

Requerimientos No Funcionales en Aplicaciones Móviles 3D con entornos de Realidad Aumentada

Sebastián Dapoto^[0000-0001-7593-0198], Federico Cristina^[0000-0003-3838-417X], Alex Leodan Arce, Pablo Thomas^[0000-0001-9861-987X] and Patricia Pesado^[0000-0003-0000-3482]

III-IDI, Facultad de Informática, UNLP. La Plata. Calle 50 y 120, Buenos Aires. Argentina.
{sdapoto, fcristina}@lidi.info.unlp.edu.ar, alexcanada201022@gmail.com, {pthomas, ppesado}@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. Los Requerimientos No Funcionales (RNF) son características que especifican los criterios de calidad y restricciones que un sistema debe cumplir. Estos requerimientos son esenciales en el desarrollo exitoso de software, particularmente en Aplicaciones Móviles 3D, ya que tienen un impacto directo en la experiencia del usuario. El rendimiento gráfico es uno de los RNF más críticos en este tipo de aplicaciones, dado que afecta tanto la experiencia del usuario como la viabilidad de estas aplicaciones en dispositivos con diferentes capacidades de hardware. Las aplicaciones con Realidad Aumentada superponen objetos virtuales 3D al mundo físico en tiempo real, utilizando sensores y capacidades gráficas del dispositivo. En este trabajo, se examina la incidencia de los RNF en las Aplicaciones Móviles 3D con Realidad Aumentada, particularmente enfocado en las principales variables que influyen en el rendimiento gráfico, tales como el modelado 3D, el uso de texturas, la iluminación, los efectos visuales y los efectos físicos. Se presenta una experimentación en la que se evalúa el impacto de las distintas características en la tasa de cuadros por segundo. Los resultados obtenidos permiten identificar los principales cuellos de botella en uno de los requerimientos no funcionales más críticos, lo que contribuye a optimizar el rendimiento y mejorar la calidad final de las Aplicaciones Móviles 3D con Realidad Aumentada.

Keywords: Requerimientos No Funcionales, Aplicaciones Móviles 3D, Realidad Aumentada, rendimiento gráfico, Unity.

1 Introducción

Los dispositivos móviles en los últimos años han experimentado un notable avance en términos de capacidad de procesamiento y eficiencia energética. La incorporación de arquitecturas multinúcleo y las mejoras en el diseño de los chips han permitido incrementar significativamente el rendimiento de estos dispositivos, facilitando la ejecución de aplicaciones cada vez más complejas. Asimismo, el aumento en la cantidad de memoria RAM disponible ha ampliado la capacidad para manipular grandes volúmenes de datos y procesar recursos gráficos de mayor complejidad.

Estos avances tecnológicos han favorecido el desarrollo de aplicaciones móviles tridimensionales con altos niveles de calidad visual. Paralelamente, el incremento en la resolución y calidad de las pantallas ha contribuido a mejorar la experiencia visual de los usuarios, permitiendo representaciones gráficas más detalladas y realistas. A su vez, las aplicaciones móviles 3D han adquirido una gran relevancia, impulsadas por la disponibilidad de diversos motores de juego, librerías y frameworks que facilitan su desarrollo. Muchas de estas herramientas permiten además integrar tecnologías inmersivas como la realidad virtual (RV) y la realidad aumentada (RA) en aplicaciones móviles [1][2].

Particularmente, la RA ha ganado una creciente popularidad en dispositivos móviles, ya que permite superponer elementos virtuales sobre el entorno real capturado por la cámara del dispositivo. Este tipo de aplicaciones requiere no solo el procesamiento de gráficos tridimensionales en tiempo real, sino también la utilización simultánea de sensores, técnicas de seguimiento espacial y análisis del entorno. Como consecuencia, el desarrollo de aplicaciones móviles 3D con RA introduce desafíos adicionales desde el punto de vista del rendimiento y la calidad del software [3].

En este contexto, la calidad de las aplicaciones móviles se ha convertido en un aspecto cada vez más relevante, especialmente considerando su uso extendido en múltiples ámbitos de la vida cotidiana. Las pruebas de calidad en aplicaciones móviles, y en particular en aquellas que utilizan entornos tridimensionales, presentan nuevos desafíos, muchos de los cuales están especialmente relacionados con los requerimientos no funcionales (RNF) [4].

Entre los requerimientos no funcionales más relevantes en aplicaciones móviles 3D se encuentran el rendimiento gráfico, la carga eficiente de modelos y texturas, la optimización del consumo de energía, la interacción táctil intuitiva y la portabilidad entre distintos dispositivos, entre otros. En particular, el rendimiento gráfico constituye un factor crítico, ya que influye directamente en la fluidez de la aplicación y en la experiencia del usuario. Este aspecto resulta especialmente importante si se considera que muchos usuarios pueden ejecutar estas aplicaciones en dispositivos que no necesariamente corresponden a las últimas generaciones de hardware [5][6][7].

En este trabajo se presenta un estudio sobre la incidencia de los RNF en aplicaciones móviles 3D que incorporan entornos de RA, con especial énfasis en el rendimiento gráfico. Para ello, se realiza una experimentación en aplicaciones móviles 3D con RA en la que se analiza el impacto de distintas características sobre la tasa de cuadros por segundo (Frames Per Second, FPS). Los resultados obtenidos permiten identificar los factores más relevantes a considerar para optimizar el rendimiento y mejorar la calidad de este tipo de aplicaciones. En este marco, no se han encontrado en la literatura trabajos que realicen una experimentación con características similares orientadas a analizar el impacto en los RNF [8][9].

El resto del trabajo se organiza de la siguiente manera. La Sección 2 presenta los requerimientos no funcionales más relevantes en aplicaciones móviles 3D. La Sección 3 describe la metodología utilizada para evaluar el rendimiento gráfico y presenta el prototipo desarrollado para realizar la evaluación. La Sección 4 expone los experimentos realizados y los resultados obtenidos. La Sección 5 analiza los resultados en

profundidad y describe las principales limitaciones del estudio. Finalmente, en la Sección 6 se presentan las conclusiones y se proponen posibles líneas de investigación futura.

2 Requerimientos no funcionales en aplicaciones móviles 3D

La Ingeniería de Requerimientos constituye una etapa fundamental dentro del proceso de desarrollo de software, ya que se encarga de identificar, analizar, documentar y gestionar las necesidades y expectativas de los usuarios y otros interesados en el sistema. Una adecuada definición de los requerimientos permite establecer con claridad qué debe hacer el sistema y bajo qué condiciones debe operar, contribuyendo de manera significativa a la calidad del producto final.

En términos generales, los requerimientos de software suelen clasificarse tradicionalmente en dos grandes categorías: requerimientos funcionales y requerimientos no funcionales. Los requerimientos funcionales describen los servicios, comportamientos o funciones que el sistema debe proporcionar, es decir, qué debe hacer el sistema desde el punto de vista de su funcionalidad. Por su parte, los requerimientos no funcionales describen propiedades o restricciones relacionadas con la calidad del sistema, tales como el rendimiento, la eficiencia, la portabilidad, la seguridad o la usabilidad, entre otros.

Los RNF representan, por lo tanto, un aspecto fundamental en la calidad de las aplicaciones de software. En el contexto de las aplicaciones móviles 3D, estos requerimientos adquieren una importancia particular debido a las limitaciones propias del hardware de los dispositivos móviles y a la elevada demanda de procesamiento que implica la renderización de gráficos en tiempo real.

Se ha realizado un análisis detallado de los requerimientos no funcionales relevantes en aplicaciones móviles 3D que incorporan entornos de realidad virtual, identificando los principales factores que influyen en el rendimiento gráfico de este tipo de sistemas [10]. Dicho estudio analizó distintos aspectos vinculados con la gestión de recursos gráficos, la complejidad de los modelos tridimensionales, el uso de texturas, la iluminación y la aplicación de efectos visuales.

En particular, uno de los requerimientos no funcionales más relevantes en este tipo de aplicaciones es el rendimiento gráfico, el cual suele medirse a través de la tasa de cuadros por segundo. Esta métrica permite evaluar la fluidez con la que se representan las escenas tridimensionales y tiene un impacto directo en la experiencia del usuario.

En el caso de las aplicaciones móviles 3D que incorporan realidad aumentada, el rendimiento gráfico adquiere una importancia aún mayor, ya que la renderización de los objetos virtuales debe realizarse en tiempo real sobre la imagen capturada por la cámara del dispositivo, en coordinación con los mecanismos de seguimiento del entorno.

El rendimiento gráfico constituye un aspecto clave para lograr que las aplicaciones móviles 3D puedan ejecutarse de manera adecuada en una amplia variedad de dispositivos. En este sentido, resulta fundamental optimizar el uso de los recursos gráficos disponibles, especialmente si se considera que muchos de los potenciales usuarios

pueden utilizar dispositivos que no pertenecen a las últimas generaciones de hardware. Por lo tanto, las aplicaciones deben diseñarse de manera que mantengan un funcionamiento fluido incluso en dispositivos con capacidades limitadas.

Asimismo, un rendimiento gráfico ineficiente puede afectar negativamente el desempeño general del dispositivo móvil. El uso excesivo de recursos de procesamiento y de memoria puede provocar una disminución en la capacidad de respuesta del sistema y afectar el funcionamiento de otras aplicaciones o servicios en ejecución. Como consecuencia, la experiencia del usuario puede verse deteriorada, lo que puede derivar en una menor adopción o eventualmente en el abandono de la aplicación.

En este sentido, el diseño de aplicaciones móviles 3D requiere encontrar un equilibrio entre la complejidad gráfica de las escenas y el uso eficiente de los recursos del dispositivo, lo que constituye un desafío relevante para la ingeniería de software.

Este trabajo es una continuación de [10] extendiendo el análisis al contexto de aplicaciones móviles 3D con RA, enfocándose particularmente en la evaluación del rendimiento gráfico, como requerimiento no funcional esencial, dado que tiene una influencia directa en la calidad de la experiencia visual, la satisfacción del usuario y el rendimiento general del dispositivo móvil.

3 Metodología y prototipo de evaluación

Para evaluar el impacto de distintos factores sobre el rendimiento gráfico en aplicaciones móviles 3D con realidad aumentada, se utilizó una metodología experimental basada en una serie de pruebas controladas. Estas pruebas permiten analizar cómo determinadas características de la escena tridimensional influyen en la tasa de FPS, que constituye una de las métricas más utilizadas para evaluar el rendimiento gráfico en aplicaciones interactivas.

El diseño experimental empleado en este trabajo se basa en una serie de pruebas previamente definidas y analizadas en el estudio anterior sobre aplicaciones móviles 3D con entornos de realidad virtual [10]. En dicho trabajo se describen en detalle los criterios de diseño de cada prueba y los parámetros considerados para evaluar el impacto de diferentes elementos gráficos sobre el rendimiento de la aplicación.

El uso del mismo conjunto de pruebas definido en [10] permite mantener la comparabilidad entre los resultados obtenidos en entornos de realidad virtual y los obtenidos en aplicaciones de realidad aumentada. En particular, el conjunto de pruebas utilizado está compuesto por los siguientes seis tests experimentales que permiten analizar el impacto de distintos factores asociados al procesamiento gráfico de forma independiente:

- Test 1: evaluación del impacto de modelos 3D simples en la escena.
- Test 2: análisis de la influencia de un modelo geométricamente complejo con una gran cantidad de polígonos.
- Test 3: evaluación del efecto del uso de texturas en los objetos de la escena.
- Test 4: análisis del impacto del uso de iluminación dinámica.
- Test 5: evaluación de la influencia del uso de sistemas de partículas.

- Test 6: análisis del impacto de los efectos físicos implementados en los objetos.

Cada uno de estos tests se implementó mediante escenas experimentales diseñadas específicamente para aislar el factor analizado. De esta manera, es posible observar con mayor claridad la incidencia de cada característica sobre el rendimiento gráfico de la aplicación.

En el presente trabajo, esta metodología se aplica al contexto de aplicaciones móviles 3D que incorporan realidad aumentada, lo que permite analizar cómo estos mismos factores influyen en el rendimiento cuando los objetos virtuales deben integrarse en tiempo real con el entorno capturado por la cámara del dispositivo.

Para poder llevar a cabo la metodología de evaluación de rendimiento gráfico propuesta sobre dispositivos reales, fue necesario desarrollar un prototipo que implemente el conjunto de pruebas en un entorno con RA. El motor de juegos elegido para desarrollar los prototipos fue Unity [11], debido a su versatilidad, extensa documentación, tutoriales existentes, amplio repositorio de componentes y gran comunidad. Para el desarrollo del prototipo fue necesario utilizar AR Foundation [12] y Google ARCore [13]. AR Foundation es un framework de Unity que actúa como una capa de abstracción para el desarrollo de aplicaciones de RA multiplataforma, permitiendo crear una única aplicación compatible con diferentes plataformas y simplificando el proceso de desarrollo. Google ARCore es la plataforma de Google para el desarrollo de aplicaciones de RA en dispositivos Android. Permite integrar objetos virtuales dentro del entorno físico del usuario combinando la imagen capturada por la cámara con elementos digitales en tiempo real. Su funcionamiento se basa en el seguimiento del movimiento del dispositivo, la comprensión del entorno y la estimación de la iluminación, lo que posibilita detectar superficies planas, calcular la posición espacial y lograr que los objetos virtuales se integren de manera coherente y realista en el mundo real.

El prototipo de evaluación de rendimiento gráfico incrementa progresivamente la cantidad de objetos instanciados. Es decir, al inicio de cada prueba hay un solo objeto en pantalla, pero este número se incrementa en intervalos de tiempo fijos. En todo momento se consulta y almacena la cantidad de cuadros por segundo que la aplicación está logrando renderizar. Esta metodología se aplica en todos los tests, con excepción del test 2. En este último test, donde se utiliza un único objeto complejo, la evolución se mide por la distancia de renderizado y no por la cantidad de objetos en pantalla. El objeto complejo se encuentra centrado en la pantalla y gira constantemente. Al inicio del test la distancia de renderizado es mínima, por lo que no es posible ver ninguna parte del objeto. En intervalos de tiempo fijos, se incrementa la distancia de renderizado, permitiendo en cada paso observar una mayor parte del objeto y aumentando la cantidad de polígonos visibles en pantalla. Durante todo el proceso, se consulta y almacena la cantidad de cuadros por segundo que la aplicación está logrando renderizar.

En la figura 1 se observa el menú principal del prototipo. La pantalla presenta seis cubos flotantes, cada uno correspondiente al número de test al que permite acceder. Además, se incluyen dos cubos adicionales que permiten seleccionar la calidad de ejecución: mínima (“L”, del inglés “Lowest”) y máxima (“H”, del inglés Highest). Para iniciar una prueba se debe apuntar al cubo correspondiente y seleccionarlo. La figura 2 presenta, a modo de ejemplo, la ejecución del test 3. Al finalizar cada prueba, los

resultados se almacenan automáticamente en un archivo de registro para su posterior análisis.



Fig. 1. Prototipo para entornos con realidad aumentada. Pantalla principal.



Fig. 2. Prototipo para entornos con realidad aumentada. Test 3.

4 Experimentación y resultados obtenidos

Para la realización de los experimentos se utilizaron dos dispositivos móviles: un Samsung Galaxy S23 (a partir de ahora, S23) y un Samsung Galaxy S8 (a partir de ahora, S8). La selección de estos dispositivos responde a la intención de evaluar el comportamiento del prototipo en equipos con capacidades de hardware significativamente diferentes, ya que el S23 representa una generación reciente de dispositivos de

alto rendimiento, mientras que el Galaxy S8 corresponde a una generación considerablemente anterior. En la tabla 1 se detallan las características técnicas de los dos dispositivos utilizados en la experimentación, la cual consistió en realizar el conjunto completo de pruebas con el objetivo de comparar los resultados obtenidos.

Table 1. Características técnicas de los dispositivos utilizados en la experimentación.

Dispositivo (marca y modelo)	Sistema Operativo	Características generales
Samsung Galaxy S23	Android 16.	Octa-core (1x3.36 GHz Cortex-X3 & 2x2.8 GHz Cortex-A715 & 2x2.8 GHz Cortex-A710 & 3x2.0 GHz Cortex-A510). 8 GB RAM.
Samsung Galaxy S8	Android 9	Octa-core (4x2.3 GHz Mongoose M2 & 4x1.7 GHz Cortex-A53) 4 GB RAM.

Cabe destacar que los valores de FPS obtenidos por el prototipo se encuentran condicionados no solo por la capacidad de renderizado de la GPU, sino también por la tasa de adquisición y procesamiento de la cámara. El flujo de la cámara utilizado por los frameworks de RA, en este caso Google ARCore, opera a 30 FPS, ya que el seguimiento visual, detección de planos y estimación de pose depende directamente de cada cuadro capturado. Como resultado, el ciclo de renderizado queda sincronizado con la frecuencia de captura de cámara, estableciendo un límite superior práctico de 30 FPS, aun cuando la GPU pudiera sostener tasas mayores en ausencia de RA. En este contexto, el incremento de la complejidad de la escena impacta sobre la carga de procesamiento gráfico y puede reducir los FPS efectivos por debajo de dicho umbral, pero no superarlo, debido a la restricción impuesta por la frecuencia de adquisición y procesamiento de imágenes de la cámara.

Las figuras 3 y 4 muestran los valores medios de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el dispositivo S23 utilizando el prototipo con RA, considerando los dos extremos posibles en lo que respecta a calidades de renderizado en Unity. Las figuras 5 y 6 muestran los valores medios de los resultados obtenidos en las pruebas realizadas en el dispositivo S8 utilizando el prototipo con RA, considerando los dos extremos posibles en lo que respecta a calidades de renderizado en Unity.

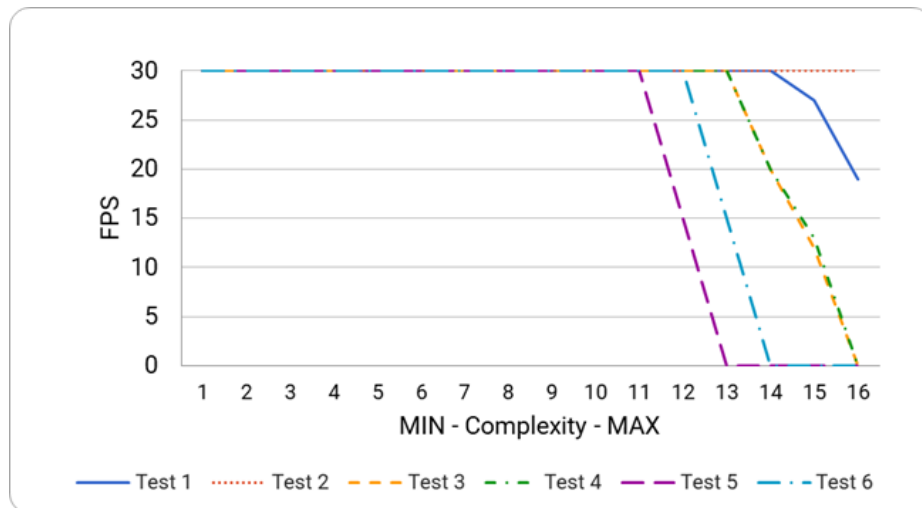


Fig. 3. Evolución de cada test en el dispositivo Samsung Galaxy S23 con la menor calidad gráfica (Fastest).

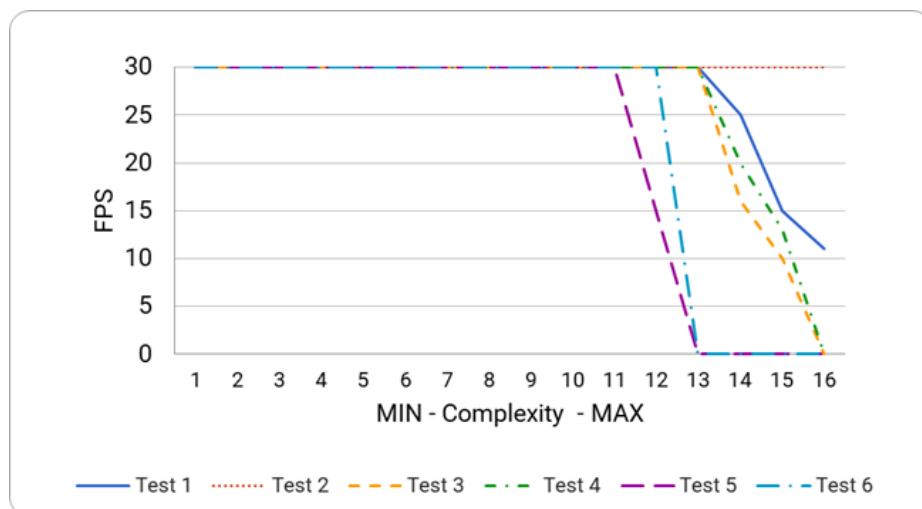


Fig. 4. Evolución de cada test en el dispositivo Samsung Galaxy S23 con la mayor calidad gráfica (Fantastic).

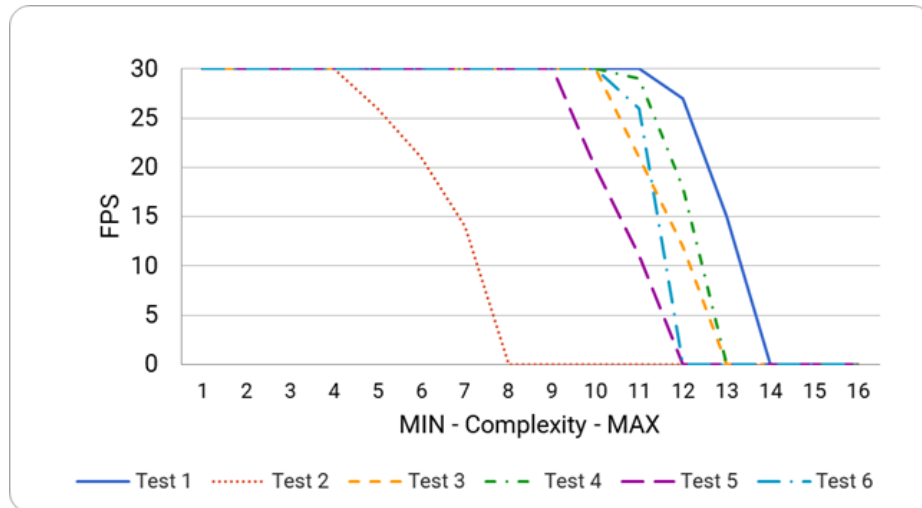


Fig. 5. Evolución de cada test en el dispositivo Samsung Galaxy S8 con la menor calidad gráfica (Fastest).

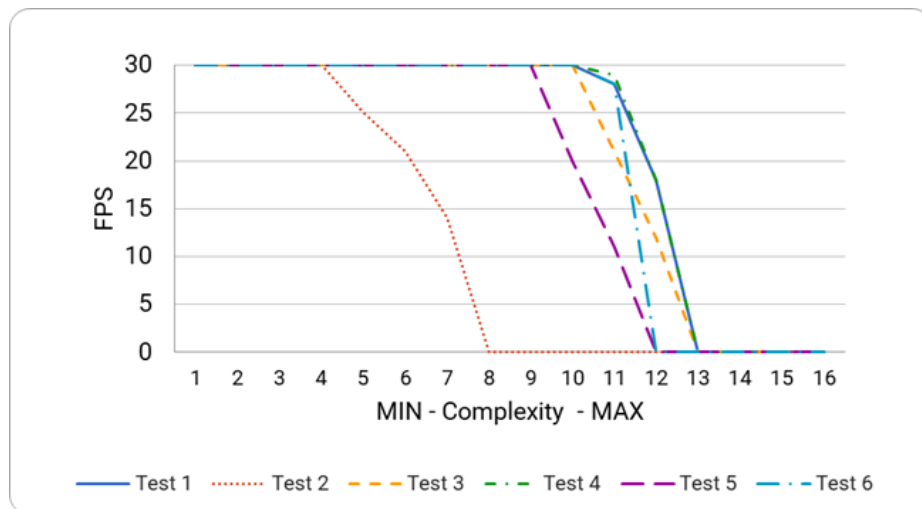


Fig. 6. Evolución de cada test en el dispositivo Samsung Galaxy S8 con la mayor calidad gráfica (Fantastic).

Si se comparan los resultados obtenidos en ambos dispositivos, puede observarse que el dispositivo S23 logra sostener niveles de rendimiento cercanos al límite impuesto por el procesamiento de cámara en aplicaciones de realidad aumentada. En cambio, en el Samsung Galaxy S8 la complejidad gráfica impacta de forma más temprana en la tasa de FPS, evidenciando una menor capacidad de procesamiento gráfico.

En relación con los dos niveles de calidad gráfica analizados, se observa que la diferencia de rendimiento resulta especialmente significativa en los tests que incorporan sistemas de partículas y cálculos de física, donde el aumento de complejidad gráfica produce caídas más pronunciadas en la tasa de FPS.

Al analizar cada test de forma individual, puede apreciarse que aquellos que incorporan sistemas de partículas y cálculos físicos son, en general, los que generan un mayor impacto en el rendimiento. No obstante, el test 2 evidencia una caída temprana en la tasa de FPS en el dispositivo S8. Este comportamiento sugiere que la complejidad geométrica de los modelos 3D tiene un impacto significativo en el rendimiento, incluso cuando se utiliza un único objeto en escena. En contraste, el dispositivo Samsung Galaxy S23 mantiene valores cercanos al límite de 30 FPS durante una mayor porción de la prueba, lo que indica una mayor capacidad de procesamiento gráfico para manejar modelos con un alto número de polígonos.

5 Discusión

Los resultados obtenidos refuerzan la importancia del rendimiento gráfico como requerimiento no funcional crítico en aplicaciones móviles tridimensionales con entornos de realidad aumentada. Las variaciones observadas entre dispositivos con diferentes capacidades de hardware, así como el impacto producido por determinados recursos gráficos, evidencian que la complejidad de las escenas debe ser cuidadosamente gestionada durante el proceso de desarrollo. En consecuencia, la consideración temprana de estos aspectos durante la ingeniería de requerimientos y el diseño del sistema resulta clave para garantizar niveles adecuados de desempeño y una experiencia de usuario satisfactoria en distintos tipos de dispositivos móviles.

Al comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con los obtenidos en [10], se observa que, aunque las aplicaciones de RA suelen ejecutarse a una tasa de cuadros por segundo menor que las aplicaciones de RV, la carga computacional adicional introducida por el procesamiento de la cámara y los mecanismos de rastreo del entorno reduce la capacidad de procesamiento disponible para el renderizado gráfico. En consecuencia, la degradación del rendimiento puede producirse con niveles de complejidad gráfica menores que los observados en entornos de RV.

En este sentido, mientras que en aplicaciones de RV la mayor parte de la carga computacional se concentra en el renderizado gráfico y en los cálculos físicos de la escena, en aplicaciones de RA el sistema debe además procesar continuamente la imagen capturada por la cámara y ejecutar los algoritmos de seguimiento del entorno. Esto introduce una tercera fuente de consumo de recursos que incrementa la competencia por CPU y GPU, lo que explica la mayor variabilidad observada en el rendimiento y el menor margen disponible para escenas gráficamente complejas.

Si bien este análisis ofrece aportes relevantes, es necesario reconocer ciertas limitaciones. El estudio está condicionado por la ausencia de evaluaciones centradas en el usuario y de casos de estudio en entornos reales. Asimismo, los resultados se limitan a los dispositivos y al motor de desarrollo utilizado (Unity con Google ARCore). Estas restricciones podrían afectar la posibilidad de generalizar los hallazgos obtenidos.

6 Conclusiones y trabajo futuro

Los requerimientos no funcionales desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de aplicaciones móviles tridimensionales, ya que influyen directamente en la calidad de la experiencia del usuario. Entre ellos, el rendimiento gráfico constituye uno de los aspectos más críticos, debido a su impacto en la fluidez de la visualización, la percepción de realismo y el desempeño general del dispositivo móvil.

En este trabajo se presentó la continuación del análisis realizado en [10], aplicándolo al contexto de aplicaciones móviles 3D que incorporan entornos de realidad aumentada. Para ello se desarrolló un prototipo basado en Unity y el SDK de Google ARCore que implementa un conjunto de pruebas destinadas a evaluar el impacto de diversos factores gráficos, tales como la complejidad geométrica de los modelos, el uso de texturas, los sistemas de iluminación, los efectos de partículas y los cálculos físicos.

Los resultados obtenidos permitieron identificar cuales características de las escenas tridimensionales generan un mayor impacto en el rendimiento gráfico en entornos con realidad aumentada. En particular, se observó que elementos como los sistemas de partículas y los cálculos físicos tienden a provocar caídas más tempranas en la tasa de cuadros por segundo. La complejidad geométrica de los modelos también puede afectar significativamente el desempeño cuando el número de polígonos es elevado y el dispositivo utilizado no dispone de una gran capacidad de cómputo. Asimismo, se constató que los dispositivos con mayor capacidad de procesamiento logran sostener niveles de complejidad gráfica más altos antes de que se produzca la degradación del rendimiento.

La comparación de los resultados del presente trabajo con los obtenidos en [10] permitió identificar diferencias relevantes en el comportamiento del sistema. Aunque las aplicaciones de realidad aumentada suelen ejecutarse a una tasa de cuadros por segundo menor que las de realidad virtual, la necesidad de procesar continuamente la imagen capturada por la cámara y ejecutar los algoritmos de seguimiento del entorno introduce una carga computacional adicional que reduce el margen disponible para el renderizado gráfico. Como consecuencia, la degradación del rendimiento puede producirse con niveles de complejidad gráfica menores que los observados en entornos de realidad virtual.

En cuanto a la continuación de la investigación abordada en este trabajo, es posible considerar diversas líneas de desarrollo. En primer lugar, se plantea profundizar el análisis del comportamiento de aplicaciones móviles 3D con realidad aumentada incorporando una mayor variedad de dispositivos y escenarios de uso, con el objetivo de obtener una caracterización más completa del impacto de los distintos recursos gráficos en el rendimiento del sistema.

Por otro lado, resulta de interés abordar la evaluación de eficiencia energética, otro de los requerimientos no funcionales más relevantes en aplicaciones móviles que utilizan procesamiento gráfico intensivo y sensores del dispositivo. Este tipo de análisis permitiría complementar los resultados obtenidos en relación con el rendimiento gráfico y comprender mejor el impacto global de este tipo de aplicaciones sobre los recursos del dispositivo.

Finalmente, una posible línea de investigación futura consiste en replicar los prototipos desarrollados utilizando distintos motores de desarrollo de videojuegos, como

Unreal Engine o Godot, con el objetivo de analizar cómo las características y optimizaciones propias de cada motor influyen en el comportamiento del rendimiento gráfico en aplicaciones móviles 3D con realidad virtual y aumentada.

Los autores declaran no tener conflictos de interés relacionados con el contenido de este artículo.

Referencias

1. Linowes, J.: "Unity Virtual Reality Projects". 1st ed. ISBN-13: 978-1783988556 (2015).
2. Siriwardhana, Y., Porambage, P., Liyanage M., Ylianttila, M.: "A Survey on Mobile Augmented Reality With 5G Mobile Edge Computing: Architectures, Applications, and Technical Aspects," in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 23, no. 2, pp. 1160-1192. doi: 10.1109/COMST.2021.3061981 (2021).
3. F. Arena, M. Collotta, G. Pau, and F. Termine, "An Overview of Augmented Reality," Computers, vol. 11, no. 2 (2022).
4. Costa, M.: "Automated verification of compliance of non-functional requirements on mobile applications through metamorphic testing," IEEE 13th International Conference on Software Testing, Validation and Verification (ICST), Porto, Portugal, pp. 421-423, doi: 10.1109/ICST46399.2020.00053 (2020).
5. Corbalán, L. et al: "A Study of Non-functional Requirements in Apps for Mobile Devices.". Cloud Computing and Big Data. JCC&BD 2019. Communications in Computer and Information Science, vol 1050. Springer, Cham (2019)
6. Xiangfei, L., Wang X., Sun R.: "Real-time 3D graphics for mobile devices on reconfigurable hardware," IET International Conference on Smart and Sustainable City 2013, Shanghai, pp. 471-475, doi: 10.1049/cp.2013.1963 (2013).
7. Unity Manual. Optimizing Graphics Performance. <https://docs.unity3d.com/510/Documentation/Manual/OptimizingGraphicsPerformance.html>.
8. L. Merino, M. Schwarzl, M. Kraus, M. Sedlmair, D. Schmalstieg, and D. Weiskopf, "Evaluating Mixed and Augmented Reality: A Systematic Literature Review (2009–2019)," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (2020).
9. J. Lee, S. Hwang, J. Lee, and S. Kang, "Comparative Performance Characterization of Mobile AR Frameworks in the Context of AR-Based Applications," Applied Sciences, vol. 10, no. 4 (2020).
10. Dapoto, S. et al: "Non-functional requirements in 3D Mobile Applications and Virtual Reality Environments". Proceedings of the 28th Workshop on Requirements Engineering (WER2025), August 20-22, 2025, Rio de Janeiro-RJ, Brazil. <https://doi.org/10.29327/1588952.28-14> (2025).[6.1]
11. Unity Game Engine. <https://unity.com/es>.
12. Unity AR Foundation. <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.xr.foundation@6.4/manual/index.html>.
13. Google ARCore. Google Augmented Reality SDK. <https://developers.google.com/ar?hl=es-419>.