

# Análisis de la eficiencia de desempeño en aplicaciones de Realidad Aumentada utilizando la normativa ISO/IEC/25010

Fausto A. Salazar Fierro<sup>1</sup>, Carpio A. Pineda Manosalvas<sup>1</sup>, Nancy N. Cervantes Rodríguez<sup>1</sup>, Pablo Landeta<sup>1</sup>

fasalazar@utn.edu.ec, capineda@utn.edu.ec, nncervantes@utn.edu.ec, palandeta@utn.edu.ec

<sup>1</sup> Universidad Técnica del Norte, Av. 17 de julio, 1001051, Ibarra, Ecuador.

Pages: 256–267

**Resumen:** El creciente desarrollo de tecnologías de realidad aumentada, ha influido en el apareamiento de aplicaciones y herramientas de desarrollo RA con características que se adaptan a las nuevas necesidades de los usuarios finales, por lo que elegir una herramienta entre el amplio bagaje de posibilidades representa un inconveniente que conlleva tiempo de experimentación y selección de prueba y error. El objetivo de esta investigación fue realizar el análisis de la eficiencia de desempeño de dos apps RA desarrolladas en: Vuforia y Wikitude con la normativa ISO/IEC/25010. Se usó la experimentación como método de investigación en un ambiente controlado y se identificó como resultado que la herramienta Vuforia con relación a la eficiencia de desempeño obtuvo un valor de 9,66/10 respecto a Wikitude que fue valorada con 7,86, llegando a la conclusión de que Vuforia es la herramienta a elegir cuando la velocidad y rendimiento de la app sean factores determinantes.

**Palabras-clave:** Realidad Aumentada, Normativa ISO/IEC/25010, Calidad de software, Eficiencia de desempeño.

## *Performance efficiency analysis in Augmented Reality applications using the ISO / IEC / 25010 standard*

**Abstract:** The growing development of augmented reality technologies has influenced the creation of applications and RA development tools with features that adapt to the new needs of end users. Choosing a tool among the wide range of possibilities represents a problem that involves experimentation time resources. The objective of this research was to perform the performance efficiency analysis of two RA apps developed with Vuforia and Wikitude using ISO / IEC / 25010 standard and experimentation as research method in a controlled environment. The results show that considering performance efficiency, Vuforia tool obtained a value of 9.66 / 10 compared to Wikitude that was valued at 7.86, concluding that Vuforia is the best tool when the speed and performance of the app is a determining factor.

**Keywords:** Augmented Reality, Normative ISO/IEC/25010, Software quality, Performance efficiency.

## 1. Introducción

La realidad aumentada (AR) es una tecnología emergente que a través de la superposición de contenido virtual asociado a la vista de la cámara de un dispositivo (Zhang, Han, & Hui, 2018) permite visualizar imágenes en dos o tres dimensiones con las cuales pueden interactuar los usuarios (Jamali, Shiratuddin, Wong, & Oskam, 2015); sus inicios se evocan a la década de los años 60 (Bond et al., 2019). Actualmente se están desarrollando proyectos de AR en diferentes áreas; así en medicina se ha construido un demo en un cartel de forma humana en la que se pueden ver datos relacionados con la salud (Colley, 2015); en arquitectura se identifican problemas y mejoras con juegos de AR basados en la ubicación mediante la investigación de Kkongalmon (Youm, Seo, & Kim, 2019); en el ámbito educativo se han construido varias aplicaciones para áreas distintas, tal es el caso de una app que facilita el aprendizaje en la botánica (Nobnop, Wongwatkit, Wongta, & Soponronnarit, 2018) o en el área de informática una metodología para el desarrollo del aprendizaje en programación (Daniela & Velasco, 2019); en mecánica se ha realizado un motor de gasolina que simula la combustión (Abdullah, Mulyanti, & Rohendi, 2018); éstas entre otras que evidencian el uso versátil de esta tecnología; sin embargo la elección de la herramienta RA para construir los productos representa una difícil decisión.

Frente a la variedad y creciente desarrollo de apps RA, esta investigación se enfoca en la calidad de software, tema de gran importancia en el ciclo de vida de un producto (Yang, 2012); en este sentido se han desarrollado estudios con el estándar International Organization for Standardization (ISO) específicamente con la norma ISO/IEC 25000 conocida como SQuaRE (Software Product Quality Requirements and Evaluation) la cual constituye una evolución de la norma ISO/IEC 9126 (Calabrese et al., 2018) con el objetivo de evaluar la calidad del producto de software, aplicando la verificación y validación de algunas características seleccionadas (Mendoza, Kalinowski, Souza, & Felderer, 2019). La familia de normas ISO / IEC 25010 ha sido adoptada en distintos proyectos, (Karnouskos, Sinha, Leitao, Ribeiro, & Strasser, 2018) lo aplican en su investigación como paso inicial para la automatización industrial.

El objetivo de la investigación se centró en la utilización de la norma ISO/IEC 25010 sobre dos aplicaciones creadas en herramientas RA distintas: Vuforia y Wikitude y desarrolladas con el motor de programación Unity, para identificar la eficiencia en el desempeño a través de sus subcaracterísticas: Comportamiento en el tiempo y utilización de recursos, con el afán de identificar la herramienta RA que tiene mejor rendimiento en la ejecución de aplicaciones RA, proporcionando información que debería considerarse a la hora de elegir una herramienta para la creación de productos.

### 2.1. Materiales y Métodos

Para la experimentación en esta investigación se seleccionaron dos herramientas RA: Vuforia y Wikitude, las que a través de análisis previos realizados por los autores en función de la presencia y ausencia de las características de software requeridas en las aplicaciones RA (Salazar, Pineda, Arciniega, & Cervantes, 2019) y con una posterior competitive benchmarking considerando aspectos claves como: Plataforma, acceso

a GPS, reconocimiento de imágenes 2D, 3D y video, documentación disponible y frameworks (Salazar et al., 2019), ofrecen las mejores prestaciones para el desarrollo de productos de realidad aumentada. Adicionalmente se utilizó Unity como el motor de desarrollo.

Considerado como tema de las aplicaciones RA la difusión de sitios turísticos se crearon sendas aplicaciones en las dos herramientas seleccionadas y descritas anteriormente. Las aplicaciones creadas son exactamente iguales: i) inician con un menú de dos opciones a través de botones de acceso; ii) el botón uno permite la visualización de un objeto 3D; iii) el botón dos reproduce un video que incluye sonido; en los dos casos se aplica el reconocimiento de marcas y muestran la laguna de Yahuarcocha, Ibarra – Ecuador. Las apk fueron instaladas en un smartphone Xperia considerando que las características del dispositivo tendrán influencia en el proceso de evaluación.

Pantalla 1080p de 5.2 pulgadas, procesador Snapdragon 810 octa-core, 3GB de RAM, 32 Gb de almacenamiento interno y cámara principal de 23 megapixels.

## **2.1. Modelos de calidad: estándar ISO/IEC/25010**

La calidad de software para dispositivos móviles ha sido un tema de interés tratado en varios trabajos (Idri, A; Bachiri, M; Fernandez & Toval) en los que se ha aplicado tanto el standard ISO/IEC9126 o su evolución la ISO/IEC/25000. La ISO/IEC/25010 que es la que se aplica en este trabajo es un conjunto de estándares de calidad para evaluar productos de software (Karnouskos et al., 2018) por medio de la evaluación de varias características: adecuación funcional, compatibilidad, usabilidad, fiabilidad, seguridad, mantenibilidad, portabilidad y eficiencia en el desempeño, siendo justamente esta última la característica central de la investigación, especificando que el proyecto se realizó bajo la premisa de que el principal interés de los usuarios finales constituyen la rapidez en los tiempos de respuesta y el uso de memoria RAM en la ejecución de sus aplicaciones.

## **2.2. Métricas de la ISO/IEC/25010**

La característica eficiencia de desempeño está relacionada con el rendimiento de un dispositivo en función de su comportamiento temporal, el uso de recursos y la capacidad o límites máximos de funcionamiento.

### ***Comportamiento en el tiempo***

Esta subcaracterística está constituida por los tiempos de respuesta y procesamiento de una aplicación en ejecución en condiciones determinadas, su valoración se obtiene a través de tres métricas: i) tiempo de respuesta, ii) tiempo de espera, iii) rendimiento en una unidad de tiempo. Para la toma de datos de todas estas métricas se utilizó un cronómetro digital que permite capturar varios tiempos parciales de forma más precisa.

Las ecuaciones que se utilizaron en este proyecto fueron obtenidas del estándar ISO/IEC/25010. (ISO, 2019)

### ***Métrica: Tiempo de respuesta***

Propósito: Obtener el tiempo estimado para completar una tarea

Método de aplicación: Tomar el tiempo desde que se envía la petición hasta obtener la respuesta.

Entradas: A = Tiempo de envío de petición, B = Tiempo en recibir la primera respuesta

$$\text{Ecuación: } X = B - A \quad (1)$$

En el caso de la app constituye el tiempo que transcurre desde que se activa la cámara (pantalla negra) hasta que se visualiza el objeto 3D.

### ***Métrica: Tiempo de espera***

Propósito: Obtener el tiempo desde que se envía una instrucción para que inicie un trabajo, hasta que lo completa

Método de aplicación: Tomar el tiempo desde que se inicia un trabajo hasta completarlo.

Entradas: A= Tiempo cuando se inicia un trabajo, B = Tiempo en completar el trabajo

$$\text{Ecuación: } X = B - A \quad (2)$$

En el experimento representa el tiempo que transcurre desde que se presiona sobre el botón “Objeto 3D” hasta que se visualiza el objeto.

Métrica: Rendimiento

Propósito: Contar el número de tareas procesadas en una unidad de tiempo

Método de aplicación: Contar el número de tareas realizadas en un intervalo de tiempo.

Entradas: A= Número de tareas completadas, T = Intervalo de tiempo

$$\text{Ecuación: } X = A/T \quad (3)$$

En el proceso de experimentación con las apps se consideró 30 segundos como unidad de tiempo, durante los cuales se accionó el botón “Objeto 3D”, se visualizó el objeto y se regresó a la ventana de inicio, varias veces durante el lapso fijado.

### ***Utilización de recursos***

Esta subcaracterística se refiere al uso de éstos durante la ejecución de una tarea en condiciones preestablecidas. Se mide a través de cuatro métricas: i) líneas de código (N/A), ii) uso de CPU, iii) uso de memoria y iv) utilización de dispositivos E/S.

Para obtener datos sobre el uso del CPU se ensayó con ocho herramientas: Antutu, CPU Gauge, CPU Meter, CPU-Indicator, CPU-X, CPU-Z, Game Booster e Información del

Hardware. Adicionalmente se verificó el uso de CPU con una prueba de Robo con la herramienta integrada en Firebase Test Lab para Android; sin embargo, ninguna de las apps señaladas permitió obtener el valor especificado en el estándar para la aplicación RA, ya que no permiten separar las operaciones internas del dispositivo de las aplicaciones adicionales en ejecución, generando valores variados e inestables.

Para la obtención de datos del uso de memoria se experimentó con siete herramientas gratuitas descargadas de Google Play para el sistema operativo Android: All-In-One Toolbox, Antutu, Memory info, CPU Indicator, Cpu Meter, CPU-Z, Información del Hardware, de las cuales se seleccionó **CPU Indicator** ya que ésta muestra el consumo de memoria en la misma pantalla que utilizan las aplicaciones de RA.

### ***Métrica: Uso de la memoria***

Propósito: Verificar la cantidad de memoria usada para realizar una tarea.

Método de aplicación: Medir la cantidad total de memoria y la cantidad de espacios de memoria que realmente es usado para realizar una tarea.

Valores de entrada: A = Cantidad de espacios de memoria que realmente es usado para realizar una tarea, B = Cantidad total de espacios de memoria

$$\text{Ecuación: } X = B - A \quad (4)$$

Para la obtención de este valor se utilizó la app CPU Indicator, la cual permite identificar el porcentaje de memoria usada al activar la app RA. Dado que la métrica exige un valor, se utiliza una regla de tres simple para obtener el valor requerido. Se registra el uso de memoria antes de abrir la app y el uso de memoria una vez que se visualiza el objeto 3D.

### ***Capacidad o límites máximos de funcionamiento***

Esta característica se refiere a la capacidad de respuesta del software cuando funciona en línea. Se mide a través de tres métricas: i) número de peticiones en línea, ii) número de accesos simultáneos y iii) el ancho de banda. Cabe indicar que esta característica no es parte de este estudio ya que las aplicaciones no se ejecutan en línea, sino que debe ser instalado en el dispositivo móvil.

## **2.3. Asignación de pesos**

Una vez definidos los valores a ser obtenidos se crearon las matrices en las cuales se registraron los datos resultantes de la experimentación. Se realizaron treinta y una tomas de datos para satisfacer las métricas de las características de cada una de las herramientas de RA con el smartphone Sony Xperia Z5 y se asignó pesos porcentuales iguales a las cuatro subcaracterísticas factibles de análisis, tal y como aparece en la Tabla 1.

Característica	Importancia	Métrica	%	Total
<i>Comportamiento del tiempo</i>	Alta	Tiempo de espera	25%	100%
		Tiempo de respuesta	25%	
		Rendimiento	25%	
<i>Utilización de recursos</i>	Baja	Uso de CPU	0%	
		Uso de memoria	25%	
		Utilización de los dispositivos de E/S	0%	
<i>Capacidad</i>	No Aplica		0%	

Tabla 1 – Asignación de pesos de la característica eficiencia en el desempeño

## 2.4. Pruebas estadísticas

Una vez obtenidos los valores experimentales se utilizó la herramienta R Studio, dentro de la cual se realizó el análisis de normalidad con la prueba de Shapiro Wilk, obteniéndose los datos que aparecen en la Tabla 2.

Unidad de Medida	P- Value Vuforia	P-Value Wikitude
<i>Tiempo de respuesta</i>	0.06484	0.001016
Tiempo de espera	0.1244	0.1652
<i>Rendimiento</i>	0.0004911	0.00002172
Utilización de la memoria	0.0002844	0.00006404

Tabla 2 – Análisis de datos con el test de normalidad Shapiro Wilk

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede observar que únicamente la variable *tiempo de espera* en las dos herramientas RA y *tiempo de respuesta* en Vuforia alcanzan un valor mayor o igual a 0,05, por lo que para la presentación de resultados se aplica la estadística descriptiva de la media y mediana. El gráfico 1 corrobora los resultados obtenidos con la prueba de Shapiro Wilk.

## 3. Resultados

Para obtener los resultados respecto a la eficiencia de desempeño aplicando la normativa ISO/IEC/25010 se definieron los valores de algunos parámetros de acuerdo a los datos obtenidos en la fase experimental para cada una de las subcaracterísticas, adecuándolos a la funcionalidad de las aplicaciones desarrolladas. A continuación, se detallan los campos requeridos en la normativa para generar la valoración de calidad.

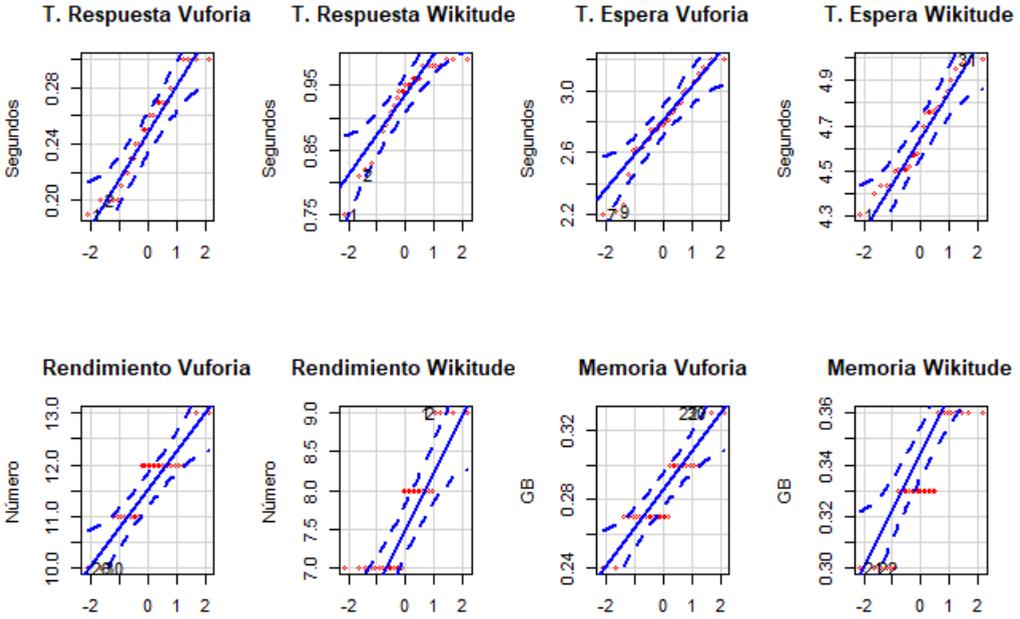


Figura 1 – Resultado de test de Shapiro Wilk

Peor caso: el cual se identifica de acuerdo a los valores obtenidos en el experimento o determinando la peor situación que podría producirse para la subcaracterística evaluada.

Valor deseado: que representa el valor que se consideraría como aceptable para la aplicación. También se obtiene en función de los eventos producidos durante la experimentación

Variables y Valor obtenido: constituye la media aritmética de los valores de entrada obtenidos para las variables A, B y T (entradas) y la media de los resultados obtenidos para X (salida), detallados en el acápite 2.

Valor Métrica: es la relación sobre diez considerando el valor obtenido X respecto al valor deseado.

Final subcaracterística: es el total parcial obtenido por la subcaracterística teniendo en cuenta el peso asignado a cada métrica.

La tabla 3 muestra los resultados de la normativa aplicada sobre la app desarrollada en Vuforia, que obtiene un resultado de 9,66 puntos sobre 10, por lo que de acuerdo a la normativa cumple con los requisitos y alcanza un grado de satisfacción Muy Aceptable.

Sub Característica	Métrica	Peor caso	Valor Esperado	Aplica	Entradas				Salida	Métrica /10	Sub total	Total
					A	B	T	X				
Comportamiento del tiempo	Tiempo de respuesta	>10 seg	0.20 seg	Si	2,53	2,79		0,26	9,74			
	Tiempo de espera	>10 seg	4 seg	Si	0,00	2,79		2,79	10,00			
	Rendimiento	0	=30 Seg	Si	11,00		30	0,37	9,17		7,23	
											9,66	
Utilización de recursos	Utilización de CPU			No								
	Utilización memoria	> 0.5 GB	0.25 GB	Si	1,71	2,00		0,29	9,71		2,43	
	Utilización dispositivos de E/S			No								

Tabla 3 – Valores de las métricas de la herramienta Vuforia.

De igual forma la tabla 4 muestra los resultados de la normativa aplicada sobre la app desarrollada en Wikitude, que obtiene un resultado de 7,86 puntos sobre 10, alcanzando un nivel de calificación Aceptable y un grado de satisfacción Satisfactorio.

Sub Característica	Métrica	Peor caso	Valor Esperado	Aplica	Entradas				Salida	Métrica /10	Sub total	Total
					A	B	T	X				
Comportamiento del tiempo	Tiempo de respuesta	>1 seg	0.5 seg	Si	2,22	3,15		0,93	9,07			
	Tiempo de espera	>10 seg	4 seg	Si	0,00	3,15		3,15	6,85		5,44	
	Rendimiento	0	=30 Seg	Si	7,00		30	0,23	5,83			
											7,86	
Utilización de recursos	Utilización de CPU			No								
	Utilización memoria	> 0.5 GB	0.25 GB	Si	1,91	2,24		0,33	9,67		2,42	
	Utilización dispositivos de E/S			No								

Tabla 4 – Valores de las métricas de la herramienta Wikitude.

Los resultados obtenidos a través de la norma pueden también ser observados en la gráfica de bigotes representada en la Figura 2, en la que se representan las medianas, para las cuatro métricas valoradas. Así, para el *tiempo de respuesta* la mediana alcanzada por la app de Vuforia es 0,25s, valor bajo respecto a los 0,95s obtenidos por la app de Wikitude. Sucede lo mismo respecto al *tiempo de espera*, cuya mediana en Vuforia es 2,78s frente a los 4,65s de Wikitude.

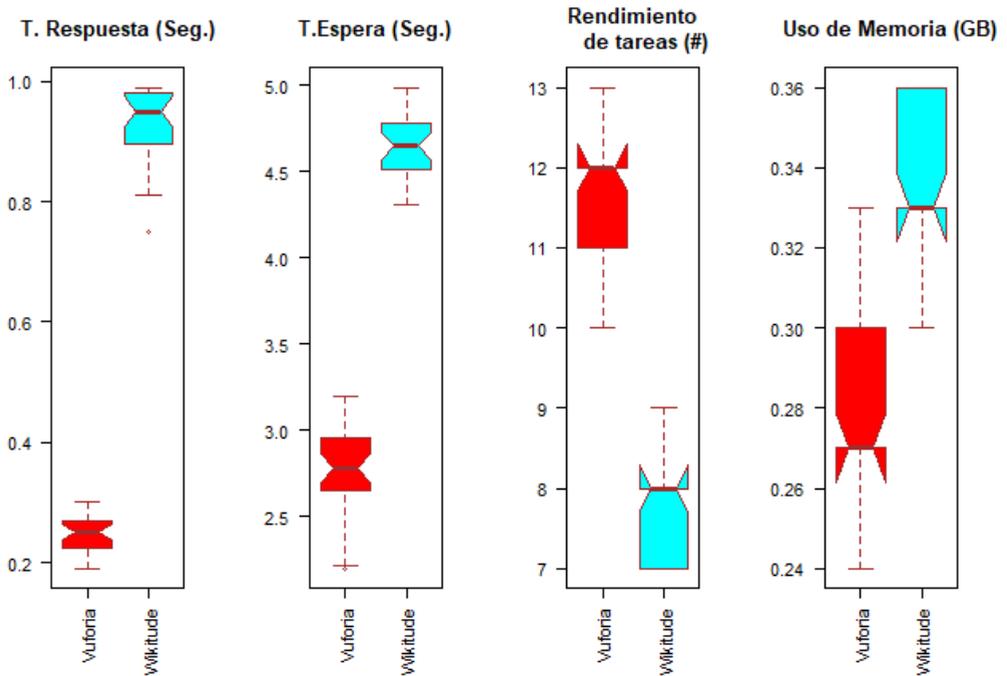


Figura 2 – Gráfica de Bigotes de las Medianas de las métricas

Los tiempos más bajos obtenidos en Vuforia influyen sobre el rendimiento, en una relación inversamente proporcional, ya que mientras en Vuforia se pueden ejecutar una mediana de 12 tareas en 30s, en Wikitude alcanza únicamente 8. En el caso de la memoria también Vuforia usa menos espacios memoria 0,27GB respecto a los 0,33Gb de Wikitude.

En la Figura 3 se puede visualizar como las medias de las variables medidas en Vuforia son menores a las obtenidas con Wikitude.

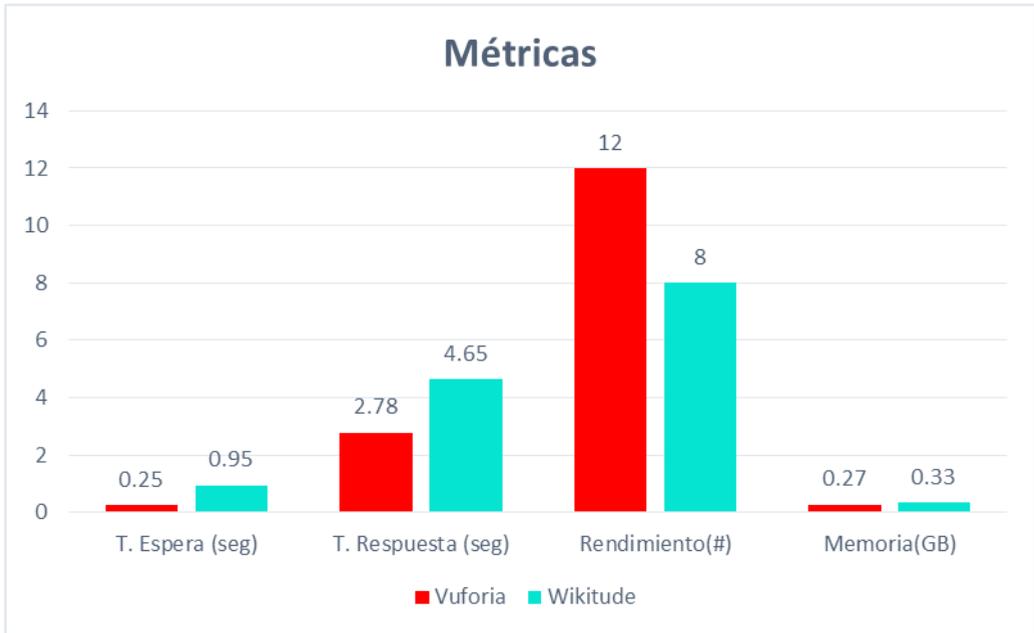


Figura 3 – Medias de las métricas

En bibliografía especializada se encontraron recientes estudios similares al que se presenta en este trabajo, aunque en áreas diferentes a la turística y no se encontró ninguno sobre aplicaciones de realidad aumentada.

El trabajo realizado por (Idri, A; Bachiri, M; Fernandez & Toval) se enfoca al igual que la presente investigación en la calidad externa de 14 apps gratuitas ya existentes relacionadas con el monitoreo del embarazo entre las que se incluye la características eficiencia del desempeño y se evalúa por medio de la asignación de pesos según el criterio de dos evaluadores. El presente trabajo se diferencia porque se centra únicamente en la característica de eficiencia y obtiene datos para la evaluación de la calidad a partir de la experimentación en un medio controlado sin que interfiera el criterio de los investigadores; además de la temática, para este trabajo se crearon las aplicaciones RA con elementos requeridos en una app de realidad aumentada tales como: imagen 3D, video 3D y georreferenciación en la app de Vuforia, no así en Wikitude, ya que al momento de la creación, el SDK de este software para Unity no soporta la geo localización mediante GPS, por lo que las pruebas se realizan únicamente con imagen 3D y video, para mantener las condiciones de igualdad entre las dos aplicaciones.

#### 4. Conclusiones

Al ser la eficiencia de desempeño un factor importante que forma parte de la calidad de software se observa que Vuforia, genera tiempos de respuesta y de espera que cumplen

con los valores deseados y que influyen en un mejor rendimiento, utilizando menos espacios memoria, recurso importante en los dispositivos móviles.

Es importante señalar que, pese a que en el proyecto se especifica el uso de un único smartphone, se realizaron pruebas con dos dispositivos adicionales, uno de mejores características y otro de especificaciones menores, pero con resultados similares.

## Referencias

- Abdullah, A. G., Mulyanti, B., & Rohendi, D. (2018). *Virtual gasoline engine based on augment reality for mechanical engineering education*. 16002, 1–6.
- Bond, A., Neville, K., Mercado, J., Massey, L., Wearne, A., & Ogreten, S. (2019). *Evaluating Training Efficiency and Return on Investment for Augmented Reality : A Theoretical Framework* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93882-0>
- Calabrese, J., Muñoz, R., Pasini, A., Esponda, S., Boracchia, M., & Pesado, P. (2018). Assistant for the evaluation of software product quality characteristics proposed by ISO/IEC 25010 based on GQM-defined metrics. *Communications in Computer and Information Science*, 790, 164–175. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-75214-3\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-319-75214-3_16)
- Colley, A. (2015). *Exploring AR Poster as an Interface to Personal Health Data*. (Mum), 422–425.
- Daniela, G., & Velasco, M. P. (2019). *Augmented Reality as a Methodology to Development of Learning in Programming*. 1, 327–340. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-05532-5>
- ISO, I. O. for. (2019). ISO 25010. Retrieved June 28, 2019, from <https://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010>
- Jamali, S. S., Shiratuddin, M. F., Wong, K. W., & Oskam, C. L. (2015). Utilising Mobile-Augmented Reality for Learning Human Anatomy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 197(February), 659–668. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.07.054>
- Karnouskos, S., Sinha, R., Leitao, P., Ribeiro, L., & Strasser, T. I. (2018). Assessing the Integration of Software Agents and Industrial Automation Systems with ISO/IEC 25010. *Proceedings - IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2018*, 61–66. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2018.8471951>
- Mendoza, I., Kalinowski, M., Souza, U., & Felderer, M. (2019). *Relating Verification and Validation Methods to Software Product Quality Characteristics: Results of an Expert Survey*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-05767-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-05767-1_3)
- Nobnop, R., Wongwatkit, C., Wongta, J., & Sopronronarit, K. (2018). A Development of 3D Augmented Reality Mobile Application to Facilitating Ecotourism-based Herbal Learning in MFU Botanical Garden. *The 26th International Conference on Computers in Education*, 563902.

- Salazar, F., Pineda, C., Arciniega, S., & Cervantes, N. (2019). Comparativa Técnica De Herramientas Para Realidad Aumentada: Wikitude, Vuforia Y Artoolkit. *Axioma*, 2(19), 86–96. <https://doi.org/10.26621/xv19.2018.12.a08.pucesi.2550.6684>
- Yang, H. (2012). Measuring software product quality with ISO standards base on fuzzy logic technique. *Advances in Intelligent and Soft Computing*, 137 AISC, 59–67. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-27866-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-642-27866-2_8)
- Youm, D., Seo, S., & Kim, J.-Y. (2019). Design and development methodologies of Kkongalmon, a location-based augmented reality game using mobile geographic information. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2019(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s13640-018-0395-2>
- Zhang, W., Han, B., & Hui, P. (2018). *Demo: Low Latency Mobile Augmented Reality with Flexible*. 829–831. <https://doi.org/10.1145/3240508.3240561>

© 2019. This work is published under <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>(the “License”). Notwithstanding the ProQuest Terms and Conditions, you may use this content in accordance with the terms of the License.