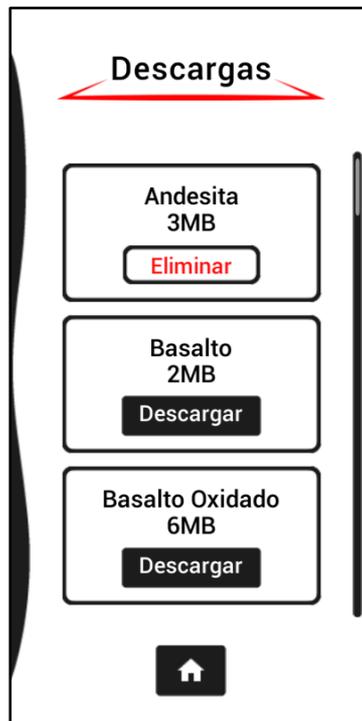


Figura 4-42. Imagen de la lista de contenido.

Para la realización de la consulta del *manifiesto* al servidor, se hace uso de una *coroutine* (corrutina), para asegurar que esta solicitud se realice de manera asíncrona y no se detenga la ejecución del resto de la aplicación.

```
yield return StartCoroutine(Downloader.GetAllSizes());  
yield return StartCoroutine(Downloader.DownloadManifest());
```

Figura 4-43. Imagen de la sintaxis utilizada para las solicitudes asíncronas al servidor.

4.6.3 Iteración en la aplicación

Cuando se hubo implementado la funcionalidad mínima de la aplicación, se liberó una versión *beta* para dispositivos Android de manera limitada. La intención de este ejercicio fue obtener retroalimentación sobre todo aspecto del proyecto, desde su diseño gráfico, hasta la funcionalidad específica de cada pantalla y el comportamiento de la aplicación.

Con base en los comentarios recibidos, se llevaron a cabo múltiples cambios que buscaban mejorar la experiencia de usuario, añadiendo funcionalidad a las pantallas y cambiando elementos de la interfaz para hacerla más intuitiva. A continuación, se presentan los cambios originados de esta iteración.

4.6.3.1 Menú principal

La pantalla del menú principal recibió cambios relacionados a el tipo y tamaño de fuente del texto, en un afán por mejorar la apariencia de esta, lo que resulta especialmente importante debido a que se trata de la primera impresión de la aplicación.

También se añadió texto en el inferior izquierdo de la pantalla para indicar el proyecto PAPIME del que proviene la aplicación.



Figura 4-44. Evolución de la pantalla principal de la aplicación.

4.6.3.2 Menú de colección

4.6.3.2.1 Menú de tipos de materiales

Este menú recibió ajustes para hacerla congruente con el menú principal, ajustando tipos y tamaños de fuente, así como implementando nuevos componentes visuales en forma de imágenes para identificar a los tipos de materiales de la colección, así como una barra de desplazamiento derecha para hacerle claro al usuario que puede ver más contenido si se desplaza con gestos táctiles.

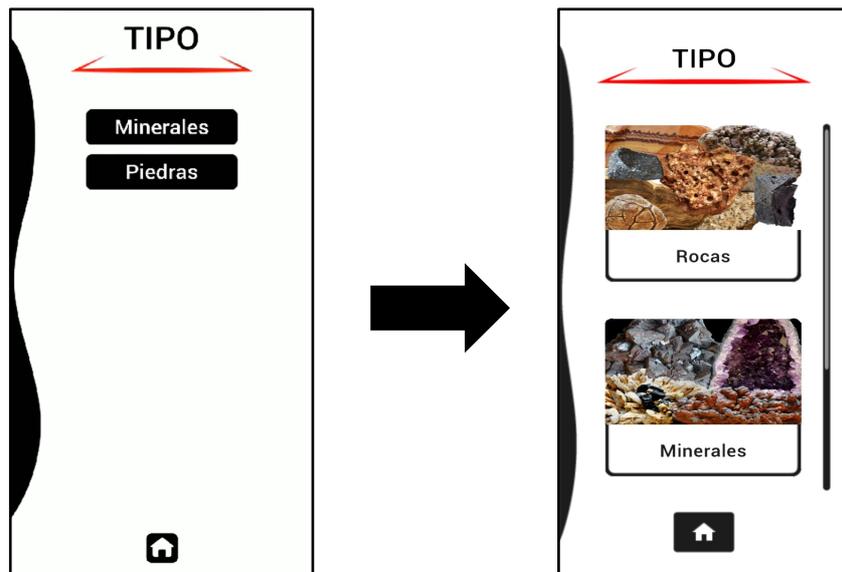


Figura 4-45. Evolución del menú de tipos de materiales de la Colección.

4.6.3.2.2 Menú de clases en un tipo de material

Originalmente esta pantalla mostraba sólo botones identificando las clases disponibles de un tipo de material. Al seleccionarse una clase, la aplicación llevaba al usuario a una nueva pantalla con la lista de materiales. Sin embargo, el flujo de la aplicación en este caso involucraba muchos cambios de pantalla, lo que hacía innecesariamente rebuscada la búsqueda de modelos. Por este motivo, se realizaron cambios que buscaban simplificar la lógica de estas interacciones, incorporando listas desplegables dentro de la misma pantalla de clases. Además, se incorporó un filtro para mostrar sólo contenido ya descargado.

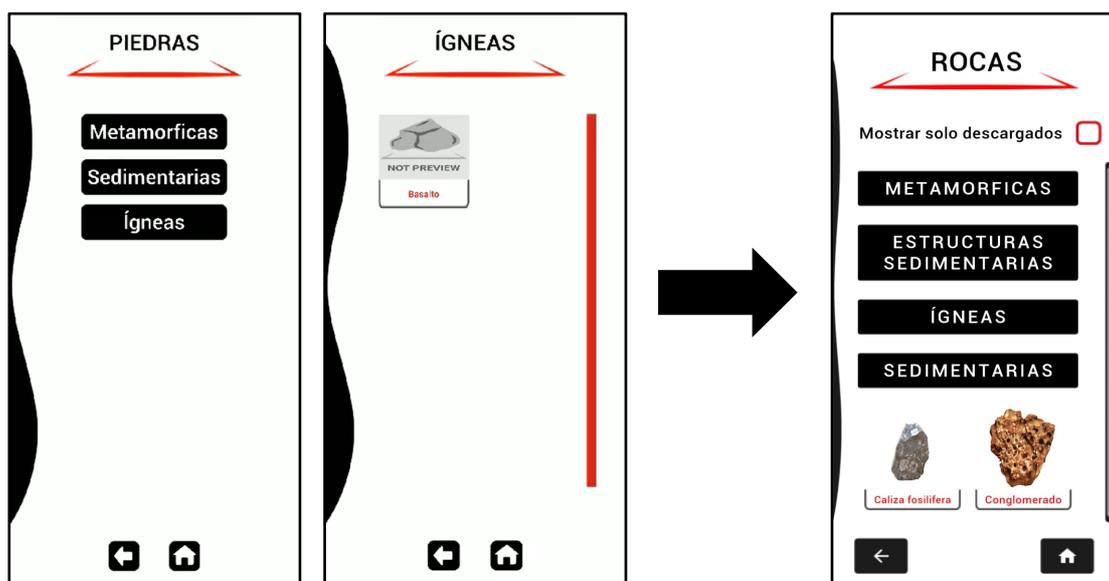


Figura 4-46. Evolución del menú de clases de tipo de material.

4.6.4 Visualizador de modelos

Esta pantalla de la aplicación recibió numerosos ajustes desde su implementación debido a su importancia como punto de acceso a una de las funcionalidades principales. Estos cambios involucraron el añadir un cuadro de texto con información importante encima del modelo que es ocultado cuando el usuario comienza a aumentar el tamaño del modelo mediante gestos. Además, se incluyó un nuevo botón de centrado, para reiniciar la posición del modelo, deshaciendo cualquier cambio realizado por el usuario.

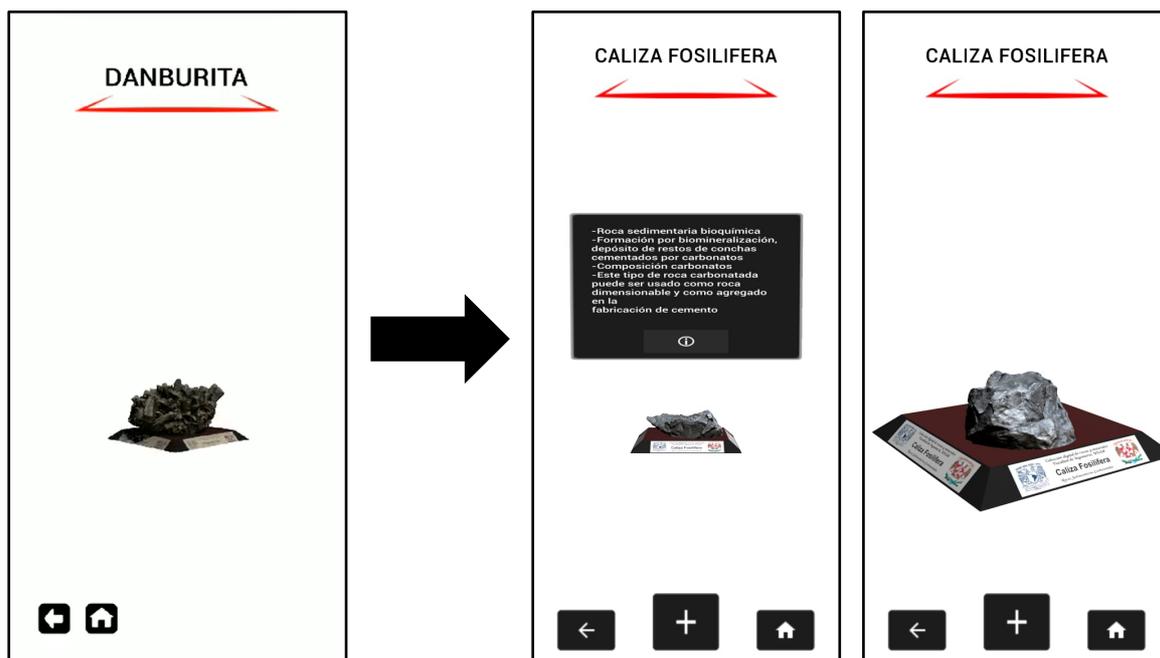


Figura 4-47. Evolución del visualizador de modelos.

4.6.5 Pantalla de descarga de contenido

El menú de administración de contenido recibió cambios importantes centrados en la funcionalidad de uso, por lo que se ajustó el tamaño de los elementos en pantalla y de los botones.

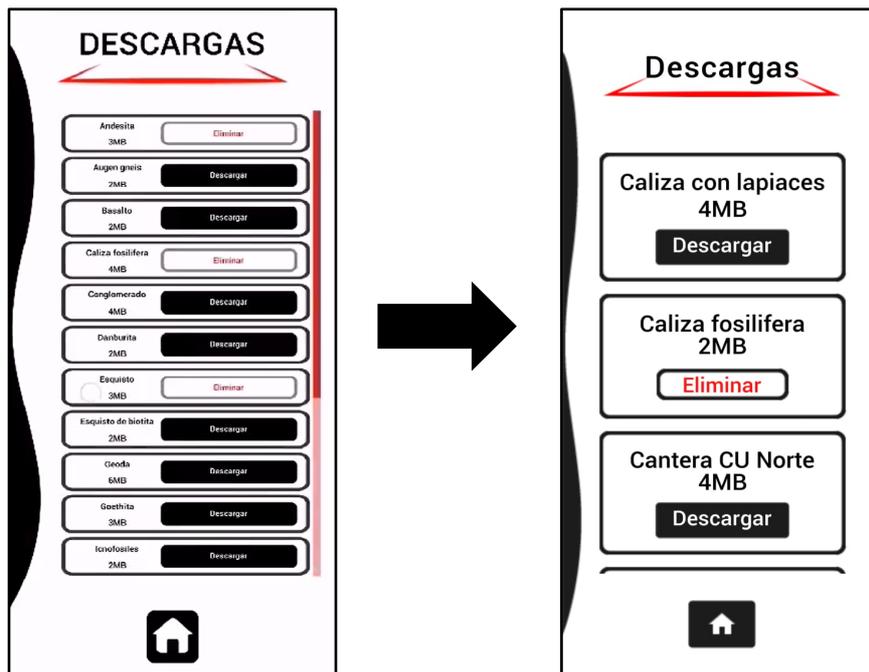


Figura 4-48. Evolución del menú de descarga de contenido.

4.6.6 Trabajo a futuro

La aplicación, en su estado actual, satisface los requerimientos establecidos al inicio del proyecto, sirviendo como una ventana de visualización de modelos tridimensionales en alta calidad de piedras y minerales, incluso utilizando realidad aumentada para hacer más inmersivo el proceso de estudio de materiales. En este sentido, la aplicación cuenta con los siguientes modelos de piedras y minerales listos para su descarga y visualización:

- | | |
|----------------------------|--------------------------------|
| 1. Danburita | 11. Skarn Granate |
| 2. Magnetita | 12. Milonita |
| 3. Goethita | 13. Esquisto Biotita |
| 4. Wulfenita | 14. Protomilonita |
| 5. Geoda de Cuarzo | 15. Rosa del desierto |
| 6. Basalto Oxidado | 16. Pliegues sin sedimentarios |
| 7. Andesita | 17. Septaria |
| 8. Corteza Basalto | 18. Conglomerado BCS |
| 9. Mármol | 19. Caliza con fósiles |
| 10. Filita con crenulación | 20. Bioturbación |

Esta lista de modelos deberá seguir siendo trabajada por el equipo de Fotogrametría, que deberá continuar con la toma de fotografías para la generación de modelos tridimensionales del resto de la colección de rocas y minerales de la Facultad de Ingeniería. Además del proceso de fotogrametría, será necesario compilar fichas técnicas cortas y detalladas, así como una imagen representativa, para cada uno.

Dada la complejidad inherente de una aplicación diseñada para dispositivos móviles, es inevitable que se detecten defectos con el tiempo, mientras más usuarios descarguen y hagan

uso de la aplicación en entornos y hardware diferentes. Por esta razón, el mantenimiento periódico será indispensable para corregir errores y asegurarse de que la aplicación siga funcionando de manera correcta.

Otro aspecto esencial del mantenimiento periódico será la realización de ajustes para garantizar la compatibilidad de la aplicación en nuevas versiones de los sistemas operativos Android y iOS. Esto es especialmente importante debido a que los ciclos de actualización de los sistemas operativos móviles actuales involucran el lanzamiento de una nueva versión cada año y, si bien generalmente la compatibilidad con aplicaciones de versiones inmediatamente anteriores está garantizada, con el tiempo esto podría cambiar.

5 CONCLUSIONES

El trabajo realizado en este proyecto ha representado un esfuerzo importante que implicó la aplicación de diversas áreas de conocimiento de la Ingeniería en Computación, tales como la administrativa, de programación, bases de datos y dispositivos móviles; incluyendo también habilidades potenciadas y desarrolladas por el trabajo realizado a lo largo del plan de estudios, como lo son la capacidad de investigación, resolución de problemas, trabajo en equipo y de aprendizaje de nuevas herramientas. Sin esto, completar este proyecto hubiera sido muy complicado.

La ambición del proyecto significó que tendría que ser un trabajo multidisciplinario, involucrando el trabajo de múltiples personas, cada una encargada de diferentes aspectos de la aplicación, pero con una intención y objetivo fijos: la aplicación. El proceso de desarrollo de software no solo implica la organización y el trabajo de un equipo homogéneo de programadores, sino la integración de trabajo producido para otras áreas muy importantes, como diseño gráfico y fotogrametría.

Con el continuo esfuerzo de integración de trabajo, implementación de características y realización de juntas de revisión de avances, el proyecto fue tomando forma de manera constante, desde una demostración inicial de realidad aumentada con Unity para dispositivos móviles, hasta llegar a su estado presente.

El proceso de desarrollo involucró una conjunción de conocimiento de diversos temas de Ingeniería, identificando y resolviendo problemas nuevos de manera constante, sin importar si estos se trataban de temas familiares, o no. En este sentido, el conocimiento que ya se contaba con la plataforma de Unity sin duda fue muy importante para el ritmo de avance del proyecto, pero tecnología como la realidad aumentada y el enfoque en dispositivos móviles significaron áreas nuevas de conocimiento, que se pudieron explorar gracias a un constante proceso de investigación y lectura de documentación.

Conocimiento en temas como bases de datos fue esencial para la administración del contenido incluso en un ambiente móvil, permitiendo aspectos tan esenciales como los filtros de contenido y la clasificación correcta de cada elemento.

En el aspecto de la programación, el paradigma orientado a objetos fue esencial, no sólo debido a que el lenguaje de programación utilizado, C#, esté creado para hacer uso de este, sino porque facilitó la organización de todas las características de la aplicación.

Con el desarrollo e implementación de funcionalidad de realidad aumentada fue posible apreciar de primera mano el mundo de posibilidades que la tecnología es capaz de abrir a aplicaciones ya existentes, potenciadas gracias al avance de la capacidad de procesamiento y hardware de sensores de tablets y teléfonos inteligentes.

La aplicación resultante de este esfuerzo, ARGeo, satisface los objetivos establecidos al inicio de este trabajo escrito, sirviendo como una puerta de acceso a la inmensa colección de muestras de piedras y minerales de la Facultad de Ingeniería, y si bien aún es necesario continuar el trabajo de elaboración de contenido, el sistema funciona y es lo suficientemente robusto como para seguir funcionando aún con estas adiciones, debido a que desde el principio fue diseñado con estas consideraciones.

El trabajo de desarrollo, organización, investigación y preparación de este trabajo escrito ha sido sumamente educativo y enriquecedor, pues todo proyecto de esta naturaleza, con un objetivo final de uso en un entorno real por muchos usuarios representa un compromiso enorme por guardar ciertos estándares mínimos de calidad, especialmente cuando el objetivo es educativo. El valor de la información proveída y una buena experiencia de uso son esenciales.

Sin duda, la aplicación será una gran herramienta para el estudio de la Geología, abriendo el acceso a información esencial de piedras y minerales no sólo a estudiantes de la Facultad de Ingeniería, sino a cualquier estudiante de habla hispana, con incluso menos acceso a muestras de materiales, gracias a su disponibilidad de manera gratuita por internet.

Todo el trabajo en la aplicación ha sido increíblemente satisfactorio debido al impacto que será capaz de generar en la educación de los futuros Ingenieros Geólogos del país, y que son actualmente y seguirán siendo esenciales para el proceso de modernización y desarrollo de México.

6 REFERENCIAS

- [1] A. Sánchez, «Estas son las razones por las que es más atractivo invertir en México que en China,» *El Financiero*, 28 Agosto 2020.
- [2] R. Saucedo Girón, «Las ciencias de la tierra en México,» *Universitarios Potosinos*, vol. 7, nº UASLP, pp. 6-11, Noviembre 2006.
- [3] R. Ruggiero, «Sentido y límites de la "industria" minera en la América española, del siglo XVI al siglo XVIII,» *Contribuciones desde Coatepec*, vol. 11, nº Universidad Autónoma del Estado de México, pp. 159-174, 2006.
- [4] E. González Torres, «Bosquejo sobre la evolución de la Geología en México (1904-2004),» *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 57, nº 2, pp. 123-136, 2004.
- [5] UNAM, «Ingeniería Geológica,» Oferta Académica Licenciatura - UNAM, 8 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <http://www.ofertaacademica.unam.mx/carreras/17/ingeniera-geologica>. [Último acceso: 8 Noviembre 2021].
- [6] L. Morelos Rodríguez, «Origen e Historia,» Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://www.geologia.unam.mx/contenido/historia-instituto-de-geologia>. [Último acceso: 9 Septiembre 2021].
- [7] DGAE UNAM, «Población Escolar por Carrera,» 2018. [En línea]. Available: http://www.estadistica.unam.mx/reportesinstitucionales/reporte_pobxcarrera.php. [Último acceso: 11 Septiembre 2021].
- [8] UNAM, «Ingeniería Geológica,» 2021. [En línea]. Available: <http://oferta.unam.mx/ingenieria-geologica.html>. [Último acceso: 11 Septiembre 2021].
- [9] R. Álvarez G, «Motorola DynaTAC 8000x en México... bienvenidos a 1984,» 21 Septiembre 2014. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com.mx/celulares-y-smartphones/motorola-dynatac-8000x-bienvenidos-a-1984>. [Último acceso: 13 Septiembre 2021].
- [10] C. Zahumenszky, «Teléfonos con Historia I: Motorola Startac,» 14 Febrero 2012. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/moviles/telefonos-con-historia-i-motorola-startac>. [Último acceso: 13 Septiembre 2021].
- [11] Statista, «Unit sales of the Apple iPhone worldwide from 2007 to 2018,» Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.statista.com/statistics/276306/global-apple-iphone-sales-since-fiscal-year-2007/>. [Último acceso: 13 Septiembre 2021].

- [12] T. Editors of Encyclopaedia Britannica, «Android,» 27 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/Android-operating-system>. [Último acceso: 14 Septiembre 2021].
- [13] J. Stryjak y P. Castells, Country overview: Mexico Mobile driving growth, innovation and opportunity, GSM Association, 2016.
- [14] INEGI, «EN MÉXICO HAY 84.1 MILLONES DE USUARIOS DE INTERNET Y 88.2 MILLONES DE USUARIOS DE TELÉFONOS CELULARES: ENDUTIH 2020,» *COMUNICADO DE PRENSA NÚM. 352*, vol. 21, p. 20, 22 Junio 2021.
- [15] DGAE UNAM, «Bienes y servicios teléfono celular,» 2020. [En línea]. Available: http://www.estadistica.unam.mx/perfiles/elige_analisis.php. [Último acceso: 14 Septiembre 2021].
- [16] Statcounter, «Mobile Operating System Market Share Mexico Aug 2020 - Aug 2021,» Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/mexico>. [Último acceso: 14 Septiembre 2021].
- [17] C. Arth, L. Gruber, R. Grasset, T. Langlotz, A. Mulloni, D. Schmalstieg y D. Wagner, Computer Graphics & Vision: The History of Mobile Augmented Reality, Inst. for Computer Graphics and Vision Graz University of Technology, Austria, 2015, pp. 2-24.
- [18] A. Robertson, «Breaking down Apple's new augmented reality platform,» 6 Junio 2017. [En línea]. Available: <https://www.theverge.com/2017/6/6/15742736/apple-arkit-augmented-reality-platform-wwdc-breakdown>. [Último acceso: 17 Septiembre 2021].
- [19] D. Pierce, «Google Joins the Augmented Reality Party with ARCore,» 29 Agosto 2017. [En línea]. Available: <https://www.wired.com/story/google-joins-the-augmented-reality-party-with-arcore/>. [Último acceso: 17 Septiembre 2021].
- [20] OpenClassrooms, «OpenClassrooms,» OpenClassrooms, 3 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://openclassrooms.com/en/courses/4554306-master-the-building-blocks-of-an-app-code-architecture-ui-elements-animations-and-interactions/4786756-understand-gestures-on-a-touch-screen>. [Último acceso: 22 Septiembre 2021].
- [21] A. Javornik, «The Mainstreaming of Augmented Reality: A Brief History,» Harvard Business Review, 4 Octubre 2016. [En línea]. Available: <https://hbr.org/2016/10/the-mainstreaming-of-augmented-reality-a-brief-history>. [Último acceso: 24 Septiembre 2021].
- [22] A. Javornik, «What Marketers Need to Understand About Augmented Reality,» Harvard Business Review, 18 Abril 2016. [En línea]. Available: <https://hbr.org/2016/04/what->

- marketers-need-to-understand-about-augmented-reality. [Último acceso: 24 Septiembre 2021].
- [23] V. Savov, «Microsoft announces Windows Holographic with HoloLens headset,» The Verge, 21 Enero 2015. [En línea]. Available: <https://www.theverge.com/2015/1/21/7867593/microsoft-announces-windows-holographic>. [Último acceso: 25 Septiembre 2021].
- [24] D. Bohn, «MICROSOFT'S HOLOLENS 2: A \$3,500 MIXED REALITY HEADSET FOR THE FACTORY, NOT THE LIVING ROOM,» The Verge, 19 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.theverge.com/2019/2/24/18235460/microsoft-hololens-2-price-specs-mixed-reality-ar-vr-business-work-features-mwc-2019>. [Último acceso: 25 Septiembre 2021].
- [25] Microsoft, «Hololens 2,» Microsoft, 2021. [En línea]. Available: <https://www.microsoft.com/es-es/d/hololens-2/91pnzzznzwcq?activetab=pivot%3aoverviewtab>. [Último acceso: 25 Septiembre 2021].
- [26] N. Wingfield y M. Isaac, «Pokémon Go Brings Augmented Reality to a Mass Audience,» 11 Julio 2016. [En línea]. Available: <https://www.nytimes.com/2016/07/12/technology/pokemon-go-brings-augmented-reality-to-a-mass-audience.html>. [Último acceso: 24 Septiembre 2021].
- [27] Niantic, «Atrapar Pokémon en modo RA+,» Niantic, 2021. [En línea]. Available: <https://niantic.helpshift.com/a/pokemon-go/?s=accessories&f=catching-pokemon-in-ar-mode&l=es&p=web>. [Último acceso: 25 Septiembre 2021].
- [28] DGTIC - UNAM, «Misión,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.tic.unam.mx/>. [Último acceso: 22 Septiembre 2021].
- [29] DGTIC - UNAM, «Departamento de Visualización y Realidad Virtual,» 2017. [En línea]. Available: <https://ixtli.unam.mx/>. [Último acceso: 22 Septiembre 2021].
- [30] DVRV, «Nebulosas,» 7 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=mx.unam.dgtic.dvr.v.nebulosas>. [Último acceso: 22 Septiembre 2021].
- [31] DVRV, «Uncurated,» 2017. [En línea]. Available: <https://ixtli.unam.mx/portafolio/uncurated/>. [Último acceso: 23 Septiembre 2021].
- [32] DVRV, «Interactivos para Museo de las Constituciones,» 2017. [En línea]. Available: <https://ixtli.unam.mx/portafolio/mconstituciones/>. [Último acceso: 23 Septiembre 2021].

- [33] DVRV, «Galería Instituto de Biología,» 16 Junio 2015. [En línea]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.unam.vrv.ib85>. [Último acceso: 23 Septiembre 2021].
- [34] DVRV, «Abejas mayas,» 27 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=mx.unam.dgtic.dvrv.abejasmayas>. [Último acceso: 23 Septiembre 2021].
- [35] T. E. o. E. Britannica, «Moore's law,» Encyclopedia Britannica, 26 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/Moores-law>. [Último acceso: 27 Septiembre 2021].
- [36] Science Museum Group, «The Invention of Mobile Phones,» Science Museum Group, 12 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.sciencemuseum.org.uk/objects-and-stories/invention-mobile-phones>. [Último acceso: 28 Septiembre 2021].
- [37] W. L. Hosch, «Smartphone,» Encyclopedia Britannica, 11 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/smartphone>. [Último acceso: 28 Septiembre 2021].
- [38] The History of Computing, «Simon Personal Communicator – Complete History of the Computer by IBS,» 15 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://history-computer.com/products/simon-personal-communicator-complete-history-of-the-computer-by-ibs/>. [Último acceso: 28 Septiembre 2021].
- [39] T. C. Nguyen, «The Brief History of Smartphones,» ThoughtCo, 30 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.thoughtco.com/history-of-smartphones-4096585>. [Último acceso: 28 Septiembre 2021].
- [40] Blackberry, «The New BlackBerry 5810 Wireless Handheld,» Blackberry, 2001. [En línea]. Available: <http://www.blackberry.com/news/connection/200201.shtml>. [Último acceso: 28 Septiembre 2021].
- [41] JLuo, «The Rise and Fall (and Rise Again?) of BlackBerry,» 1 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://digital.hbs.edu/platform-digit/submission/the-rise-and-fall-and-rise-again-of-blackberry/>. [Último acceso: 28 Septiembre 2021].
- [42] T. E. o. E. Britannica, «iPhone,» Encyclopedia Britannica, 18 Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/iPhone>. [Último acceso: 28 Septiembre 2021].
- [43] T. E. o. E. Britannica, «Android,» Encyclopedia Britannica, 27 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/Android-operating-system>. [Último acceso: 29 Septiembre 2021].

- [44] Statcounter, «Mobile Vendor Market Share Worldwide,» Statcounter - GlobalStats, Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://gs.statcounter.com/vendor-market-share/mobile>. [Último acceso: 30 Septiembre 2021].
- [45] Statista, «Number of smartphone users from 2016 to 2021,» Statista, Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>. [Último acceso: 1 Octubre 2021].
- [46] C. Steele, «History of the Tablet,» PC Mag, 7 Agosto 2011. [En línea]. Available: <https://www.pcmag.com/news/history-of-the-tablet>. [Último acceso: 29 Septiembre 2021].
- [47] A. Kay, «A personal computer for children of all ages,» 1972. [En línea]. Available: <https://www.pcmag.com/news/history-of-the-tablet>. [Último acceso: 29 Septiembre 2021].
- [48] «Linus Write-Top,» Centre for Computing History, 2020. [En línea]. Available: <http://www.computinghistory.org.uk/det/28028/Linus-Write-Top/>. [Último acceso: 29 Septiembre 2021].
- [49] J. M. Norman, «The AT&T EO Personal Communicator, the First Tablet Computer with Wireless Connectivity,» 28 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.historyofinformation.com/detail.php?entryid=2902>. [Último acceso: 29 Septiembre 2021].
- [50] Old Computers, «AT&T EO 440 Personal Communicator,» 8 Octubre 2017. [En línea]. Available: <https://oldcomputers.net/eo-440.html>. [Último acceso: 29 Septiembre 2021].
- [51] M. Honan, «Remembering the Apple Newton's Prophetic Failure and Lasting Impact,» Wired, 5 Agosto 2013. [En línea]. Available: <https://www.wired.com/2013/08/remembering-the-apple-newtons-prophetic-failure-and-lasting-ideals/>. [Último acceso: 29 Septiembre 2021].
- [52] M. Wood, «Microsoft Windows XP Tablet PC Edition review,» cnet, 6 Noviembre 2002. [En línea]. Available: <https://www.cnet.com/reviews/microsoft-windows-xp-tablet-pc-edition-review/>. [Último acceso: 29 Septiembre 2021].
- [53] Microsoft News Center LATAM, «Conoce Windows 8: Tips para buscar, compartir y cambiar tu configuración,» Microsoft, 29 Octubre 2012. [En línea]. Available: <https://blogs.windows.com/latam/2012/10/29/conoce-windows-8-tips-para-buscar-compartir-y-cambiar-tu-configuracin/>. [Último acceso: 30 Septiembre 2021].

- [54] C. Foresman, «Apple announces the iPad,» ArsTechnica, 27 Enero 2010. [En línea]. Available: <https://arstechnica.com/gadgets/2010/01/apple-announces-ipad-attempts-to-change-the-world/>. [Último acceso: 30 Septiembre 2021].
- [55] D. Nations, «How Many iPads Have Been Sold?,» Lifewire, 3 Marzo 2021. [En línea]. Available: <https://www.lifewire.com/how-many-ipads-sold-1994296>. [Último acceso: 30 Septiembre 2021].
- [56] Statcounter , «Tablet Vendor Market Share Worldwide,» Statcounter - GlobalStats, Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://gs.statcounter.com/vendor-market-share/tablet/worldwide>. [Último acceso: 30 Septiembre 2021].
- [57] D. Hemmendinger, «Operating System,» Encyclopedia Britannica, 14 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/technology/operating-system>. [Último acceso: 1 Octubre 2021].
- [58] Centre for Computing History, «Epson HX-20,» Centre for Computing History, 2020. [En línea]. Available: <http://www.computinghistory.org.uk/det/501/Epson-HX-20/>. [Último acceso: 1 Octubre 2021].
- [59] J. Callaham, «The history of Android: The evolution of the biggest mobile OS in the world,» Android Authority, 1 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.androidauthority.com/history-android-os-name-789433/>. [Último acceso: 3 Octubre 2021].
- [60] Google, «Brand Guidelines,» Android Source, 1 Septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://source.android.com/setup/start/brands>. [Último acceso: 5 Octubre 2021].
- [61] F. Vogelstein, «The Day Google Had to 'Start Over' on Android,» The Atlantic, 18 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.theatlantic.com/technology/archive/2013/12/the-day-google-had-to-start-over-on-android/282479/>. [Último acceso: 5 Octubre 2021].
- [62] Red Hat, «What is the Linux kernel?,» 27 Febrero 2019. [En línea]. Available: <https://www.redhat.com/en/topics/linux/what-is-the-linux-kernel>. [Último acceso: 5 Octubre 2021].
- [63] S. Budig, «Pinguine,» 29 Octubre 2003. [En línea]. Available: <http://www.home.unix-ag.org/simon/penguin/>. [Último acceso: 5 Octubre 2021].
- [64] J. Callaham, «The history of Android: The evolution of the biggest mobile OS in the world,» Android Authority, 1 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.androidauthority.com/history-android-os-name-789433/>. [Último acceso: 5 Octubre 2021].

- [65] The Verge, «iOS: A visual history,» The Verge, 16 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.theverge.com/2011/12/13/2612736/ios-history-iphone-ipad>. [Último acceso: 5 Octubre 2021].
- [66] R. Janoff, «Wikimedia Commons,» 2006. [En línea]. Available: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Apple_logo_black.svg. [Último acceso: 5 Octubre 2021].
- [67] P. Skidmore, «Why Unity is so Popular with 3D Rendering Companies & CAD Firms,» cad crowd, 20 Febrero 2020. [En línea]. Available: <https://www.cadcrowd.com/blog/why-unity-is-so-popular-with-3d-rendering-companies/>. [Último acceso: 6 Octubre 2021].
- [68] R. Dillet, «Unity CEO says half of all games are built on Unity,» TechCrunch, 5 Septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://techcrunch.com/2018/09/05/unity-ceo-says-half-of-all-games-are-built-on-unity/>. [Último acceso: 6 Octubre 2021].
- [69] K. Dupzyk, «I Saw the Future Through Microsoft's Hololens,» Popular Mechanics, 6 Septiembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.popularmechanics.com/technology/a22384/hololens-ar-breakthrough-awards/>. [Último acceso: 6 Octubre 2021].
- [70] Business Insider International, «What is augmented reality? Here's what you need to know about the 3D technology,» Business Insider, 4 Diciembre 2020. [En línea]. Available: <https://businessinsider.mx/what-is-augmented-reality-heres-what-you-need-to-know-about-the-3d-technology/?r=US&IR=T>. [Último acceso: 6 Octubre 2021].
- [71] Google Developers, «Choose your development environment,» Google, 19 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://developers.google.com/ar/develop>. [Último acceso: 10 Octubre 2021].
- [72] Google AR & VR, «About ARCore,» Google, 2021. [En línea]. Available: <https://arvr.google.com/arcore/>. [Último acceso: 10 Octubre 2021].
- [73] Google Developers, «Fundamental concepts,» Google, 7 Septiembre 2021. [En línea]. Available: https://developers.google.com/ar/develop/fundamentals#motion_tracking. [Último acceso: 10 Octubre 2021].
- [74] Apple Developer, «Dive into the world of augmented reality,» Apple, 2021. [En línea]. Available: <https://developer.apple.com/augmented-reality/>. [Último acceso: 10 Octubre 2021].
- [75] M. Miesnieks, «Why is ARKit better than the alternatives?,» 31 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://medium.com/6d-ai/why-is-arkit-better-than-the-alternatives-af8871889d6a>. [Último acceso: 10 Octubre 2021].

- [76] Apple Developer, «Augmented Reality Tools,» Apple, 2021. [En línea]. Available: <https://developer.apple.com/augmented-reality/tools/>. [Último acceso: 10 Octubre 2021].
- [77] Unity Technologies, «AR Foundation,» Unity, 2021. [En línea]. Available: <https://unity.com/unity/features/arfoundation>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].
- [78] Unity Technologies, «About AR Foundation,» 10 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.arfoundation@4.1/manual/index.html>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].
- [79] Servicio Geológico Mexicano, «¿Qué es la Geología?,» Servicio Geológico Mexicano, 2021. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/157537/Que-es-la-Geologia.pdf>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].
- [80] B. F. Windley y J. W. Harbaugh, «Geology,» Encyclopedia Britannica, 29 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/science/geology>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].
- [81] T. E. o. E. Britannica, «Mineralogy,» Encyclopedia Britannica, 8 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/science/mineralogy>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].
- [82] T. E. o. E. Britannica, «Geodesy,» Encyclopedia Britannica, 25 Octubre 2013. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/science/geodesy-science>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].
- [83] T. E. o. E. Britannica, «Stratigraphy,» Encyclopedia Britannica, 19 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/science/stratigraphy-geology>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].
- [84] T. E. o. E. Britannica, «Petrology,» Encyclopedia Britannica, 11 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/science/petrology>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].
- [85] T. E. o. E. Britannica, «Optical crystallography,» Encyclopedia Britannica, 29 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/science/optical-crystallography#ref137551>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].
- [86] T. E. o. E. Britannica, «Paleontology,» Encyclopedia Britannica, 11 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.britannica.com/science/paleontology>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].

- [87] Servicio Geológico Mexicano, «Geología física,» Servicio Geológico Mexicano, 20 Julio 2020. [En línea]. Available: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Planeta/Geologia-Fisica.html>. [Último acceso: 11 Octubre 2021].
- [88] National Park Service, «Rocks,» 23 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.nps.gov/subjects/geology/rocks.htm>. [Último acceso: 12 Octubre 2021].
- [89] British Geological Survey, «Rocks and minerals,» British Geological Survey, 2021. [En línea]. Available: <https://www.bgs.ac.uk/discovering-geology/rocks-and-minerals/>. [Último acceso: 12 Octubre 2021].
- [90] National Parks Service, «Sedimentary Rocks,» National Park Service, 23 Noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.nps.gov/subjects/geology/sedimentary.htm>. [Último acceso: 12 Octubre 2021].
- [91] National Park Service, «Minerals,» National Park Service, 25 Abril 2019. [En línea]. Available: <https://www.nps.gov/subjects/geology/minerals.htm>. [Último acceso: 12 Octubre 2021].
- [92] National Park Service, «Minerals,» National Park Service, 25 Abril 2019. [En línea]. Available: Minerals - Geology (U.S. National Park Service). [Último acceso: 12 Octubre 2021].
- [93] Servicio Geológico Mexicano, «Propiedades físicas,» Servicio Geológico Mexicano, 22 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Minerales/Propiedades-Fisicas.html>. [Último acceso: 12 Octubre 2021].
- [94] The Geological Society, «Outcrops,» The Geological Society, 2012. [En línea]. Available: <https://www.geolsoc.org.uk/GeositesOutcrops>. [Último acceso: 12 Octubre 2021].
- [95] C. Wilkes, «Lean Touch,» Unity Asset Store, 24 Octubre 2021. [En línea]. Available: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/input-management/lean-touch-30111>. [Último acceso: 25 Octubre 2021].
- [96] R. Asif, «SQLite and Unity: How to do it right.,» Medium, 17 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://medium.com/@rizasif92/sqlite-and-unity-how-to-do-it-right-31991712190>. [Último acceso: 25 Octubre 2021].
- [97] SQLite Documentation, «File:SQLite370.svg,» Wikimedia, 3 Octubre 2010. [En línea]. Available: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SQLite370.svg>. [Último acceso: 25 Octubre 2021].

- [98] parentElement, «JSON .NET For Unity,» Unity Asset Store, 8 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://assetstore.unity.com/packages/tools/input-management/json-net-for-unity-11347>. [Último acceso: 25 Octubre 2021].
- [99] C. Wilkes, «Lean Touch Documentation,» Lean Touch, 2021. [En línea]. Available: <https://carloswilkes.com/Documentation/LeanTouch>. [Último acceso: 25 Octubre 2021].
- [100] K. Lee, «AR Foundation in Unity: Getting Started,» Raywenderlich, 3 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://www.raywenderlich.com/14808876-ar-foundation-in-unity-getting-started>. [Último acceso: 25 Octubre 2021].
- [101] UNAM, «Oferta Académica,» 2021. [En línea]. Available: <http://oferta.unam.mx/ingenieria-geologica.html>. [Último acceso: 7 Septiembre 2021].
- [102] G. Romo Zamudio, «Experiencias de realidad virtual y aumentada en los museos,» 1 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.tic.unam.mx/experiencias-de-realidad-virtual-y-aumentada-en-los-museos/>. [Último acceso: 22 Septiembre 2021].
- [103] UNAM, «Del bulbo a la nube. 60 años del cómputo en México,» 2018. [En línea]. Available: <http://www.expodelbulboalanube.unam.mx/>. [Último acceso: 22 Septiembre 2021].
- [104] DVRV - UNAM, «Portafolio,» 2019. [En línea]. Available: <https://ixtli.unam.mx/portafolio/>. [Último acceso: 22 Septiembre 2021].
- [105] GitHub, «File:Octicons-mark-github.svg,» 13 Julio 2018. [En línea]. Available: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Octicons-mark-github.svg>.

7 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Estadísticas de población escolar por carrera [7]	8
Figura 2-2. Porcentaje de uso de servicios de voz y datos en México a lo largo de los años [13]	10
Figura 2-3. Porcentaje de personas con teléfonos inteligentes en México, por año [13].....	11
Figura 2-4. Porcentaje de alumnos de nuevo ingreso a la Facultad de Ingeniería con teléfono celular [7].....	12
Figura 2-5. Porcentaje de alumnos de nuevo ingreso a la carrera de Ingeniería Geológica con teléfono celular [15].....	12
Figura 2-6. Danburita, mineral listo para el proceso de toma de fotografías.....	16
Figura 2-7. Diagramas de gestos táctiles en iOS y Android [20]. Los gestos se han vuelto fundamentales en las interfaces de estos sistemas operativos.....	17
Figura 2-8. Logo de la tienda de aplicaciones de Google: Google Play.....	17
Figura 2-9. Logo de la tienda de aplicaciones de Apple: App Store	17
Figura 3-1. Un médico viendo un modelo del interior del cuerpo humano [25]. Hololens promete un futuro inmersivo lleno de RA.....	19
Figura 3-2. La aplicación mostrando modelos con realidad aumentada. [27]	20
Figura 3-3. Menú principal de la aplicación “Nebulosas” [30]	21
Figura 3-4. Vista de una de las obras de arte presentadas en Uncurated.....	22
Figura 3-5. La aplicación permite aprender más sobre personajes importantes de la Historia de México.	22
Figura 3-6. Vista de uno de los modelos de la galería para el Instituto de Geología. [33]	22
Figura 3-7. Vista de una de las pantallas de la aplicación “Abejas Mayas”. [34]	23
Figura 3-8. El creciente número de transistores en procesadores a lo largo de los años. [35]	24
Figura 3-9. El primer teléfono inteligente: Simon Personal Communicator [38]	25
Figura 3-10. BlackBerry 5810, uno de los primeros teléfonos inteligentes de RIM. [40].....	26
Figura 3-11. El primer iPhone, lanzado en 2007. [42]	26
Figura 3-12. El mercado de teléfonos inteligentes es extremadamente competitivo. [44].....	27
Figura 3-13. Ilustración del Dynabook en “A Personal Computer for Children of All Ages”. [47]	28
Figura 3-14. A pesar de su falta de éxito, el Linus Write-Top fue la primera tablet comercial. [48]	29
Figura 3-15. El AT&T EO Personal Communicator, la primera tablet con conectividad inalámbrica. [50].....	29
Figura 3-16. El Apple Newton, una muestra del futuro de la computación móvil en 1993. [51]	30

Figura 3-17. Windows 8 representó un gran cambio de interfaz de usuario. [53].....	30
Figura 3-18. El primer iPad despertó el interés masivo por las tablets. [54]	31
Figura 3-19. Apple se ha posicionado como el fabricante mayoritario de tablets en el mercado. [56].....	32
Figura 3-20. La Epson HX-20 en su maletín de transporte. [58]	33
Figura 3-21. El robot de Android, la icónica mascota y logo del sistema operativo. [60]	34
Figura 3-22. Tux, la mascota de Linux kernel, el corazón de múltiples sistemas operativos de código abierto, incluido Android. [63]	36
Figura 3-23. Lista de las versiones de Android. [64].....	37
Figura 3-24. Apple se convirtió rápidamente en una de las empresas de tecnología más importantes del mundo gracias al enorme impacto de sus productos. [66].....	37
Figura 3-25. Unity es uno de los motores gráficos más populares de la actualidad, con un enorme impacto en todas las industrias que realizan gráficos en 2D y 3D.	39
Figura 3-26. Logo de ARCore [72], la plataforma de Google de RA para Android.....	42
Figura 3-27. Logo de la plataforma de RA de Apple [74], la más importante para iOS.....	44
Figura 3-28. Tabla de funcionalidad disponible en AR Foundation 2.1 – Unity 2019 LTS [77].	47
Figura 3-29. Arenisca, una roca sedimentaria clástica. Tiene un color rojizo debido al óxido de hierro. [89].....	49
Figura 3-30. Foto del mineral cuarzo. [91]	51
Figura 4-1. Android permite aprovechar las características de ARCore al máximo. [60] [72] .	66
Figura 4-2. ARKit, de Apple, es la API de RA más robusta del mercado de dispositivos móviles. [66] [74]	67
Figura 4-3. Unity es una de las herramientas más versátiles de gráficos 2D y 3D.	68
Figura 4-4. Logo de Github, el administrador de versiones más utilizado.....	72
Figura 4-5. Zoom se ha convertido en una de las principales herramientas de comunicación.	73
Figura 4-6. Mockup del flujo de la pantalla principal.	76
Figura 4-7. Diseño de la pantalla principal.	77
Figura 4-8. Mockup de la pantalla del visualizador.	77
Figura 4-9. Diseño del visualizador RA.....	78
Figura 4-10. Mockup del menú de colección.	78
Figura 4-11. Diseño del menú de colección.....	79
Figura 4-12. Diseño del visualizador sin RA.	79
Figura 4-13. Diseño del menú de administración de contenido.	80
Figura 4-14. Logo de LeanTouch. [95]	81

Figura 4-15. Logo de SQLite. [97].....	82
Figura 4-16. Logo de JSON.NET for Unity. [98].....	82
Figura 4-17. Ejemplo de uso del evento onClick de un componente tipo Button.....	83
Figura 4-18. Ejemplo de handler para el evento OnFingerDown.....	83
Figura 4-19. Ejemplo de handler para el evento OnFingerUp.	84
Figura 4-20. Ejemplo de definición de handlers para los eventos utilizados.....	84
Figura 4-21. Ejemplo de uso del ciclo de vida OnDisable.....	84
Figura 4-22. Imagen del contenido de la carpeta de Plugins de la aplicación para SQLite.	85
Figura 4-23. Constructor de la clase MaterialDB, encargado de la creación de la tabla de materiales si es que no existe.	86
Figura 4-24. Imagen de la interfaz del modificador de decimado, en Blender.	87
Figura 4-25. Vista del modelo de la Danburita con su complejidad original.	87
Figura 4-26. Vista del modelo de la Danburita con un ratio de decimado de 0.02.	88
Figura 4-27. Imagen de los componentes ARSession y ARSessionOrigin dentro de la jerarquía de la escena en Unity.	89
Figura 4-28. Ejemplo de uso de los componentes ARSessionOrigin y AR Tracked Image Manager junto al Instanciador, en Unity.....	89
Figura 4-29. Imagen de la pantalla del visualizador de modelos de la aplicación.	90
Figura 4-30. Ejemplo de uso del patrón Singleton en el proyecto.....	91
Figura 4-31. Imagen del getter getCurrentMaterial.....	91
Figura 4-32. Imagen de consulta a la base de datos y verificación de AssetBundle en el cache de la aplicación.....	92
Figura 4-33. Imagen del menú principal de la aplicación.....	92
Figura 4-34. Ejemplo de uso del método LoadScene, con el nombre de la escena como argumento.....	93
Figura 4-35. Imagen del menú de tipos de materiales.....	93
Figura 4-36. Consulta realizada a la base de datos para la obtención de tipos de materiales.	94
Figura 4-37. Imagen de la lista de materiales del tipo Minerales.	94
Figura 4-38. Imagen de la lista de materiales del tipo Rocas, inicialmente mostrando sólo botones de sus clasificaciones.	95
Figura 4-39. Imagen de la lista de materiales de tipo Rocas, de la clase Estructuras Sedimentarias.....	95
Figura 4-40. Imagen de la consulta de la lista de materiales en la BD.....	96
Figura 4-41. Imagen de la consulta de la lista de materiales descargados en la BD.	96
Figura 4-42. Imagen de la lista de contenido.	97

Figura 4-43. Imagen de la sintaxis utilizada para las solicitudes asíncronas al servidor.....	97
Figura 4-44. Evolución de la pantalla principal de la aplicación.....	98
Figura 4-45. Evolución del menú de tipos de materiales de la Colección.	99
Figura 4-46. Evolución del menú de clases de tipo de material.....	99
Figura 4-47. Evolución del visualizador de modelos.	100
Figura 4-48. Evolución del menú de descarga de contenido.	101