

Software Requirements and Architectures in the Transition from Classical to Quantum Systems: A Systematic Mapping of Gaps and Challenges

Oscar Santiago López Erazo¹³ , Juliana Delle Ville² , Juan Ignacio Vergara², Nicolas Ricciardi², Nicolas Tenaglia², Luis Freddy Muñoz¹ , Leandro Antonelli²⁴ , Vanessa Agredo-Delgado³ , Pablo Ruiz³ , Julio Ariel Hurtado³ , Cesar Collazos³ , Alejandro Fernández²  and Jose Garcia-Alonso⁵ 

¹ LOGICIEL, Fundación Universitaria de Popayán

{santiago.lopez, freddy.munoz}@docente.fup.edu.co

² LIFIA, Universidad Nacional de la Plata

{jdelleville, lanto, casco}@lifia.info.unlp.edu.ar

{juanignaciovergara14, nicoten99, ricciardinicolas75}@gmail.com

³ IDIS, Universidad del Cauca

{santiagolopez94, ahurtado, ccollazo, pablohernando, vanessaagredo}@unicauca.edu.co

⁴ CAETI, Facultad de Tecnología Informática, Universidad Abierta Interamericana

⁵ University of Extremadura

jgaralo@unex.es

Abstract. Quantum computing presents new challenges for software engineering, particularly in the specification of functional requirements (FRs), non-functional requirements (NFRs), and in the architectural design of hybrid (classical-quantum) systems. This article presents a systematic literature review to analyze how FRs, NFRs, and architectural decisions are addressed in classical software engineering and how these approaches are being adapted to the quantum domain. The results show that quantum software engineering inherits established frameworks from the classical domain, such as the use of System Requirements Specifications (SRS), quality standards like ISO/IEC 25010, and architectural styles such as layered, modular, and SOA. However, significant gaps are identified when transferring these approaches to the quantum context, due to the probabilistic nature of the algorithms, the presence of noise, decoherence, and hardware constraints. Furthermore, the lack of standardized metrics and mature methodologies for validating quality requirements in hybrid QPU-CPU environments is observed. This paper concludes that, although there is a conceptual basis inherited from the classical paradigm, it is necessary to develop specific frameworks that integrate requirements and architectures adapted to the particularities of quantum computing.

Keywords: Traditional Software, Quantum Software, Requirements, Architectures, Functional Requirements, Non-functional Requirements.

Requerimientos y Arquitecturas de Software en la Transición de Sistemas Clásicos a Cuánticos: Un mapeo Sistemático de Brechas y Desafíos

Resumen. La computación cuántica plantea nuevos desafíos para la ingeniería de software, particularmente en la especificación de requerimientos funcionales (FR), no funcionales (NFRs) y en el diseño arquitectónico de sistemas híbridos clásico-cuánticos. Este artículo plantea un mapeo sistemático de la literatura con el objetivo de analizar cómo se abordan FR, NFRs y las decisiones arquitectónicas en la ingeniería de software clásica y cómo estos enfoques están siendo adaptados al dominio cuántico. Los resultados evidencian que la ingeniería de software cuántico hereda marcos consolidados de ámbito clásico, como el uso de SRS, estándares de calidad como ISO/IEC 25010 y estilos arquitectónicos como capas, modular y SOA. Sin embargo, se identifican brechas significativas al trasladar estos enfoques al contexto cuántico, debido a la naturaleza probabilística de los algoritmos, la presencia de ruido, decoherencia y las restricciones del hardware. Asimismo, se observa la ausencia de métricas estandarizadas y metodologías maduras para validar requerimientos de calidad en entornos híbridos QPU-CPU. En el presente trabajo se concluye que, aunque existe una base conceptual heredada del paradigma clásico, es necesario desarrollar marcos específicos que integren requerimientos y arquitecturas adaptadas a las particularidades de la computación cuántica.

Palabras clave: Software Tradicional, Software Cuántico, Requerimientos, Arquitecturas, Requerimientos Funcionales, Requerimientos No funcionales.

1 Introducción

La ingeniería del software (IS) es una disciplina que se encarga de enfocar el desarrollo de software con una mirada sistemática a través del uso de métodos, técnicas y herramientas. Existen diferentes métodos de desarrollo (ciclos de vida) pero en general coinciden en etapas como: (i) elaborar requerimientos, (ii) realizar diseño (de alto y bajo nivel), (iv) codificar, (v) diseñar y ejecutar pruebas. En la etapa de requerimientos se especifican los mismos, los cuales constituyen el contrato sobre lo que tiene que hacer el sistema. El desafío más importante es capturar conocimiento y requerimientos, a la vez de identificar inconsistencias o carencias. En la etapa del diseño, se describen los diferentes componentes tecnológicos y cómo estos interactúan entre sí, es decir se realiza un diseño de arquitectura, aunque también incluye un diseño de bajo nivel. En la fase de la codificación, se implementan las diferentes funcionalidades del software en cuestión. En las pruebas, se confirma que el desarrollo no contenga errores y que los requerimientos se cumplen (Loucopoulos, 1995; Pressman, 2005). Los requerimientos son fundamentales debido a que definen lo que necesita un usuario y que debe cumplir el sistema antes de diseñarlo o incluso desarrollarlo. Una buena especificación de requerimientos permite reducir errores, alinear expectativas, evita retrasos costosos, planea adecuadamente el proyecto y asegura que el producto software sea útil y funcione (Loucopoulos, 1995). El desarrollo de productos software en general cuenta con procesos y prácticas reconocidas por la industria de software, teniendo como fases críticas el análisis de los requerimientos, donde se determinan las funcionalidades, las propiedades y los requerimientos de calidad que debe tener un producto software, los cuales dan lugar a las primeras aproximaciones al diseño de la solución que se plantean en forma temprana en la arquitectura del software (Oscar Santiago López Erazo & Julio Ariel Hurtado Alegria, 2023)(Lopez Erazo et al.,

2025). Dado que el desarrollo es un proceso en donde cada etapa se basa en la etapa anterior (Sin importar si el desarrollo es ágil o clásico), un error en la etapa de requerimientos se convierte en una bola de nieve que cuando el software es entregado al usuario puede ocasionar un costo de hasta 200 veces de reparación a que si hubiera sido detectado y corregido en la etapa de requerimientos mismos (Loucopoulos, 1995; Pressman, 2005). El software está determinado por un conjunto de requerimientos funcionales (FR) y no funcionales (NFRs). Los FR describen funcionalidades del sistema particular mientras que los NFR definen la calidad del producto final, es decir, qué criterios deben considerarse para implementar los FR. Los NFR en particular son importantes al diseñar un software ya que inciden en el diseño y la codificación (por ejemplo, en la arquitectura del software y en la calidad final del código escrito) (Hevia Oliver, 2020; López Erazo et al., 2024; Ojo-Gonzalez & Bonilla-Morales, 2021). En los últimos años, se vienen desarrollando diferentes tecnologías cuánticas para encontrar una nueva forma de procesar datos. La computación cuántica es un paradigma de computación basado en la mecánica cuántica. Aprovecha las virtudes que ofrece para potenciar más el procesamiento. Entre estas virtudes están el entrelazamiento cuántico y los estados de superposición (Murillo et al., 2025). Una de las ventajas de utilizar este tipo de tecnologías es que se pueden ejecutar algoritmos que con las tecnologías clásicas resultan intratables debido al tiempo de ejecución que demandarían, dado que debido al aprovechamiento de la propiedad de superposición realiza cálculos de forma paralela eficientemente (Awan et al., 2022). Si bien estas ventajas son bastante atractivas, emplear estos sistemas resulta bastante costoso y no es escalable. Además, al ser una tecnología que se encuentra en el estado del arte acarrea un conjunto de problemas (por ejemplo, la decoherencia) (Moguel et al., 2022; Murillo et al., 2025). Así como la computación clásica tiene a la ingeniería de requerimientos clásica para el análisis, diseño, desarrollo y pruebas. La computación cuántica tiene a la ingeniería de requerimientos cuántica. Esta misma tiene características similares a la clásica, ya que, al desarrollar un software cuántico, se tienen los requerimientos funcionales y no funcionales como en el software clásico. Por lo que la norma ISO/IEC 25010 utilizada en el software clásico resulta aplicable al software cuántico. Ambas tecnologías tanto clásica como cuántica coexisten entre sí y tienen sus respectivas ventajas (Hevia Oliver, 2020; López Erazo et al., 2024; Ojo-Gonzalez & Bonilla-Morales, 2021). Sin embargo, la elección de emplear una determinada tecnología sobre la otra resulta difícil (Yue, Mauerer, et al., 2023). En términos generales, los FR y NFRs constituyen la base sobre la cual se toman decisiones de diseño arquitectónico. Mientras los FR permiten identificar los principales procesos, servicios o componentes que el sistema debe incluir, los NFR orientan la forma en que dichos componentes deben organizarse e interactuar para cumplir con los requerimientos de calidad específicos. Así la arquitectura no surge de forma aislada sino como una respuesta estructural a las necesidades y restricciones definidas en la etapa de los requerimientos. En consecuencia, una adecuada comprensión y especificación de estos requerimientos facilita la elección de estilos arquitectónicos, patrones y tecnologías acordes con los objetivos del sistema, asegurando coherencia entre lo que se requiere y la solución técnica propuesta (Oscar Santiago López Erazo & Julio Ariel Hurtado Alegria, 2023) (Lopez Erazo et al., 2025). Por ello, este artículo tiene como objetivo analizar a través de un mapeo sistemático de la literatura, cómo se especifican y gestionan los requerimientos funcionales (FR), no funcionales (NFR) y las decisiones arquitectónicas en la ingeniería de software clásica, y como estos enfoques están siendo adaptados al dominio de la computación cuántica y a los sistemas híbridos clásico-cuánticos. El artículo se estructura de la siguiente manera: la Sección 2 presenta trabajos relacionados; la Sección 3 describe la metodología de mapeo sistemático adoptada; la Sección 4 describe el estado del arte; la Sección 5 presenta nuestros hallazgos y la respuesta a las preguntas de investigación

planteadas en la Sección 3. A continuación, se discuten nuestros hallazgos en la Sección 6 y se presentan las conclusiones en la Sección 7.

2 Trabajos Relacionados

Los siguientes trabajos concluyen que existe una brecha metodológica al momento de realizar especificaciones de software. En particular Sepulveda et al. (Sepulveda et al., 2024), en su trabajo presentan una revisión sistemática sobre ingeniería de requerimientos cuánticos para realizar un análisis comparativo entre NFR Y FR clásicos contra cuánticos. Comparan SRS, modelado de requerimientos y los atributos de calidad (ISO/IEC 25010) contra la confiabilidad probabilística, la tolerancia a errores, escalabilidad y dependencia de lo cuántico. Un desafío encontrado entre los resultados del trabajo indica que no existe una taxonomía consensuada de NFR cuánticos. Y además no existen métricas que permitan la trazabilidad de FR y los objetivos de negocio. Por otro lado, Aparicio-morales et al. (Aparicio-Morales et al., 2024), en su trabajo realizaron una revisión exploratoria con un enfoque en software cuántico. En este buscan establecer un vínculo con prácticas clásicas y consideran atributos de calidad como escalabilidad y mantenibilidad. Encontraron que existe una falta de estandarización en metodologías de FR y NFR aplicadas al software cuántico. También Rietsche et al. (Rietsche et al., 2022), realizaron una revisión general sobre el impacto de la computación cuántica en diversas disciplinas, entre ellas la ingeniería de software. Realizaron un estudio conceptual y exploratorio para ver cómo los avances afectan a la ingeniería de software. Para ello consideraron atributos como innovación, escalabilidad y robustez. Encontraron que existe una carencia de modelos metodológicos para trasladar requerimientos clásicos (FR y NFR) a sistemas cuánticos. Finalmente, Lopez et al. (López Erazo et al., 2024), realizan un mapeo sistemático para identificar cuáles son los requerimientos no funcionales impactados por esta nueva tecnología y la tendencia que estos mismos sistemas siguen en cuanto a arquitectura en el software para computación cuántica. A través de una revisión estructurada de literatura reciente, el estudio identifica que los NFR más citados son confiabilidad, rendimiento, escalabilidad y mantenibilidad, y que las arquitecturas predominantes son las híbridas basadas en capas y patrones como pipes y filters. La principal brecha encontrada es la falta de metodologías maduras y estandarizadas para especificar y validar calidad en sistemas cuánticos, lo que contrasta con la solidez existente en la ingeniería de software clásica. Otra problemática destacada por autores es la insuficiencia en cuanto a la especificación y evaluación de FR y NFR. En particular Desdentado et al. (Desdentado et al., 2025), en su trabajo realizaron una revisión sistemática con el objetivo de observar las diferentes soluciones y sus limitaciones enfocado al ciclo de vida de software. Para ello clasificaron las tecnologías, metodologías y métricas clásicas y cuánticas considerando cuestiones de calidad confiabilidad y usabilidad. Como resultado se encontró que existe una integración insuficiente de frameworks para especificar y evaluar FR y NFRs en proyectos cuánticos. También, Juárez et al. (Juárez-Ramirez et al., 2024), realizaron una revisión de literatura para identificar las habilidades necesarias para el desarrollo en computación cuántica en las cuales incluye ingeniería de software cuántica. En la revisión realizaron una clasificación de competencias que consideraron tanto habilidades técnicas como atributos de calidad. Encontraron que existe poca claridad sobre cómo las competencias impactan a la definición y validación de FR y NFRs en entornos cuánticos. Finalmente, Kumar et al. (Mandal et al., 2025), realizan en su trabajo una revisión sistemática del estado del arte para analizar cómo la computación cuántica puede impactar en ingeniería de software y cuales son posibles adaptaciones. En este trabajo realizan una clasificación de otros trabajos abordando la calidad, fiabilidad y testeo. Encontraron

que no existen métricas claras para medir FR y NFR en proyectos cuánticos. Además, la transición de métricas clásicas aún no está consolidada. El aporte significativo del trabajo radica en identificar y sistematizar las brechas existentes en la transferencia de marcos tradicionales como la ISO/IEC 25010, Software Requirements Specification (SRS) y estilos arquitectónicos consolidados hacia entornos cuánticos caracterizados por comportamiento probabilístico, ruido, decoherencia y restricciones de hardware. A diferencia de estudios que abordan únicamente requerimientos o arquitectura de forma aislada, este trabajo integra ambas dimensiones y evidencia la ausencia de metodologías, métricas y estándares específicos que permitan consolidar un marco de ingeniería de requerimientos y arquitectura adaptada a la computación cuántica.

3 Metodología

En este trabajo se realizó un mapeo sistemático siguiendo dos enfoques: (1) la guía para revisiones sistemáticas en ingeniería de software propuesta por Kitchenham (Kitchenham, B & Charters, 2007) y (2) la guía para realizar estudios de mapeo sistemático en ingeniería de software propuesta por Petersen et al. (Kai Petersen, Sairam Vakkalanka, 2015).

3.1 Preguntas de Investigación

La investigación en computación cuántica ofrece actualmente innumerables áreas de exploración. En este artículo abordamos aspectos específicos como requerimientos funcionales (FR), no funcionales (NFR) y las decisiones arquitectónicas en la ingeniería de software clásica, y cómo estos enfoques están siendo adaptados al dominio de la computación cuántica y a los sistemas híbridos clásico-cuánticos., basándonos en las siguientes preguntas, respectivamente:

1. ¿Cuáles son los marcos, estándares y estilos arquitectónicos consolidados para gestionar FR y NFR en la ingeniería de software clásica?
2. ¿Qué transformaciones requieren los FR, NFR y las decisiones arquitectónicas cuando se trasladan al contexto de la computación cuántica y sistemas híbridos?
3. ¿Qué vacíos metodológicos y de estandarización impiden consolidar un marco integrado de la ingeniería de requerimientos y arquitectura para software cuántico?

3.2 Cadena de búsqueda

Para crear la cadena de búsqueda, se identificaron los términos principales y posibles sinónimos con el fin de obtener la mayor cantidad posible de estudios primarios relevantes. Se identificaron las siguientes cadenas de búsqueda principales: "quantum computing", "quantum software", "quantum software engineering", "quantum-classical", "classical computing", "classical software", "traditional software", "functional requirements", "non-functional requirements", "requirements engineering", "NFRs", "quality attributes", también se identificaron. La cadena de búsqueda empleada es la siguiente: ("quantum computing" OR "quantum software" OR "quantum software engineering" OR "quantum-classical") AND ("classical computing" OR "classical software" OR "traditional software") AND ("functional requirements" OR "non-functional require-

ments" OR "requirements engineering" OR NFR OR "quality attributes") AND ("classical computing" OR "classical software") AND "traditional software" AND "functional requirements" AND "non-functional requirements" AND FR AND "quality attributes".

3.3 Estrategia de búsqueda

Los repositorios consultados fueron Scopus, Science Direct, IEEE Xplore y Springer. Se tomaron en cuenta los siguientes tipos de publicaciones artículos de investigación, artículos de conferencia, libros, reportes técnicos y trabajos de grado en lenguaje español cuyo periodo de publicación este entre 2020 y 2025. Las cadenas de búsqueda se aplicaron a los campos título, resumen y palabras clave.

3.4 Criterios de inclusión y exclusión

La búsqueda solo considera estudios académicos y profesionales realizados en congresos, revistas, informes técnicos o trabajos de posgrado. Se excluyen blogs personales, páginas web y trabajos escritos en español, con la excepción de algunos trabajos en español que se incluyeron por su contribución a la investigación. No se consideran trabajos que no se centren en requerimientos funcionales (FR), no funcionales (NFR) y las decisiones arquitectónicas en la ingeniería de software clásica, y como estos enfoques están siendo adaptados al dominio de la computación cuántica y a los sistemas híbridos clásico-cuánticos. Se excluyeron resúmenes de talleres y artículos duplicados de la misma búsqueda en diferentes repositorios. En los criterios se incluyeron aquellos trabajos reportados en artículos, conferencias, libros reportes técnicos y trabajos de grado entre 2020 y 2025. Además, estos deben estar escritos en español o en inglés y que contengan los términos de la cadena de búsqueda. Se tienen en cuenta principalmente estudios de requerimientos funcionales (FR), no funcionales (NFR) y las decisiones arquitectónicas en la ingeniería de software clásica, y como estos enfoques están siendo adaptados al dominio de la computación cuántica y a los sistemas híbridos clásico-cuánticos. Se excluyen aquellos trabajos que no cubran los temas anteriores, estudios abstractos o de contenido general, workshops (en el caso de full papers), contenidos de páginas web, blogs personales y folletos. Según Petersen *et al.* (Kai Petersen, Sairam Vakkalanka, 2015), la evaluación de la calidad es fundamental en las revisiones sistemáticas para determinar el rigor y la relevancia de los estudios primarios. En el mapeo sistemático, no es necesario, aunque se recomienda, realizar una evaluación de la calidad. El uso de la clasificación de los tipos de investigación según la categoría de las soluciones propuestas mencionadas en Wieringa *et al.* (Wieringa *et al.*, n.d.) contendría estudios sin evidencia empírica ni científica. Si bien estos últimos no suelen incluirse en revisiones sistemáticas, son importantes en los mapeos sistemáticos, ya que ayudan a detectar tendencias en los temas abordados. Por esta razón, en el presente estudio se incluyeron hallazgos con y sin evidencia empírica. Para refinar los estudios seleccionados, se utilizó la lista de verificación propuesta por Zarour *et al.* [19]. Para cada ítem hay tres posibles respuestas: Sí = 1 punto, No = 0 puntos y Parcialmente = 0,5 puntos. Utilizando el primer cuartil ($6/3 = 2$) como punto de corte, si una publicación obtiene una puntuación inferior a 2, se excluye de la lista de estudios finales para evitar artículos de baja calidad. La lista de verificación de criterios de calidad contiene las siguientes preguntas: (i) ¿Está suficientemente bien explicado el objetivo del estudio?, (ii) ¿Se explican claramente la idea, el enfoque y las limitaciones presentadas?, (iii) ¿Se tienen en cuenta las amenazas a la validez?, (iv)

¿Existe una descripción adecuada del contexto en el que se realizó el estudio?, (v) ¿Están claramente establecidos los resultados de la investigación? y (vi) ¿El estudio fue diseñado para lograr estos objetivos?.

4 Resultados del Mapeo Sistemático

Al aplicar las cadenas de búsqueda mencionadas anteriormente a los repositorios seleccionados, se obtuvieron 39 resultados. Estos resultados se filtraron por título, resumen y conclusiones, y se seleccionaron 20 artículos. Posteriormente, los criterios de inclusión y exclusión definen qué artículos se excluyen. Además, existe otro criterio basado en la calidad del trabajo, definido anteriormente. Con estos dos criterios aplicados, se seleccionaron 16 resultados. La sección 4 describe los artículos seleccionados en el filtro anterior. Aranda et al. (Párraga Aranda et al., 2025) proponen una herramienta conceptual para soportar el ciclo de vida de software híbrido cuántico-clásico, articulada a partir de procesos tradicionales de ingeniería del software inspirados en SWEBOK e ISO/IEC 12207, pero adaptados a las particularidades de los entornos cuánticos. En su enfoque, los requerimientos funcionales y no funcionales clásicos se definen mediante prácticas convencionales de elicitación, especificación y trazabilidad, apoyándose en atributos de calidad del estándar ISO/IEC 25010 como rendimiento, fiabilidad, mantenibilidad, seguridad y usabilidad. Para la parte cuántica, los FR se orientan a garantizar la correcta integración entre algoritmos cuánticos y componentes clásicos, mientras que los NFR consideran factores específicos del dominio, como el ruido, la decoherencia, la latencia asociada a colas de ejecución, los costos del procesamiento cuántico y la disponibilidad del hardware. Sin embargo, persiste una brecha importante, dado que aún no existen lineamientos ni métricas estandarizadas que permitan documentar y evaluar los NFR cuánticos con el mismo nivel de rigurosidad y comparabilidad que en las especificaciones de requerimientos tradicionales (SRS). Hacaloglu et al. (Hacaloglu et al., 2024) Analizan cómo se redactan y evalúan las Software Requirements Specifications (SRS) en proyectos que incluyen componentes cuánticos, apoyándose tanto en literatura especializada como en propuestas iniciales de SRS adaptadas a este nuevo contexto tecnológico. En el ámbito clásico, los FR y NFR se estructuran siguiendo los atributos de calidad del ISO/IEC 25010, que abarcan fiabilidad, rendimiento, mantenibilidad, seguridad y portabilidad. En contraste, los requerimientos cuánticos presentan particularidades: los FR se relacionan con la naturaleza probabilística de los resultados de los algoritmos cuánticos, mientras que los NFR dependen de factores técnicos como el ruido, la estabilidad del hardware, la latencia del sistema y el coste computacional asociado al uso de recursos cuánticos. No obstante, los autores identifican una brecha relevante, marcada por la ausencia de métricas específicas para evaluar NFR cuánticos y la falta de guías prácticas que orienten su adecuada incorporación dentro de las SRS. Yue et al. (Yue, Ali, et al., 2023), introducen el concepto de Quantum Software Requirements Engineering (QSRE) como un área emergente dedicada a adaptar la ingeniería de requerimientos al desarrollo de software cuántico, proponiendo un marco conceptual que compara metodologías clásicas de elicitación, trazabilidad y validación con las nuevas necesidades propias de este dominio. En el plano tradicional, los FR y NFR se articulan mediante casos de uso, escenarios y plantillas basadas en el estándar ISO/IEC 25010, considerando atributos como confiabilidad, mantenibilidad, seguridad y usabilidad. En cambio, los requerimientos cuánticos incorporan aspectos técnicos específicos del paradigma, incluidos las limitaciones físicas de los qubits, los efectos de la decoherencia, la probabilidad de éxito de los algoritmos cuánticos y la disponibilidad de simuladores como

factores determinantes para su definición. Pese a ello, los autores resaltan una brecha significativa, derivada de la ausencia de plantillas, procesos y métricas operativas que permitan aplicar el QSRE de manera práctica y estandarizada en entornos reales. Paola Spoletini (Spoletini, 2023), plantea una reflexión inicial sobre cómo la ingeniería de requerimientos debe transformarse ante los desafíos que introduce la computación cuántica, desarrollando un enfoque exploratorio y conceptual que contrasta las prácticas tradicionales de especificación y trazabilidad con las exigencias emergentes del dominio cuántico. En el ámbito clásico, los FR y NFR siguen los lineamientos habituales sustentados en atributos de calidad del estándar ISO, como rendimiento, seguridad, portabilidad y mantenibilidad. Sin embargo, en el contexto cuántico, la autora destaca la necesidad de incorporar nuevos NFR, entre ellos la latencia de ejecución en hardware cuántico, la tolerancia al ruido y la escalabilidad de los circuitos, factores críticos para la correcta operación de sistemas híbridos. Aun así, Spoletini identifica una brecha importante, puesto que aún no existen metodologías prácticas ni evidencia empírica que permitan validar y aplicar sistemáticamente estos requerimientos en proyectos reales que combinan componentes clásicos y cuánticos. Faryal et al. (Faryal et al., 2022), examinan la aplicabilidad de los parámetros de calidad clásicos al software cuántico, desarrollando un estudio comparativo entre los atributos del estándar ISO/IEC 25010 y las particularidades de los entornos cuánticos, tanto en simuladores como en hardware NISQ. En el ámbito tradicional, los FR y NFR abarcan características como fiabilidad, usabilidad, mantenibilidad, rendimiento, portabilidad y seguridad. No obstante, los requerimientos cuánticos exigen una redefinición de estos parámetros: el rendimiento debe contemplar el tiempo de ejecución junto con la latencia asociada a las colas de hardware, la fiabilidad está ligada a la resiliencia al ruido, y la disponibilidad y el coste de acceso al hardware cuántico se convierten en factores decisivos. A partir de este análisis, los autores identifican una brecha crítica, subrayando la necesidad urgente de desarrollar un marco estándar de atributos de calidad específicamente adaptado a los entornos cuánticos actuales. Agrawal et al. (Maass et al., 2024), Proponen un ecosistema de servicios potenciados por computación cuántica enfocado en la simulación de procesos de manufactura. Integran arquitecturas clásicas de servicios (SOA) con modelos cuánticos de optimización, empleando un enfoque experimental y de validación en casos industriales. Basados en arquitecturas orientadas a servicios, con atributos de calidad como escalabilidad, interoperabilidad, disponibilidad y seguridad. Los FR incluyen la ejecución de algoritmos de optimización en hardware cuántico; los NFR abarcan robustez frente a ruido, coste de acceso a hardware y latencia. Aún no se definen metodologías claras para especificar NFR cuánticos en ecosistemas industriales ni su medición en entornos de simulación real. Azeem et al. (Akbar et al., 2023), presentan un modelo conceptual para evaluar la preparación de sistemas clásicos en procesos de migración hacia computación cuántica. Usan un enfoque conceptual-modelado, combinando criterios de madurez tecnológica y métricas de readiness. Basados en prácticas tradicionales de migración y calidad de software, con atributos como mantenibilidad, escalabilidad y rendimiento. FR asociados a adaptación de algoritmos; NFR incluyen disponibilidad de hardware cuántico, precisión de resultados y complejidad de orquestación híbrida. No existen métricas formales de readiness para guiar la transición clásico-cuántico ni estándares de documentación de requerimientos en dicho proceso. Sanchez-Rivero et al. (Sanchez-Rivero et al., 2024), trabajan guías iniciales para la construcción de oráculos cuánticos reutilizables en diferentes algoritmos. Se apoyan en metodologías clásicas de diseño modular y buenas prácticas de reutilización, adaptándolas al contexto cuántico mediante ejemplos de oráculos. FR asociados a funcionalidad de módulos y NFR como mantenibilidad, reutilización y portabilidad. Los FR se centran en la correcta implementación de oráculos en circuitos; NFR incluyen eficiencia en uso de qubits, tolerancia al ruido y optimización de profundidad de circuitos. No existen plantillas ni frameworks estandarizados para documentar la

calidad de oráculos cuánticos reutilizables. Rainer Alt (Alt, 2022), explora mediante entrevista, la visión de IBM Research sobre el potencial de la computación cuántica en diferentes sectores. Metodología cualitativa, basada en entrevista semiestructurada y análisis interpretativo. Se mencionan indirectamente, vinculados a confiabilidad, escalabilidad y seguridad como atributos clásicos de software. NFR vinculados a fiabilidad del hardware, reducción de ruido, escalabilidad de algoritmos y coste de operación. Al ser un estudio exploratorio, no propone métricas o marcos formales para requerimientos cuánticos, dejando abierta la investigación futura. Moguel et al. (Moguel et al., 2022), analizan el panorama actual de la computación orientada a servicios en el contexto cuántico, resaltando desafíos y oportunidades. Estudio exploratorio y de análisis comparativo entre arquitecturas SOA clásicas y sus extensiones cuánticas. FR ligados a provisión de servicios y NFR como escalabilidad, interoperabilidad, disponibilidad y seguridad. FR centrados en la ejecución de servicios cuánticos y NFR relacionados con fiabilidad, latencia de comunicación híbrida y optimización de recursos cuánticos. No existen arquitecturas ni estándares consolidados que permitan especificar y medir NFR cuánticos en entornos de servicios. Serhieiev y Rud (Serhieiev & Rud, 2025), diseñan una arquitectura de laboratorio en línea para estudiar propiedades de materiales estructuralmente heterogéneos con soporte cuántico. Uso de metodologías de diseño arquitectónico clásico combinado con integración de modelos de simulación cuántica. Atributos como interoperabilidad, escalabilidad, disponibilidad y rendimiento. FR ligados a simulaciones cuánticas precisas y NFR como robustez frente a errores, latencia de acceso y precisión probabilística. Ausencia de estándares que guíen la definición de requerimientos de calidad en plataformas de laboratorio cuántico en línea. Sanchez-Rivero et al. (Sanchez-Rivero et al., 2023), proponen un oráculo eficiente para operar con enteros cuánticos en cálculos de múltiplos. Basado en metodologías clásicas de diseño de algoritmos y principios de eficiencia computacional, adaptados a circuitos cuánticos. FR asociados a corrección funcional y NFR vinculados a eficiencia y reutilización de componentes. FR orientados a implementación de oráculos en circuitos cuánticos; NFR incluyen optimización en número de puertas, profundidad de circuitos y reducción de ruido. No existen aún frameworks generales para evaluar la calidad de oráculos cuánticos en relación con métricas clásicas de eficiencia y mantenibilidad. Aritra Sarkar (Sarkar, 2024), propone una aproximación hacia la automatización de procesos en la ingeniería de software cuántico, buscando eficiencia en diseño y validación. Marco conceptual apoyado en técnicas de automatización clásicas y herramientas emergentes para programación cuántica. Se analizan atributos como productividad y eficiencia. Limitada evidencia empírica sobre la automatización en requerimientos cuánticos, falta definir cómo trasladar NFR clásicos a contextos híbridos. Juárez-Ramírez et al. (Juárez-Ramírez et al., 2023), proponen una taxonomía de conceptos fundamentales de computación cuántica vista desde la ingeniería de software. Análisis conceptual y comparativo entre fundamentos cuánticos y prácticas de software clásico, con foco en mantenibilidad y portabilidad. Carece de una guía práctica para aplicar esta taxonomía en la definición de FR y NFR en sistemas híbridos. Khan et al. (Khan et al., 2024), proponen un modelo basado en algoritmos genéticos para predecir el éxito de proyectos de software cuántico aplicando metodologías ágiles. Se usan modelos predictivos híbridos (clásicos y cuánticos), con atributos de calidad como adaptabilidad y predictibilidad de proyectos. Falta evidencia práctica sobre la efectividad del modelo en la especificación de FR y NFR en entornos reales de desarrollo cuántico. Akbar et al. (Azeem Akbar et al., n.d.), presentan un marco sistemático de toma de decisiones para enfrentar los desafíos en la ingeniería de software cuántico. Proponen un framework basado en criterios de evaluación que integra técnicas de software clásico con requerimientos específicos del dominio cuántico. Consideran atributos de calidad como confiabilidad, mantenibilidad y escalabilidad para

guiar las decisiones. Falta validación empírica del marco en proyectos reales de software cuántico; además, no se especifica claramente cómo operacionalizar los requerimientos funcionales (FR) y no funcionales (NFRs) dentro del framework.

5 Resultados

Q1 ¿Cuáles son los marcos, estándares y estilos arquitectónicos consolidados para gestionar FR y NFR en la ingeniería de software clásica?

En los artículos revisados, los FR y NFR clásicos se abordan siguiendo enfoques tradicionales de la ingeniería de software, sustentados en prácticas formales ampliamente aceptadas. Para fines prácticos de esta pregunta, se agrupa lo hallado de la siguiente forma: En los métodos tradicionales se encuentran trabajos que coinciden en que los FR Y NFR se gestionan con etapas como elicitación, especificación y trazabilidad según (López Erazo et al., 2024; Párraga Aranda et al., 2025; Spoletini, 2023; Yue, Ali, et al., 2023). También se hace uso de las plantillas de Software Requirements Specification y estructuras tradicionales como lo propone la ISO 830 y sus variantes (Hacaloglu et al., 2024). Además, se mencionan los casos de uso, escenarios, taxonomías y modelado de requerimientos. De igual forma, el modelado arquitectónico clásico que se apoya en estilos/patrones conocidos, como ejemplo arquitecturas modulares, SOA (Maass et al., 2024; Moguel et al., 2022; Serhieiev & Rud, 2025) y buenas prácticas de diseño orientado a componentes y reutilización (Sanchez-Rivero et al., 2024). El software está determinado por un conjunto de requerimientos funcionales (FR) y no funcionales (NFRs). Los FR describen funcionalidades del sistema particular mientras que los NFR definen la calidad del producto final, es decir, qué criterios deben considerarse para implementar los FR. Los NFR en particular son importantes al diseñar un software ya que inciden en el diseño y la codificación (por ejemplo, en la arquitectura del software y en la calidad final del código escrito). La mayoría de los trabajos se apoyan por la norma ISO/IEC 25010 que sigue siendo un estándar para evaluar, especificar y medir la calidad del software desde el diseño hasta su uso final, ayudando a garantizar que cumpla con las necesidades de los usuarios y requerimientos establecidos (López Erazo et al., 2024). En los artículos analizados aparecen de forma recurrente requerimientos como: Rendimiento (Azeem Akbar et al., n.d.; López Erazo et al., 2024; Maass et al., 2024; Moguel et al., 2022), Fiabilidad (Hacaloglu et al., 2024; López Erazo et al., 2024; Spoletini, 2023; Yue, Ali, et al., 2023), Mantenibilidad (López Erazo et al., 2024; Moguel et al., 2022; Sanchez-Rivero et al., 2024), Seguridad (López Erazo et al., 2024; Maass et al., 2024; Serhieiev & Rud, 2025), Usabilidad (Azeem Akbar et al., n.d.; Hacaloglu et al., 2024; López Erazo et al., 2024; Moguel et al., 2022), Portabilidad (Azeem Akbar et al., n.d.; López Erazo et al., 2024; Maass et al., 2024), Escalabilidad (Azeem Akbar et al., n.d.; López Erazo et al., 2024; Maass et al., 2024; Moguel et al., 2022), Interoperabilidad y disponibilidad (López Erazo et al., 2024; Maass et al., 2024; Moguel et al., 2022; Serhieiev & Rud, 2025). Estos requerimientos se tratan como dimensiones evaluables que se pueden integrar en las arquitecturas, Software Requirements Specification o el análisis de calidad. Los artículos muestran que la arquitectura de software clásica sigue siendo el punto de partida para los sistemas cuánticos actuales. Patrones tradicionales como modularidad, capas, cliente servidor y SOA (López Erazo et al., 2024; Maass et al., 2024; Moguel et al., 2022; Serhieiev & Rud, 2025), se reutilizan para estructurar aplicaciones híbridas con el objetivo de integrar componentes propios del dominio cuántico como ejecutores de trabajo, middleware QPU-CPU y traductores de circuitos. Esta adopción que se puede observar tras analizar los trabajos anteriormente mencionados debido a que no existe por el momento un marco arquitectónico cuántico estándar, por lo que

arquitecturas clásicas se emplean como guía para mantener los diferentes requerimientos como rendimiento, interoperabilidad, mantenibilidad y trazabilidad mientras se adaptan a desafíos como ruido, decoherencia y fidelidad. Aunque los FR y NFR clásicos se encuentran bien establecidos, varios artículos analizados señalan que se encuentran limitaciones cuando se intenta extenderlos a un contexto cuántico. Los requerimientos contemplados en la norma ISO/IEC 25010 no se ajustan directamente al hardware que se maneja en la tecnología cuántica, debido a que esta introduce ruido, decoherencia y variabilidad no contemplada en los modelos clásicos (Faryal et al., 2022; López Erazo et al., 2024; Spoletini, 2023) así mismo como que los programas clásicos producen siempre los mismos resultados bajo las mismas entradas. En el caso de los programas cuánticos que operan sobre qubits que pueden estar en superposición y entrelazados, al medirlos el resultado es inherentemente probabilístico, lo que quiere decir que las salidas dependen de las amplitudes de probabilidad del estado cuántico. También se menciona que existe poca evidencia empírica en sistemas híbridos que comprenden lo clásico-cuántico, esto conlleva a que validar NFRs en escenarios reales sea una tarea desafiante (Akbar et al., 2023; Azeem Akbar et al., n.d.; López Erazo et al., 2024; Sarkar, 2024). De igual forma, las plantillas tradicionales para SRS no contemplan requerimientos probabilísticos, ruido, qubits ni restricciones de conectividad lo que genera vacíos al documentar sistemas basados en ingeniería de software cuántico (Hacaloglu et al., 2024; López Erazo et al., 2024; Yue, Ali, et al., 2023).

Q2 ¿Qué transformaciones requieren los FR, NFR y las decisiones arquitectónicas cuando se trasladan al contexto de la computación cuántica y sistemas híbridos?

En esta sección se abordan tres temas principales en los sistemas cuánticos para poder responder a la pregunta Q2. Por un lado, (i) los métodos actuales encontrados en el estado del arte para definir FR y NFR en sistemas cuánticos. Por otro lado, (ii) se describirán los hallazgos encontrados con respecto a los atributos de calidad del software cuántico. Y finalmente se describirán (iii) los desafíos o falencias encontradas en los trabajos recopilados sobre los sistemas cuánticos. Con respecto al primer punto, la evidencia recolectada a partir del estado del arte en cuanto a las especificaciones de requerimientos cuánticos se encontró lo siguiente:

Por un lado, algunos trabajos hablan de adaptar especificaciones clásicas como SRS agregando algunas secciones específicas (Por ejemplo, ruido, decoherencia, conectividad y restricción de qubits). También, existen modelos híbridos de casos de uso y escenarios probabilísticos donde las salidas son no deterministas. En cuanto a las descripciones funcionales se observó que las mismas son descritas basadas en circuitos, operadores y transformaciones cuánticas en lugar de las funciones clásicas. Con respecto al modelado de arquitectura de software híbridas, se encontró que existe un modelo arquitectónico cuántico y clásico que incluye orquestación entre QPU y CPU, colas, gestores de jobs y middleware. Finalmente se encontró evidencia de primeros intentos de definir taxonomías para requerimientos cuánticos. En particular para entender las restricciones de hardware, fidelidad, errores y la profundidad de circuitos. Para los atributos de calidad, según la evidencia recolectada, algunos artículos coinciden en que ISO/IEC 25010 no se puede aplicar directamente al dominio cuántico. Sino que los NFR deben adaptarse para: Fidelidad Cuántica (exactitud del estado final, ruido, profundidad y ancho del circuito, topología de qubits, rendimiento no determinista, escalabilidad limitada y portabilidad). Además, existe un desafío debido a que los circuitos cuánticos no funcionan igual que los clásicos. Finalmente, la evidencia encontrada en el estado del arte resalta los siguientes desafíos: De los trabajos analizados se encuentra que no existe una estandarización equivalente a ISO/IEC 25010 para los sistemas cuánticos. Por lo que genera grandes inconsistencias en cómo definir los NFR para entornos cuánticos.

Del mismo modo, se destaca la falta de metodologías formales para especificar requerimientos probabilísticos que son usuales en la computación cuántica. Como consecuencia de lo anterior hay una carencia de plantillas SRS adaptadas al dominio cuántico. Los autores mencionan que existen algunas propuestas preliminares. Por otro lado, debido a la naturaleza de los sistemas cuánticos, la evidencia muestra que existe una incapacidad de predecir el comportamiento de los QPU. Por lo que dificulta documentar NFR como rendimiento, confiabilidad o disponibilidad. Además, hay escasez de evidencia empírica y benchmarks reproducibles por lo que validar requerimientos no funcionales termina siendo un desafío. Según la evidencia obtenida, los requerimientos clásicos como seguridad, mantenibilidad y usabilidad en sistemas cuánticos están muy poco estudiados y casi no aparecen en la mayoría de trabajos recopilados. A partir de toda la evidencia recopilada, se pudo observar que no hay suficientes trabajos metodológicos que amparen la escritura de requerimientos en los sistemas cuánticos. Además, el estándar clásico ISO/IEC 25010 no puede aplicarse directamente a la computación cuántica. Esto es debido a la naturaleza del software cuántico no determinista (probabilístico) y a que los circuitos cuánticos funcionan de forma diferente que los clásicos.

Q3 ¿Qué vacíos metodológicos y de estandarización impiden consolidar un marco integrado de la ingeniería de requerimientos y arquitectura para software cuántico?

Con el objetivo de analizar el resultado de las dos preguntas de investigación anteriores se busca establecer la relación entre las mismas enfatizando en la forma en que se abordan los requerimientos funcionales y no funcionales tanto en el software clásico como en el cuántico. Ambas secciones se relacionan en que la ingeniería de software cuántico parte del modelo clásico, pero al intentar aplicar sus mismos FR y NFRs surgen limitaciones debido a las características físicas del hardware cuántico y el comportamiento probabilístico de los mismos. En otras palabras, la ingeniería de software cuántico toma como partida los enfoques, estándares y arquitecturas. También hereda la forma de definir y gestionar tanto los FR como los NFRs pero al intentar aplicarlos correctamente, se evidencian limitaciones propias del dominio cuántico. En la pregunta uno del presente mapeo sistemático, los FR describen funcionalidades deterministas y los NFR definen atributos de calidad bien establecidos, normalizados y soportados por estándares como la ISO/IEC 25010, SRS tradicionales y arquitecturas consolidadas (Capas, SOA, Modulares). En la ingeniería de software clásica, los requerimientos de calidad se gestionan como dimensiones evaluables que se pueden integrar en documentos como el SRS y en la arquitectura del sistema usando prácticas como QAW (Quality Attribute Workshop). Estos requerimientos como rendimiento, seguridad, mantenibilidad, confiabilidad entre otros que se incorporan en decisiones de diseño mediante las arquitecturas anteriormente mencionadas. Esto permite que los FR y NFRs se definan de una manera clara, consistente y medible lo cual facilita la estructura técnica y el análisis de calidad del software (López Erazo et al., 2024). Sin embargo, en la pregunta dos del mapeo se evidencia que, aunque se intenta reutilizar las mismas estructuras como por ejemplo SRS o arquitecturas híbridas CPU-QPU, los requerimientos deben adaptarse o modificarse teniendo en cuenta los elementos exclusivos del dominio cuántico como el ruido, decoherencia, fidelidad, restricciones de conexión y los resultados no deterministas. En otras palabras, al trasladar estos mismos enfoques al ámbito cuántico surge una brecha significativa, debido a que la ingeniería de software cuántico parte del modelo clásico, pero no se puede aplicar de forma directa. Esto evidencia que, aunque la base conceptual es heredada, el entorno cuántico exige nuevos modelos, métricas, metodologías ya que no existen estándares definidos ni prácticas maduras

para manejar NFRs probabilísticos y la evidencia empírica para validar NFRs en escenarios reales. Con el objetivo de analizar las dos preguntas, se sintetizan NFRs identificados en la literatura, permitiendo comparar su relevancia y frecuencia tanto en el contexto clásico como en el cuántico.

El resultado muestra que los requerimientos de calidad en los estudios analizados corresponden principalmente a requerimientos no funcionales tradicionales de la ingeniería de software clásica, como fiabilidad (9), rendimiento (8), mantenibilidad (8), seguridad (8) y escalabilidad (7). Estos resultados son coherentes con lo hallado en la pregunta uno debido a que los NFRs se encuentran bien definidos, normalizados y gestionados como dimensiones evaluables a través de estándares como ISO/IEC 25010, SRS tradicionales y arquitecturas consolidadas. Asimismo, atributos como disponibilidad (6), portabilidad (5) e interoperabilidad (4) refuerzan la idea de que la literatura sigue priorizando criterios de calidad ampliamente aceptados y aplicables al diseño arquitectónico. Por otro lado, también se muestra una baja aparición de atributos como validación (2), usabilidad (3), reusabilidad (3), complejidad (1), robustez (1), precisión (1), predictibilidad (1), productividad (1) y adaptabilidad (1), lo que coincide con los hallazgos de la pregunta dos. Esta baja frecuencia se presenta porque existen dificultades para trasladar y evaluar estos NFR en el contexto cuántico, debido al comportamiento probabilístico de los sistemas, la influencia del ruido y la falta de métricas y metodologías específicas. Finalmente, los resultados confirman que la ingeniería de software cuántico parte de los requerimientos clásicos más consolidados, pero también se evidencia que existe una brecha significativa en la definición, adaptación y validación de NFR menos explorados, lo que resalta la necesidad de nuevos enfoques y estándares específicos para este dominio.

6 Discusión

Los resultados obtenidos a partir de la evidencia recolectada a lo largo del artículo permiten observar que la ingeniería de software cuántico hereda, en gran medida, los principios, prácticas y artefactos de la ingeniería de software clásica para el abordaje de los requerimientos funcionales (FR) y no funcionales (NFR). Sin embargo, no es tan sencillo como pasar de clásico a cuántico. Ya que por las características tanto físicas y computacionales de la cuántica introducen ciertas limitaciones que desafían las precondiciones tradicionales sobre los que se apoyan los modelos clásicos. En la ingeniería de software clásica están ampliamente consolidados los conceptos de FR y NFR. Dado a que los FR hablan sobre qué es lo que se va a implementar funcionalidad del sistema mientras que los NFR hablan sobre cómo debe ser el sistema, es decir, la calidad del mismo. Además, existen diversos estándares como ISO/IEC 25010 que se usan ampliamente en la industria. Sin embargo, en el ámbito de la ingeniería de software cuántica, la evidencia muestra que no están estandarizados ambos conceptos. Además, surgen otros NFR que pueden ser el ruido, topología de qubits, decoherencia entre otros que son particulares a los sistemas cuánticos. También existen otras cuestiones como los resultados probabilísticos y la particularidad de los estados no deterministas que no ocurren en los entornos clásicos (o son irreproducibles). Por el lado de las arquitecturas de software, los artículos muestran que la arquitectura de software clásica sigue siendo el punto de partida para los sistemas cuánticos actuales. Patrones tradicionales como modularidad, capas, cliente servidor y SOA (López Erazo et al., 2024; Maass et al., 2024; Moguel et al., 2022; Serhieiev & Rud, 2025) se reutilizan para estructurar aplicaciones híbridas con el objetivo de integrar componentes propios del dominio cuántico como ejecutores

de trabajo, middleware QPU-CPU y traductores de circuitos. Finalmente, para los sistemas híbridos existe poca evidencia empírica por lo que validar NFRs en escenarios reales sea una tarea desafiante en este contexto.

7 Conclusiones

Este trabajo, presenta un mapeo sistemático del estado del arte cuyo objetivo era responder tres preguntas sobre el abordaje de los FR y NFR tanto en ámbitos clásicos como cuánticos y su relación. A partir de la evidencia recolectada, se concluyó que existen desafíos para transferir conceptos que se utilizan en la ingeniería de software clásica a la cuántica. Debido a las características inherentes de la computación cuántica (por ejemplo, decoherencia, longitud del circuito, estados no determinísticos). Si bien en el ámbito cuántico se utilizan como punto de partida diversos elementos del ámbito clásico, se deben realizar diferentes adaptaciones para el ámbito cuántico. Por otra parte, en cuanto a especificación de requerimientos, en los sistemas clásicos están ampliamente estandarizados tanto los FR como los NFR. Pero, basada en la evidencia recolectada, en los sistemas cuánticos no existen metodologías ni estándares para los mismos. Además, debido a la naturaleza no determinista resulta difícil realizar validaciones y benchmarks sobre sistemas cuánticos. Por lo que existe un vacío entre los sistemas clásicos y cuánticos en cuanto a aplicar los conocimientos del ámbito clásico en el cuántico. Esto es debido a que los sistemas cuánticos funcionan de forma diferente a los clásicos. Por lo que normas como ISO/IEC 25010 no son aplicables de forma directa en la computación cuántica y se deben realizar adaptaciones para emplearlas.

Como trabajo futuro, se plantea avanzar más allá de la identificación de brechas hacia el desarrollo de marcos metodológicos y lineamientos concretos que orienten la adaptación o rediseño de estándares clásicos en contextos cuánticos. Adicionalmente, resulta necesario abordar la computación cuántica desde una perspectiva híbrida, dado el consenso en torno a la coexistencia y colaboración entre sistemas clásicos y cuánticos. Esto implica determinar qué aspectos de los modelos de calidad, arquitecturas y estándares existentes pueden heredarse del paradigma clásico y cuáles requieren enfoques completamente nuevos, contribuyendo así a la construcción de marcos de referencia más robustos para el desarrollo y evaluación de software cuántico.

Referencias

- Akbar, M. A., Khan, A. A., & Rafi, S. (2023). A systematic decision-making framework for tackling quantum software engineering challenges. *Automated Software Engineering*, 30(2), 22.
- Alt, R. (2022). On the potentials of quantum computing – An interview with Heike Riel from IBM Research. *Electronic Markets*, 32(4), 2537–2543. <https://doi.org/10.1007/s12525-022-00616-1>
- Aparicio-Morales, Á. M., Moguel, E., Bibbo, L. M., Fernandez, A., Garcia-Alonso, J., & Murillo, J. M. (2024). An overview of quantum software engineering in Latin America. *Quantum Information Processing*, 23(11), 380.
- Awan, U., Hannola, L., Tandon, A., Goyal, R. K., & Dhir, A. (2022). Quantum computing challenges in the software industry. A fuzzy AHP-based approach. *Information and Software Technology*, 147, 106896. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2022.106896>
- Azeem Akbar, M., Rafi, S., & Khan, A. A. (n.d.). *Classical to Quantum Software Migration Journey Begins: A Conceptual Readiness Model*.
- Desdentado, E., Calero, C., Moraga, M., & García, F. (2025). Quantum computing software solutions,

- technologies, evaluation and limitations: a systematic mapping study. *Computing*, 107(5), 1–60.
- Faryal, M., Rubab, S., Khan, M. M., Khan, M. A., Shehab, A., Tariq, U., Chelloug, S. A., & Osman, L. (2022). Studying efficacy of traditional software quality parameters in quantum software engineering. *Optical and Quantum Electronics*, 54(10), 611. <https://doi.org/10.1007/s11082-022-03943-x>
- Hacaloglu, T., Soubra, H., & Bourque, P. (2024). *Exploratory Review of Quantum Computing Software Requirements Specification and their Measurement*.
- Hevia Oliver, J. L. (2020). Requirements for quantum software platforms. *CEUR Workshop Proceedings*, 2705, 20–26.
- Juárez-Ramírez, R., Navarro, C. X., Jiménez, S., Ramírez, A., Tapia-Ibarra, V., Guerra-García, C., Perez-Gonzalez, H. G., & Fernández-y-Fernández, C. (2023). A taxonomic view of the fundamental concepts of quantum computing—A software engineering perspective. *Programming and Computer Software*, 49(8), 682–704.
- Juárez-Ramírez, R., Jimenez, S., Navarro, C. X., Guerra-García, C., Perez-Gonzalez, H. G., Fernandez-y-Fernandez, C., Ortiz-Hernández, J., & Cancino, K. (2024). Skills required for Quantum Computing: A comprehensive review of recent Studies. *Programming and Computer Software*, 50(8), 844–874.
- Kai Petersen, Sairam Vakkalanka, L. K. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.infsof.2015.03.007>
- Khan, A. A., Akbar, M. A., Lahtinen, V., Paavola, M., Niazi, M., Alatawi, M. N., & Alotaibi, S. D. (2024). Agile meets quantum: a novel genetic algorithm model for predicting the success of quantum software development project. *Automated Software Engineering*, 31(1), 34.
- Kitchenham, B & Charters, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. *Technical Report, Ver. 2.3 EBSE Technical Report. EBSE*, 1(January 2007), 1–54. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.117.471&rep=rep1&type=pdf>
- López Erazo, O. S., Delle Ville, J., Maltempo, G., Gómez, A., Muñoz, L. F., Hurtado, J. A., Antonelli, R. L., & Collazos Ordóñez, C. A. (2024). Mapeo Sistemático para la caracterización de los requisitos de calidad no funcionales y de las arquitecturas para computación cuántica. *XXX Congreso Argentino de Ciencias de La Computación (CACIC)(La Plata, 7 Al 11 de Octubre de 2024)*.
- Lopez Erazo, O. S., Hurtado Alegría, J. A., Hurtado Banguero, A. F., & Peñeñory Beltrán, V. M. (2025). IoTAP : Prácticas de diseño de la arquitectura y sus requisitos de calidad en el contexto de desarrollo de software basado en IoT. *Ingenierías USBMed*, 16(1), 68–83. <https://doi.org/10.21500/20275846.6301>
- Loucopoulos, P. . (1995). *System requirements engineering*. McGraw-Hill Book Co.
- Maass, W., Agrawal, A., Ciani, A., Danz, S., Delgadillo, A., Ganser, P., Kienast, P., Kulig, M., König, V., Rodellas-Gràcia, N., Rughubar, R., Schröder, S., Stautner, M., Stein, H., Stollenwerk, T., Zeuch, D., & Wilhelm, F. K. (2024). QUASIM: Quantum Computing Enhanced Service Ecosystem for Simulation in Manufacturing. *KI - Künstliche Intelligenz*, 38(4), 361–370. <https://doi.org/10.1007/s13218-024-00860-x>
- Mandal, A. K., Nadim, M., Roy, C. K., Roy, B., & Schneider, K. A. (2025). Quantum software engineering and potential of quantum computing in software engineering research: a review. *Automated Software Engineering*, 32(1), 27.
- Moguel, E., Rojo, J., Valencia, D., Berrocal, J., Garcia-Alonso, J., & Murillo, J. M. (2022). Quantum service-oriented computing: current landscape and challenges. *Software Quality Journal*, 30(4), 983–1002. <https://doi.org/10.1007/s11219-022-09589-y>
- Murillo, J. M., Garcia-Alonso, J., Moguel, E., Barzen, J., Leymann, F., Ali, S., Yue, T., Arcaini, P., Pérez-Castillo, R., García-Rodríguez de Guzmán, I., Piattini, M., Ruiz-Cortés, A., Brogi, A., Zhao, J., Miransky, A., & Wimmer, M. (2025). Quantum Software Engineering: Roadmap and Challenges

- Ahead. *ACM Transactions on Software Engineering and Methodology*, 34(5), 1–48. <https://doi.org/10.1145/3712002>
- Ojo-Gonzalez, K., & Bonilla-Morales, B. (2021). Requisitos no funcionales para sistemas basados en el Internet de las cosas (IoT): Una revisión. *I+D Tecnológico*, 17(2). <https://doi.org/10.33412/idt.v17.2.3303>
- Oscar Santiago López Erazo, & Julio Ariel Hurtado Alegria. (2023). *IoTAP : Prácticas de diseño de la arquitectura y sus requisitos de calidad en el contexto de desarrollo de software basado en IoT*. Universidad del Cauca.
- Párraga Aranda, J., Pérez del Castillo, R., & Piattini, M. (2025). *Tool for Quantum-Classical Software Lifecycle* (pp. 132–142). https://doi.org/10.1007/978-3-031-70807-7_10
- Pressman, R. S. . (2005). *Software engineering : a practitioner's approach*. McGraw-Hill.
- Rietsche, R., Dremel, C., Bosch, S., Steinacker, L., Meckel, M., & Leimeister, J.-M. (2022). Quantum computing. *Electronic Markets*, 32(4), 2525–2536.
- Sanchez-Rivero, J., Talaván, D., Garcia-Alonso, J., Ruiz-Cortés, A., & Murillo, J. M. (2024). *Some Initial Guidelines for Building Reusable Quantum Oracles* (pp. 197–208). https://doi.org/10.1007/978-981-97-0989-2_16
- Sanchez-Rivero, J., Talaván, D., Garcia-Alonso, J., Ruiz-Cortés, A., & Murillo, J. M. (2023). Operating with quantum integers: An efficient ‘multiples of’ oracle. *Symposium and Summer School on Service-Oriented Computing*, 105–124.
- Sarkar, A. (2024). Automated quantum software engineering. *Automated Software Engineering*, 31(1), 36.
- Sepulveda, S., Cravero, A., Fonseca, G., & Antonelli, L. (2024). Systematic review on requirements engineering in quantum computing: Insights and future directions. *Electronics*, 13(15), 2989.
- Serhieiev, V., & Rud, V. (2025). *Architecture of Online Laboratory for Modeling and Studying the Properties of Structurally Heterogeneous Materials* (pp. 457–467). https://doi.org/10.1007/978-3-031-82746-4_40
- Spoletini, P. (2023). Towards Quantum Requirements Engineering. *2023 IEEE 31st International Requirements Engineering Conference Workshops (REW)*, 371–374. <https://doi.org/10.1109/REW57809.2023.00072>
- Wieringa, R., Maiden, N., Mead, N., & Rolland, C. (n.d.). Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: a proposal and a discussion. *Requirements Engineering*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00766-005-0021-6>
- Yue, T., Ali, S., & Arcaini, P. (2023). Towards Quantum Software Requirements Engineering. *2023 IEEE International Conference on Quantum Computing and Engineering (QCE)*, 161–164. <https://doi.org/10.1109/QCE57702.2023.10201>
- Yue, T., Mauerer, W., Ali, S., & Taibi, D. (2023). Challenges and Opportunities in Quantum Software Architecture. *Software Architecture*, 1–23. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36847-9_1