

# IoTAP: Prácticas de diseño de la arquitectura y sus requisitos de calidad en el contexto de desarrollo de *software* basado en IoT

## IoTAP: Architecture Design Practices and their Quality Requirements in the Context of IoT-Based Software Development

Oscar Santiago López Erazo<sup>1</sup>  
Julio Ariel Hurtado Alegría<sup>2</sup>  
Andrés Felipe Hurtado Banguero<sup>3</sup>  
Victor Manuel Peñeñory Beltrán<sup>4</sup>

<sup>1</sup>IDIS, Universidad del Cauca Logiciel, Fundación Universitaria de Popayán.  
Email: [santiagolopez94@unicauca.edu.co](mailto:santiagolopez94@unicauca.edu.co)

<sup>2</sup>IDIS, Universidad del Cauca. Email: [ahurtado@unicauca.edu.co](mailto:ahurtado@unicauca.edu.co)

<sup>3</sup>LIDIS, Universidad de San Buenaventura Cali. Email: [afhurtado@usbcali.edu.co](mailto:afhurtado@usbcali.edu.co)

<sup>4</sup>LIDIS, Universidad de San Buenaventura Cali. Email: [vmpeneno@usbcali.edu.co](mailto:vmpeneno@usbcali.edu.co)

 OPEN ACCESS



### Copyright:

©2025. La revista *Ingenierías USBmed* proporciona acceso abierto a todos sus contenidos bajo los términos de la licencia [creative commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) Atribución no comercial SinDerivar 4.04.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.04.0)

**Tipo de artículo:** Revisión.

**Recibido:** 30-01-2023.

**Revisado:** 19-03-2025.

**Aprobado:** 19-06-2024.

**Doi:** 10.21500/20275846.6301

### Referenciar así:

O. S. López Erazo, J. A. Hurtado Alegría, A. F. Hurtado Banguero y V. M. Peñeñory Beltrán, "IoTAP: Prácticas de diseño de la arquitectura y sus requisitos de calidad en el contexto de desarrollo de *software* basado en IoT," *Ingenierías USBMed*, vol. 16, n.º 1, pp. 68-83, 2025.

### Disponibilidad de datos:

todos los datos relevantes están dentro del artículo, así como los archivos de soporte de información.

### Conflicto de intereses:

los autores han declarado que no hay conflicto de intereses.

**Editor:** Andrés Felipe Hernández.  
Universidad de San Buenaventura,  
Medellín, Colombia.

**Resumen.** El desarrollo de productos *software* en general cuenta con procesos y prácticas reconocidas por respectiva industria, al interior de la cual se han definido fases críticas como el análisis de los requerimientos. Precisamente, es al interior de esta donde se determinan las funcionalidades, las propiedades y los atributos de calidad que debe tener un producto *software*. En resumen, el principio de la arquitectura de *software*, en conjunto con buenas prácticas, puede aportar en la evolución, modelado, desarrollo y ejecución de productos *softwares* complejos basados en IoT, lo que fortalece la calidad y funcionalidad requeridas. Teniendo en cuenta eso, es evidente que hay una gran necesidad de cubrir, desde la ingeniería de *software*, y en lo que respecta a la construcción de soluciones, *softwares* basados en la IoT. Además, en este documento se presentan resultados de investigación como atributos de calidad y prácticas para *software* basado en IoT.

**Palabras Clave.** Calidad de *software*, Modelo de calidad, Aseguramiento de calidad, Requerimiento no funcional, Arquitectura de *software*, Internet de las cosas.

**Abstract.** The development of software products has processes and practices recognized by software industry, having as a critical phase the requirement analysis, where the functionalities, properties and quality attributes for a software product are determined. In summary, the principle of software architecture together with good practices can contribute to the evolution, modeling, development and execution of complex IoT-based software products, strengthening the required quality and functionality. Considering the above mentioned, it is evident that there is a great need that must be covered from software engineering regarding the construction of IoT-based software solutions. In addition, research results are presented as quality attributes and practices for IoT-based products.

**Keywords.** Software Quality, Quality Model, Quality Assurance, Non-Functional Requirement, Software Architecture, Internet of things.

## I. Introducción

Con la rápida penetración de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en las economías y en la vida cotidiana, y la necesidad de un mundo más interconectado, surgen paradigmas como el internet de las cosas (IoT): una red de objetos físicos y digitales que están conectados entre sí a través de protocolos estandarizados [1]. La IoT está compuesta por una infraestructura general, conformada a su vez por (i) hardware: elementos físicos y tangibles como las placas, los sensores y actuadores; (ii) conectividad de red: conexión que se realiza a través de internet; (iii) arquitectura: es la estructuración del producto *software* IoT, y (iv) *software*: código, algoritmos, programas y rutinas.

La IoT brinda nuevas oportunidades en muchos campos de aplicación, particularmente para la industria 4.0 en investigación, en tecnologías y su automatización, además de impactar de forma significativa en la vida cotidiana [2]. Su uso permite cerrar la brecha entre los objetos físicos y digitales, que terminan encapsulados en un único producto *software*. Para el 2020, se habían estimado 50 mil millones de dispositivos conectados al IoT [3], los cuales perciben, producen y comparten un gran volumen de datos, lo que evidencia la gran importancia de la calidad de estos productos IoT [4]. Por su parte, los estudios generados por la International Data Corporation (IDC) informan que el 31.4% de las organizaciones encuestadas habían lanzado soluciones IoT. Sin embargo, DZone, una empresa que se dedica a ofrecer información sobre las tendencias y preocupaciones de IoT, informó mediante una encuesta que el 87% de los desarrolladores no le prestan la suficiente atención a este nuevo tipo de paradigmas [5].

El desarrollo de productos *software* en general cuenta con procesos y prácticas reconocidas por su respectiva industria, entre ellos se encuentran fases críticas como el análisis de los requerimientos, en el que se determinan las funcionalidades, las propiedades y los atributos de calidad que debe tener un producto *software*. Estos permiten abordar las primeras aproximaciones al diseño de la solución que se plantean de forma temprana en la arquitectura del *software*. Sin embargo, en el contexto del desarrollo productos *software* que utilizan el paradigma de la IoT [6], dichos procesos y prácticas son aún muy incipientes. Tal paradigma hace posible que los niveles de automatización y autonomía de los productos *software* y servicios convencionales se incrementen de una forma rápida.

Sin embargo, dentro de los productos *softwares* basados en IoT existen grandes cantidades de productos, tan nuevos y desconocidos para los desarrolladores que requieren de mucha capacitación. Además, el ensamble de estos productos se realiza de manera *ad hoc*, lo que afecta la calidad de su construcción [5]. Esto se debe a que la IoT es considerada como parte de una

arquitectura de información global emergente basada en internet, la cual presenta una gran variedad de interrogantes tales como privacidad, protección de datos, seguridad, ética, interoperabilidad. Dichas incógnitas son notablemente diferentes en la internet convencional producto de su gran tamaño, volumen de datos generado y heterogeneidad [4].

La calidad de un *software* se define como el grado en el cual satisface los requisitos de los interesados y aporta de esta manera valor al negocio [7]. Particularmente, en la gestión de redes de dispositivos IoT, el valor al negocio puede llegar a comprometerse, puesto que esta tecnología tiene un gran impacto en términos de satisfacción del cliente gracias a su influencia en las relaciones de las organizaciones, clientes y proveedores. En el aspecto de organización, existe una alta complejidad para agregar sensores y datos a la variedad de los productos y procesos operativos de una empresa. Además, otro aspecto importante que se encuentra es el de costos variables, ya que, a diferencia de los productos *softwares* convencionales, en los que los costos son relativamente bajos, cada dispositivo IoT adicional puede generar continuamente grandes costos de mantenimiento. Esto teniendo en cuenta que la IoT es una red real de cosas físicas que pueden crecer súbitamente. Por último, se encuentran las implicaciones sociales, puesto no se sabe con exactitud cómo las personas reaccionarán a la incursión de estos dispositivos en su vida cotidiana [5].

De acuerdo con lo anterior, los productos *softwares* basados en IoT cuentan con un conjunto de características y subcaracterísticas referentes a la calidad del *software*, tales como funcionalidad, rendimiento, seguridad, mantenibilidad, entre otras, aunadas a una serie de particularidades propias del dominio de los sistemas ciberfísicos. La norma ISO 25010 plantea un modelo con el objetivo principal de definir las características y subcaracterísticas para un producto *software* en general [7]. Sin embargo, la mayoría de propuestas que abordan la calidad en dispositivos IoT presentan dificultades debido a que: (i) la IoT es una fusión compleja de tecnologías con *software* estrechamente relacionado con el hardware [4], [8], [9]; (ii) se requiere de metodologías específicas para el desarrollo y aseguramiento de la calidad de los productos *software* basados en la IoT [10]-[13]; (iii) hay una mayor dependencia de la calidad de los productos de *software* IoT respecto al campo, contexto, situación, ámbito y dominio [6], [14], [15]; (iv) existen deficiencias y retos en temas como la calidad del servicio, la heterogeneidad, los recursos limitados, la seguridad y privacidad del usuario, la confiabilidad del servicio, la interoperabilidad y la integración [2]-[5], [10], [16], [17], y (v) los patrones de arquitectura de IoT son muy específicos del dominio de aplicación [18]. Por tanto, es importante tomar las acciones necesarias con el fin de lograr un grado de confianza de un pro-

ducto *software* basado en IoT. Lo anterior con miras a mantener un conjunto de buenas prácticas para la especificación de una arquitectura de *software*, sobre todo una que responda a los requisitos de calidad del mismo producto [14].

Para los productos *softwares* basados en IoT, la arquitectura es un aspecto relevante, ya que ayuda en la abstracción de los componentes de hardware heterogéneos, garantiza operaciones fluidas mediante protocolos de red y aporta en la calidad de temas. Un ejemplo de esto son los componentes arquitectónicos, como los módulos de código ejecutable, que tienen el objetivo de facilitar interfaces programables y estandarizadas. Alcanzar algunos atributos de calidad requiere de una adecuada implementación y comprensión en la arquitectura, una labor realizada con el fin de comprender los efectos que estos puedan ocasionar sobre las soluciones y las organizaciones [19]. Como la arquitectura de *software* se tiene en cuenta en las etapas tempranas del ciclo de desarrollo *software*, es importante determinar la arquitectura correcta, según los requisitos de calidad planteados y su respectiva representación como escenarios concretos de atributos de calidad. Todo ello con el objetivo de contribuir al éxito de cualquier proyecto [20], [21].

En resumen, el principio de la arquitectura de *software*, aunado a buenas prácticas, puede aportar en la evolución, modelado, desarrollo y ejecución de productos *software* IoT complejos y dotados de múltiples recursos y funciones [22], lo que mejora la calidad y funcionalidad requeridas e incentiva el desarrollo de soluciones arquitectónicas de nueva generación para paradigmas como IoT [23], [24].

La selección y el cumplimiento de los atributos de calidad durante el desarrollo de *software* basado en IoT es una tarea compleja [25], en especial debido a que este tipo de sistemas son aplicados en diferentes dominios según los contextos de una gran variedad de procesos de negocio y tecnologías. Por lo anterior, se requiere tomar en cuenta los atributos de calidad de la arquitectura con el fin de lograr una adecuada funcionalidad de los sistemas (además del *software*), minimizar los riesgos y alcanzar una adecuada relación costo-beneficio durante su desarrollo [20], [26], [27].

Teniendo en cuenta lo anterior, es evidente la urgencia de cubrir, desde la ingeniería de *software* [5], [28] y en lo que respecta a la construcción de soluciones, *softwares* basados en la IoT. También es muy clave que el diseño de soluciones que satisfagan los aspectos de calidad, entre los que se destacan la interoperabilidad, seguridad, privacidad, escalabilidad, entre otras. Esto teniendo en cuenta que la seguridad/privacidad necesita mayor atención [29]-[31].

Por ello, se vuelve imperativo aportar a la calidad de productos *softwares* basados en la IoT desde las etapas tempranas del desarrollo, como lo son la arquitectura y

sus requisitos de calidad. Es importante resaltar, como lo plantean Larrucea *et al.* [5], que se debe investigar sobre las buenas prácticas de ingeniería de *software* para IoT, razón por la cual este trabajo se enfocará en plantear y evaluar un conjunto de prácticas de arquitectura y sus requisitos relevantes para favorecer la calidad de los productos *softwares* basados en IoT [32].

Las secciones restantes de este documento están estructuradas de la siguiente manera: la segunda sección presenta el trabajo relacionado; la tercera sección aborda la metodología, que informa sobre diferentes trabajos de investigación, así como los criterios de inclusión, exclusión y de calidad; la cuarta sección describe los resultados relacionados con cada pregunta de investigación abordada por este estudio, y por último, la quinta sección presenta algunas conclusiones y trabajos futuros.

## II. Trabajo relacionado

### A. Estudios sobre calidad de soluciones de *softwares* basados en IoT

El paradigma IoT aumenta los niveles de autonomía y automatización de los sistemas y servicios tradicionales, lo que ha llevado a su empleo en diferentes ámbitos y dominios de aplicación. En el estudio de Ojo-González y Bonilla-Morales [6], los autores realizan una revisión literaria apoyada con la norma ISO/IEC 25010. Allí identifican los requerimientos no funcionales comunes para sistemas IoT, como lo son la interoperabilidad, escalabilidad/flexibilidad, seguridad y sensibilidad al entorno. Además, cabe resaltar que estos requerimientos no son los únicos que deben ser abordados. No obstante, se ha logrado identificar aquellos requerimientos adicionales que requieren mayor atención si se tiene en cuenta los cuatro dominios de aplicación, tales como: ciudades, hogares, agricultura y fábricas inteligentes. Sin embargo, los sistemas IoT que presentan sensibilidad al entorno o contexto son independientes del dominio, una capacidad que les permite recolectar datos de múltiples sensores y actuar con base en dicha información. El desafío propuesto es independizar el diseño del dominio, que define cuáles aspectos del sistema se contemplan para cada una de las características.

Bures *et al.* [10], presentan un estado del arte que, desde la perspectiva de IoT, se enfoca en temas de seguridad. En él se menciona que aún persisten dificultades, denominadas brechas de seguridad, que atentan contra el usuario. Respecto a privacidad y confianza del usuario, se encuentra que se puede dar un uso indebido a los datos personales recopilados, y se menciona que se debe tener en cuenta la reconstrucción del retrato digital del usuario a partir de varios flujos de datos. Con respecto a los bancos de pruebas de IoT, se habla sobre configuraciones independientes, arquitecturas distribuidas y simulación de dispositivos físicos debido al costo del entorno de prueba físico. En cuanto al

aseguramiento de la calidad y técnicas de prueba, la investigación cubre el tema de las pruebas funcionales para IoT, específicamente en pruebas de integración, basadas en modelos y técnicas relacionadas. Dentro de los desafíos hallados se encuentra que el nivel de estandarización es insuficiente en temas como la legislación; las técnicas de aseguramiento lo son en temas relacionados a la seguridad, la confiabilidad, la interoperabilidad y la integración que se encuentran en este tipo de aplicaciones. También se menciona que todos los desafíos conllevan a una demanda para crear una metodología específica para el aseguramiento de calidad de aplicaciones IoT. Finalmente, se demostró que en el área de las metodologías de prueba y aseguramiento de calidad existe poco trabajo realizado.

En la época actual ya no es aceptable lanzar productos IoT al mercado sin la adecuada calidad, motivo por el cual Ahmed *et al.* [12], realizaron un mapeo sistemático para clasificar la evidencia hallada en la literatura a partir de 2009, que fue cuando se realizó la primera publicación de estudios aseguramiento de la calidad de IoT. La búsqueda de trabajos en el presente estudio se hace en términos de cuál es el número de documentos publicados en la última década acerca del aseguramiento de calidad, cuáles son los países activos en investigación, que aspectos de calidad se han tratado en trabajos anteriores, cuáles son las principales técnicas o conceptos de prueba que se han investigado previamente, cuáles son los dominios de aplicación específicos en el contexto de IoT desde la calidad y, por último, qué limitaciones/desafíos existen hoy en el aseguramiento de calidad. Los resultados de esta investigación evidencian la necesidad de realizar más trabajo en el contexto del aseguramiento de la calidad de IoT. Existen dos desafíos que aún deben ser solucionados: el primero, la heterogeneidad en general, ya que se encuentran varios tipos de soluciones que requieren métodos de prueba específicos; el segundo, la dificultad para centrarse en los niveles del sistema, incluida la capa física, los protocolos, el *firmware* y el *software* de un dispositivo en cuestión.

Es necesario desarrollar técnicas adecuadas para el aseguramiento de calidad en aplicaciones IoT. En ellas, se debe considerar, como norma fija, unos estándares de calidad, definidos como el patrón planificado y sistemático en el que se toman acciones necesarias con el fin de lograr un grado de confianza conveniente sobre un producto. Esto debe realizarse siempre con miras a satisfacer los requisitos técnicos de calidad dispuestos mediante pruebas, que, para este tipo de *softwares*, son muy importantes, ya que tienen como objetivo encontrar y corregir errores. Por ello, Foidl y Felderer [15] describen los requisitos de calidad que se encuentran cambiando en el ámbito de la IoT y los agrupan en seis categorías: Entorno, Usuario, Cumplimiento/Acuerdo de nivel de servicio, Organización, Seguridad y Gestión

de datos. Según el autor, debido a que el IoT aún está en sus inicios, existe una limitada información respecto a artículos académicos sobre control de calidad y pruebas. Debido al gran volumen de datos generados en los procesos de las aplicaciones IoT, la computación actual juega un papel importante en el aseguramiento de calidad. Manejar el gran volumen de datos generados por este tipo de aplicaciones se convierte en un gran desafío. También es importante aplicar técnicas, algoritmos y métodos para extraer conocimientos valiosos en dicho ámbito, además de las arquitecturas disponibles para que satisficieran dichas cualidades.

El rápido crecimiento y adopción de la IoT ha hecho que exista un aumento en el uso de la computación ubicua, conectividad, máquinas y, en general, personas que usan esta tecnología. Según Marwah y Sirshar [13], existen muy pocos parámetros para verificar y garantizar la calidad de aplicaciones, dispositivos y máquinas que usen la IoT. En su trabajo se presenta un estudio exhaustivo de las técnicas y metodologías utilizadas para la implementación de IoT, toda vez que los autores despliegan un amplio conocimiento en temas como estándares de aseguramiento de calidad y su respectiva comparación. En el artículo se evalúan técnicas de implementación contra parámetros de aseguramiento de calidad, con el fin de aumentar la confianza y satisfacción del cliente, lo que impacta en la credibilidad y le permite competir a la par de otros productos. Como desafío, se menciona que debería existir una metodología genérica para implementar IoT, que debe ser altamente personalizable para un dominio específico [13]. Un aspecto importante que se menciona dentro del estudio es que el aseguramiento de la calidad en IoT es una nueva era de investigación.

Debido a la amplia adopción de IoT en múltiples ámbitos, empleada como solución a necesidades específicas, Washizaki *et al.* [18], realizan una revisión sistemática con el fin de brindar una descripción general del panorama de la actualidad en temas como la arquitectura de sistemas y patrones de diseño para la IoT. Este propósito se logra mediante el análisis de un conjunto completo de patrones disponibles para IoT en la literatura. En su estudio se encontraron 32 investigaciones, con un rango de publicación entre los años 2014 al 2018. Estas tuvieron como finalidad ayudar a diseñar soluciones escalables y replicables mediante patrones de diseño. Además, los textos han encapsulado los problemas y soluciones comunes para reutilizarlos en contextos específicos. De los patrones extraídos en la presente revisión, se encuentra que aproximadamente el 57% de estos no son específicos de la IoT, lo que quiere decir que este tipo de sistemas se diseñan comúnmente con arquitecturas y patrones de diseño convencionales. Como desafío, se encuentra que los patrones de arquitectura de IoT tienden a realizar tareas específicas dependiendo del dominio de aplicación [2].

## B. Propuestas metodológicas sobre calidad de soluciones de *softwares* basados en IoT

La industria y la investigación actual están influenciadas por una nueva generación de sistemas *softwares* escalables altamente reactivos y, en algunos, casos con recursos limitados, un asunto muy característico de la IoT. Estos sistemas, por lo general, se encuentran en ámbitos críticos, por ejemplo, la medicina, la automatización industrial y la gestión de energía. Larrucea *et al.* [5], indican que en la actualidad existen una gran cantidad de sistemas IoT con una alta diversidad que es desconocida para los desarrolladores. Esto trae como consecuencia que las personas encargadas no estén preparadas para ensamblar sistemas IoT en serie, lo que afecta la calidad y las pruebas en asuntos como: (i) satisfacción de usuario, (ii) aspectos organizacionales, (iii) costos variables e (iv) implicaciones sociales. Además, se menciona que no ha surgido un conjunto consolidado de mejores prácticas de ingeniería de *software* para IoT. Sin embargo, las técnicas de ingeniería del *software* pueden ser adaptadas, aprovechadas y repensadas para los desafíos que plantean este tipo de sistemas, o, si es necesario, también es posible adecuarlas a nuevos enfoques que impliquen tener en cuenta la gestión de configuración para *softwares* dinámicos y en continua reconfiguración.

El crecimiento de la IoT ha sido muy acelerado debido a su gran potencial para solucionar problemas de investigación. A pesar de este rápido crecimiento, en la actualidad se lanzan sistemas IoT sin las pruebas indicadas y adecuadas, lo que causa serias dificultades en su calidad e impide garantizar la satisfacción del usuario. Por ello, Sirshar *et al.* [9], revisan técnicas de prueba en usabilidad, confiabilidad, escalabilidad, compatibilidad de *hardware-software*, seguridad, rendimiento, conectividad, comparativa, piloto, funcional, red, interoperabilidad y APIs mediante inteligencia artificial y herramientas con el fin de generar casos de prueba. Este tipo de técnicas se clasifican por capas, las cuales son aplicación, servicio, red-puerta y sensor. La prueba de dispositivos y capas en IoT se vuelve una tarea desafiante, debido a que IoT es una arquitectura en la que el *software* está estrechamente entrelazado con el *hardware*. Otro desafío que se menciona es la escalabilidad de este tipo de sistemas en contexto con la calidad de *hardware*, seguridad y problemas de privacidad.

Arakaki *et al.* [11], abordan cuán defectuoso podría ser un sistema de Internet de las cosas si se implementa sin la calidad de la ingeniería. Para ello, introducen los fundamentos de la arquitectura necesarios según las referencias arquitectónicas sobre cómo diseñar y construir sistemas IoT mediante atributos de calidad presentes en la norma ISO/IEC 25010. Esto con el fin de conseguir sistemas resilientes, flexibles, confiables y tolerantes a fallas. Además, el trabajo de Arakaki *et al.* [11], muestra la infraestructura general de dichos sistemas (actuadores, sensores y nube). Para ellos, las

dudas giran en torno a la manera en la cual se debería evaluar la calidad con base en lo dicho anteriormente. Los autores enfatizan en la urgencia de evaluar los atributos de calidad en los actuadores, sensores, nube y el sistema en general. Si se hace caso omiso a esta directriz, se puede correr el riesgo de introducir defectos y desarrollar estos sistemas sin la calidad adecuada. El trabajo incluye un estudio de caso con el objetivo de mejorar aspectos de disponibilidad y mantenimiento aplicado al dominio de hogares inteligentes. En él se utiliza un modelo de cadena de Markov. Asimismo, se evidencia la necesidad de construir un sistema IoT tomando en cuenta aspectos como los componentes fuertes (recursos de computación en la nube) y los componentes débiles (sensores y actuadores).

Baños *et al.* [14], desarrollan una metodología para evaluar la calidad de una aplicación IoT en términos de arquitecturas de *software*. La metodología está basada en los atributos de calidad propuestos por la ISO/IEC 25010. También se aborda un conjunto de metodologías para evaluar las arquitecturas de estas aplicaciones, a la vez que se identifica cuáles características y subcaracterísticas de calidad deben estar en un modelo de calidad. Para lograr este propósito, se identifican los atributos que permiten asegurar la calidad del *software* en aplicaciones IoT, se selecciona un grupo de metodologías de evaluación para arquitecturas IoT con base en la literatura y los atributos mencionados anteriormente. Partiendo de las metodologías comentadas, los autores proponen una nueva metodología de evaluación de la calidad de *software* para este ámbito, la cual permite validar dicha propuesta en aplicaciones IoT. Este trabajo también menciona que, según el campo, contexto o situación, algunas de estas características y subcaracterísticas toman más relevancia que otras. Además, no todos los modelos de evaluación de calidad encontrados actualmente en la literatura pueden ser aplicados en el contexto de IoT.

## C. Herramientas sobre calidad de soluciones de *softwares* basados en IoT

La determinación de características de calidad en aplicaciones IoT es muy importante ya que varía según los requisitos y funcionalidades del sistema, así como los dispositivos requeridos. Los requisitos de calidad no funcionales son fundamentales en ese tipo de aplicaciones porque permiten la evaluación de estas mismas en términos de aplicabilidad y funcionalidad. Debido a esto, Kiruthika y Khaddaj [2] abordan la calidad de servicio (QoS) a partir de la infraestructura del IoT, compuesta por *hardware*, conectividad de red, arquitectura, algoritmos y *software*. De la misma forma, se clasifica la calidad del servicio en IoT en factores como: seguridad, rendimiento, usabilidad, fiabilidad, robustez, interoperabilidad y escalabilidad. Además, se abordan problemas de calidad del servicio con base en los facto-

res fundamentales para diseñar y desarrollar modelos para sistemas IoT, a la vez que se consideran desafíos, entre ellos la estandarización de este tipo de sistemas, con el fin de mantenerse actualizados con la evolución de la tecnología.

Existen algunos enfoques convencionales de medición de la calidad de *software* que aún deben mejorarse y adaptarse para las necesidades de las aplicaciones IoT. Por esta razón Tambotih *et al.* [3], realizan, mediante la revisión de la literatura, una descripción general del modelo de calidad del *software* para IoT, el cual se basa en ISO/IEC 25010 y en los atributos de calidad de la información de COBIT 4.1. En su trabajo, los autores examinan métricas correspondientes a los atributos del modelo y de calidad de la información mencionados anteriormente. Para esto, primero determinan y mapean las características del IoT con subcaracterísticas y atributos en ISO/IEC 25010; luego, identifican los atributos de calidad que son consistentes con la calidad de la información en COBIT 4.1, y posteriormente, se crea una fórmula y su respectiva escala de medición de calidad y, finalmente, se propone un modelo de calidad para la IoT. El reto identificado es que, con millones de *software* y hardware conectados, se tenga en cuenta la calidad del servicio con el control de calidad en la IoT.

Kim [8] propone un modelo de calidad para aplicaciones IoT basado en la norma ISO/IEC 9126, que plantea cinco características de la IoT: (i) participación de dispositivos *hardware*, (ii) modelo de colaboración de dispositivos IoT, (iii) movilidad y conectividad, (iv) monitoreo remoto para dispositivos IoT y (v) recursos limitados (batería, memoria). Cada una de las 5 características de la IoT es descrita y mapeada con las características de calidad funcionalidad, confiabilidad, eficiencia y portabilidad propuestas por la ISO/IEC 9126. Durante el mapeo el autor planteó cómo los subfactores de calidad afectan las características de la IoT. El modelo propuesto además aborda un conjunto de métricas para evaluar la calidad de aplicaciones IoT según el mapeo realizado. El reto del presente estudio es hallar la manera de medir la calidad de las aplicaciones IoT, ya que estas mismas son una fusión compleja de tecnologías como redes inalámbricas, sensores y conectividad. Además, debe considerarse que es muy diferente medir la calidad de *softwares* IoT en comparación con los convencionales.

Los dispositivos IoT contralados por aplicaciones poseen una conectividad, heterogeneidad y variedad muy alta, ya que su función está en producir y compartir una gran cantidad de información. Un motivo por el que Temkar y Bhaskar [4] adaptaron el modelo de calidad ISO/IEC 25010 para cubrir las necesidades de aseguramiento de la calidad de las aplicaciones de IoT. Para ello mapearibn las características del modelo mencionado con las características de las aplicaciones IoT, como dispositivos de *hardware* inteligente, colaboración entre *software* y *hardware*, conectividad de red (inalám-

brica y móvil), monitoreo remoto de dispositivos IoT y recursos limitados de batería-memoria. El trabajo incorpora estas nuevas características de las aplicaciones IoT al modelo convencional e introducen un enfoque para diseñar la evaluación del aseguramiento de calidad mediante factores. Además, se detallan las subcaracterísticas de la norma, así las métricas necesarias para el aseguramiento de calidad. Todo lo anterior plantea el desafío de concentrarse en el aseguramiento de la calidad de dichas aplicaciones.

Los sistemas IoT hoy en día tienen un gran impacto en nuestras vidas, debido a que automatizan ciertas tareas en la cotidianidad. En consecuencia, estos sistemas deberían estar libres de defectos y ser de alta calidad. Abdallah *et al.* [16], proponen un modelo de calidad para IoT que consiste en agregar un nuevo conjunto de características para precisar aún más en un modelo específico para esta tecnología, uno regido por la norma ISO/IEC 25010. Las características que se incluyen para lograr este propósito son: inteligencia, conectividad, enorme escala, censado, cambios dinámicos/naturaleza, heterogeneidad y seguridad. Este modelo se centró en todas las características relacionadas con dichos sistemas, mediante las cuales se aportan factores de calidad medibles. El reto que se presenta corresponde a que la calidad de estos sistemas debe medirse de manera diferente, sin ignorar la presencia de entidades heterogéneas en la conformación del IoT.

Como resultado de toda la investigación realizada en los pasos anteriores, se obtiene una tabla resumen que contiene las quince referencias seleccionadas, las cuales fueron clasificadas por año, tipo de contribución, la validación realizada por los estudios clasificados, si emplean o no un modelo de referencia —como la norma ISO/IEC 25010, ISO/IEC 9126 o COBIT 4.1— y, por último, el dominio de aplicación en el que se realiza la propuesta seleccionada. Además, hemos incluido la manera cómo se diferenciaría la propuesta de investigación de las presentes en el estado del arte.

#### **D. Estudios adicionales investigados sobre calidad de soluciones de *softwares* basados en IoT**

Según Rafique *et al.* [33], el desarrollo de productos *softwares* basados en internet de las cosas plantea desafíos enormes debido a la falta de marcos, herramientas y técnicas de desarrollo estándar que ayuden a los usuarios finales con el objetivo de hacer menos complejos este tipo de productos. Por ello, su estudio plantea un marco de desarrollo de productos *softwares* basados en IoT, denominado como IADev, que usa el método ADD y Model Driven Development (MDD). Este marco se compone de dos partes principales: la primera, que hace referencia a arquitectura iterativa mediante el diseño basado en atributos; la segunda, enfocada en la generación de modelos para guiar la transformación mediante MDD. IADev utiliza ADD para transformar los requisi-

tos recolectados en una arquitectura al considerar todas las preocupaciones de parte de los interesados. Como desafío principal, se encuentra que en el desarrollo de un ciclo de vida estándar para un producto *software* basado en IoT es esencial que se cumpla con los requisitos de las partes interesadas, se aborden todas las fases del desarrollo y se satisfagan los paradigmas de implementación heterogéneos.

IoT es un paradigma que puede cambiar la vida cotidiana como la conocemos en diferentes temas o contextos, entre ellos la agricultura y la alimentación. En Verdow *et al.* [34], se propone, desarrolla y aplica un marco de arquitectura para modelar productos *softwares* basados en IoT en el dominio de la agricultura y la alimentación. Este marco está compuesto por un conjunto de puntos de vista coherentes que sirven de guía para modelar arquitecturas individuales de dichos productos. También, se menciona que, debido a las diferentes inquietudes que deben abordarse para una gran cantidad de productos existentes, no se debe fijar tan solo un conjunto de puntos de vista, sino que se pueden introducir múltiples. Un método sugerido para llevar esto a cabo es VaB [34], que proporciona un mecanismo para adaptar o agregar los diferentes puntos de vista. El desafío que se menciona en el estudio descrito anteriormente es sobre cómo contribuir con la enorme heterogeneidad para la adopción a gran escala de la IoT.

La seguridad es un aspecto muy importante en la IoT. Por ello, Aman y Snekenes [35] plantean una propuesta de seguridad adaptativa para productos *softwares* basados en IoT, que se describe como la forma de compensación autónoma y dinámica en la cual se toman decisiones en tiempo de ejecución. Este es un atributo deseable y fundamental para este paradigma. En dicho documento, se plantea un enfoque basado en escenarios para evaluar y reconocer situaciones típicas de compensación. Además, se demuestra que es posible automatizar una respuesta de mitigación de compensación óptima para IoT mediante la evaluación de requisitos contextuales, QoS, preferencias del usuario, las capacidades de los objetos inteligentes y el riesgo enfrentado en tiempo de ejecución. Además, en el mismo texto, ATAM sugirió un enfoque basado en escenarios para realizar un análisis a los enfoques de diseño que abordan varios atributos de QoS en arquitecturas *software*. Los autores plantean que, debido a la complejidad de las arquitecturas IoT, es un desafío reconocer, evaluar y modelar posibles situaciones de compensación mediante seguridad adaptativa.

En la época actual han cobrado una gran importancia los temas de la disminución de los recursos naturales, las tierras donde se puede cultivar y las condiciones impredecibles del clima y el medio ambiente. Debido a ello, Quy *et al.* [36], realiza una encuesta de soluciones de IoT para demostrar cómo se puede integrar IoT en el sector de la agricultura inteligente. La finalidad es

problematizar la visión de los ecosistemas de agricultura disponibles para IoT mediante la evaluación de su arquitectura (dispositivos IoT, tecnologías de comunicación, almacenamiento y procesamiento de big data), sus aplicaciones y el cronograma de investigación. Por otro lado, se estudian cuáles son las tendencias y oportunidades de las aplicaciones intensivas en agricultura para IoT y también se plantean los problemas abiertos y los desafíos de la aplicación de IoT en este dominio.

La llegada de IoT ha promovido nuevas ideas y dominios de investigación innovadores, toda vez que el paradigma mencionado anteriormente apenas empieza a manifestarse. En este sentido, se abren las posibilidades para experimentar en el dominio de la agricultura inteligente. En su trabajo [37], Ray revisa varias aplicaciones asociadas con IoT, sus problemas y los desafíos específicos relacionados con la implementación de IoT para mejorar la agricultura. Allí se centró en los requisitos específicos, a la vez que analizó exhaustivamente las tecnologías y dispositivos de comunicación inalámbrica en aplicaciones agrícolas y ganaderas. También se analizan varios estudios de casos para explorar las soluciones basadas en IoT existentes, las cuales fueron ejecutadas por varias organizaciones e individuos. Además, se categorizan de acuerdo con sus parámetros de implementación. Por último, se plantean las dificultades relacionadas con estas soluciones y se identifican los factores de mejora junto con la futura hoja de ruta de trabajo por medio del IoT.

La agricultura es uno de los ejes más importantes de la economía global, puesto que satisface la gran demanda de productos alimenticios debido al incremento de la población mundial, lo anterior hace que sea necesario mejorar y modernizar las metodologías agrícolas tradicionales. IoT tiene el potencial de ser el mediador o facilitador clave para que se haga realidad la visión de la agricultura inteligente. En el presente estudio Sihna *et al.* [38], proponen una arquitectura IoT centrada en el usuario para abordar los diversos problemas que se enfrentan en el dominio agrícola. Este sistema permite a los agricultores monitorear sus campos agrícolas en tiempo real, mientras reciben recomendaciones para producir mejores cultivos. La arquitectura propuesta tiene como objetivo mejorar la cadena de suministro de alimentos, lo que permite a los agricultores maximizar sus ganancias. La aplicabilidad de la arquitectura propuesta se evalúa utilizando múltiples casos de uso que abarcan los diferentes aspectos del proceso agrícola. Además, se propone un marco novedoso para teléfonos inteligentes, con el que se facilita a los ingenieros de *software* desarrollar las aplicaciones e implementar varias funciones del sistema propuesto.

Guillermo *et al.* [39], proponen una arquitectura IoT de bajo costo basada en tecnología de Red de Sensores Inalámbricos para monitoreo agrícola. Dicha propuesta cuenta con características especiales, como la de

ser desplegable en diferentes tipos de cultivos, entre ellos el cacao, que corresponde al caso particular del trabajo. Todo esto con el objetivo de monitorear y almacenar información de diversos factores climáticos y de suelo que inciden en el óptimo crecimiento de los cultivos pertenecientes a pequeños y medianos productores agropecuarios. Labor que se pretende realizar mediante una aplicación multiplataforma (web, móvil, etc.). Esta propuesta corresponde a una herramienta integradora del campo agrotecnológico, cuyo objeto es potenciar el trabajo de los productores de cacao a través de la recolección, almacenamiento, gestión y visualización de datos de variables agrícolas.

Como trabajo futuro, se realizará un estudio más profundo en temas como la comunicación y el consumo de energía. También se pretende replicar el diseño con su respectiva implementación en cafetales. La escasez de agua, la disponibilidad de tierras cultivables, las plagas y el cambio climático hacen que la agricultura se vea afectada y con el paso del tiempo deba satisfacer una gran demanda de alimentos. IoT puede ayudar en ese sentido, ya que brinda información oportuna y precisa sobre alertas relacionadas con los cultivos, las precipitaciones, las plagas y la nutrición del suelo, lo que permite mejorar el rendimiento. En Gupta *et al.* [40], se muestra el uso de IoT en la agricultura con sus procesos asociados como la gestión del suministro de agua, control de plagas, gestión del rendimiento y seguridad. También se describe el análisis de datos basado en la nube, que actúa como *back end* del ecosistema de sensores de IoT y ayuda a optimizar el uso de recursos, a la vez que aumenta el rendimiento. Como desafío se plantea que, en el caso de los países en desarrollo, estos han esperado tecnologías para aumentar y mejorar la cantidad y calidad de su agricultura.

La agricultura es esencial para la economía de cualquier país, según las problemáticas actuales, como que las técnicas que se utilizan no son eficientes, la mano de obra es cada vez mayor, el riego debe ser a tiempo y la aplicación de fertilizantes. Se plantea que IoT puede ayudar a mejorar la agricultura, con un estimado de grandes incrementos en la eficiencia y la productividad, logrados a través de varios nodos de sensores que se utilizan para monitorear el nivel de acidez del suelo, la temperatura y otras variables. Verma *et al.* [41], proponen, principalmente, el uso de IoT en la agricultura mediante la arquitectura mencionada, la cual conduce al crecimiento exponencial de la agricultura y la economía. El desafío que se plantea refiere que IoT necesita aprender de las técnicas actuales y, a su vez, automatizar tareas para simplificar la vida de los humanos.

Los sistemas *softwares* basados en IoT tienen una característica particular que permite realizar operaciones en cualquier momento y lugar. Esto se denomina ubicuidad, cuyo objetivo es interconectar sistemas, dispositivos, humanos y servicios a través de sociedades

digitalizadas. La arquitectura de *software*, como modelo, abstrae las complejidades de sus fases —entre ellas el (i) modelado, (ii) diseño, (iii) desarrollo y (iv) evolución—, con el fin de desarrollar sistemas complejos basados en IoT de manera eficiente y eficaz. Alreshidi y Ahmad [23], presenta un mapeo sistemático que resume el conocimiento acerca de los principios y prácticas arquitectónicas con el objetivo de facilitar la transferencia de conocimientos. Este último es un procedimiento que beneficia a la industria y a la academia y que permite entender el papel que juega la arquitectura en los sistemas *software* basados en IoT.

Razzaq *et al.* [42], realizan una investigación con el objetivo de explorar conceptos arquitectónicos, prácticas para diseñar sistemas IoT y su mismo desarrollo. El objetivo es brindar sugerencias y recomendaciones. También se presenta una clasificación acerca de patrones de arquitectura y diseño de microservicios, una clasificación de arquitecturas *software* en nueve categorías principales y sus subcategorías, así como los desafíos IoT más investigados, un mapeo de desafíos IoT con soluciones de arquitectura de *software* y las tendencias sobre la adaptación y creación dinámica de *software* para este tipo de aplicaciones.

### III. Metodología

Para el desarrollo metodológico de la presente propuesta, se realizó un Mapeo Sistemático (MS) siguiendo los enfoques planteados por Kitchenham [43] —quien propone una guía para revisiones sistemáticas apropiadas para investigadores de ingeniería del *software*— y Petersen *et al.* [44], que proponen una guía para realizar estudios de mapeo sistemático en ingeniería de *software*. A continuación, se sintetiza el estado del arte derivado de los resultados de este mapeo sistemático y de los posteriores, derivados de la evolución de esta propuesta de investigación.

Para la creación de la cadena de búsqueda, se identificaron los términos principales y sinónimos alternativos, con los cuales se pudieran obtener el mayor número de estudios primarios relevantes. Como resultado se establecieron las siguientes cadenas de búsqueda (ver Tabla 1): “Software Quality”, “Quality Model”, “Quality Characteristics”, “Quality Assurance”, “Quality Assessment”, “Non Functional Requirement”, “IoT” e “Internet of things”.

Para la presente propuesta, se tuvo en cuenta el siguiente proceso para establecer el estado del arte correspondiente (ver Figura ???1).

La Tabla ???2 muestra el resumen de los elementos de la estrategia de búsqueda, incluidos los motores de búsqueda, el tipo de publicación, los criterios aplicados y el período de publicación.

La búsqueda solo considera los estudios académicos y profesionales realizados en conferencias, revistas, re-

Tabla 1. Cadena de búsqueda

| Términos principales       | Términos alternativos   |
|----------------------------|---|
| Software Quality           | (“Software Quality” OR “Quality Model” OR “Quality Characteristics” |
| Internet of things         | OR “Quality Assurance” OR “Quality Assessment” OR “Non-Functional   |
| Quality Model              | Requirement”) AND (“IoT” AND “Internet of things”)                  |
| Quality Characteristics    |   |
| Non Functional Requirement |   |

Tabla 2. Estrategias de búsqueda

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Estrategias de búsqueda    |  |
| Bases de datos consultadas | Scopus, Science Direct e IEEE Xplore IEEE Xplore   |
| Ítems objetivos            | Artículos de investigación, Artículos de conferencias, Libros, Reportes técnicos y trabajos de grado Trabajos de grado |
| Búsqueda aplicada a        | Título, <i>Abstract</i> y <i>Keywords</i>  |
| Lenguaje                   | Estudios escritos en inglés o en español   |
| Periodo de publicación     | Desde el 2014 hasta 2021   |

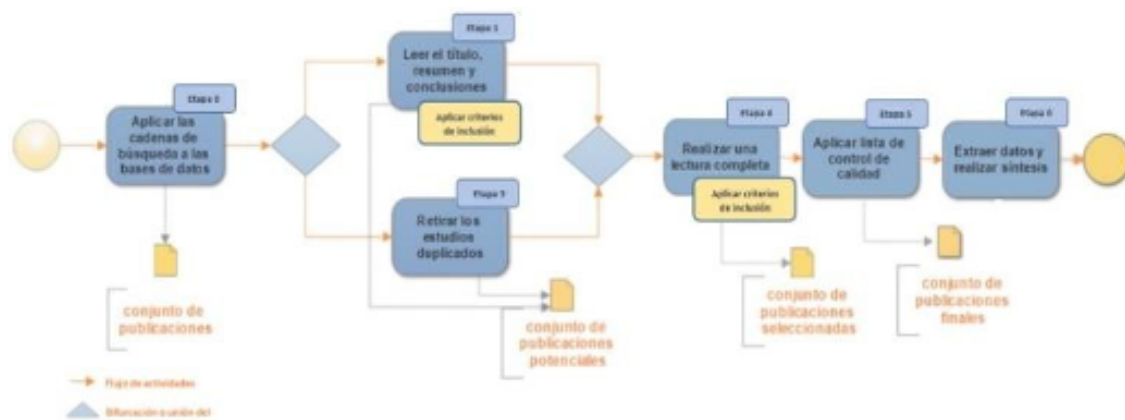


Figura 1. Estrategia de búsqueda

portes técnicos o trabajos de grado. Este trabajo excluyó blogs personales, páginas web u obras escritas en español, a excepción de algunos trabajos en dicha lengua que se incluyeron debido a su contribución a nuestro trabajo, como se muestra en la Tabla ???3. No se consideran investigaciones que no se centren en la calidad de un producto *software* basado en IoT. Además, se excluyeron trabajos duplicados de la misma búsqueda en diferentes bases de datos y resúmenes de talleres.

Según Petersen *et al.* [44], la evaluación de la calidad es más esencial en las revisiones sistemáticas, puesto que se debe determinar el rigor y la relevancia de los estudios primarios. En los mapeos sistemáticos no es necesario realizar una evaluación de calidad, pero se sugiere hacer uso de la evaluación anteriormente mencionada. El uso de la clasificación de los tipos de investigación, según la categoría de propuestas de solución mencionados en Wieringa *et al.* [45], contendría estudios sin evidencia empírica o científica. Los estudios en esta categoría generalmente no suelen ser incluidos en una revisión sistemática, aunque en mapeos sistemáticos son importantes para detectar tendencias de los temas en los que se trabaja.

En el presente estudio, se incluyeron hallazgos con y sin evidencia empírica, como lo sugiere lo mencionado anteriormente. Para refinar los estudios seleccionados, se utiliza la lista de chequeo propuesta por Zarour *et al.* [46], (ver Tabla 4), en la cual hay tres posibles respuestas (Sí = un punto, No = cero puntos y parcialmente = medio punto). En este caso, se utiliza el primer cuartil ( $6/3 = 2$ ) como punto de corte. Es decir, si una publicación obtuvo menos de 2 puntos se excluye de la lista de estudios finales para evitar trabajos de baja calidad.

Tras aplicar toda la estrategia de búsqueda descrita anteriormente, se encuentran los siguientes estudios, descritos a continuación. Además, se estructuraron estos mismos en las siguientes secciones: (i) estudios, (ii) propuestas metodológicas y (iii) herramientas sobre calidad de soluciones de *softwares* basados en IoT. Dentro de cada sección también se clasificaron las investigaciones por dominio en la ingeniería de *software*. Además, hemos incluido un apartado para explicar cómo se diferenciaría nuestra propuesta de investigación de las presentes en el estado del arte. Los resultados pueden observarse en la Tabla 5.

**Tabla 3.** Resumen de criterios de inclusión y exclusión

| Criterios de inclusión/exclusión              |  |
|---|--|
| Criterios de inclusión                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Términos incluidos en la cadena de búsqueda.</li> <li>• Estudios realizados en artículos, conferencias, reportes técnicos o trabajos de grado.</li> <li>• Estudios escritos en inglés y español.</li> <li>• Publicaciones desde el 2000 hasta 2021.</li> <li>• Estudios que establezcan como asegurar la calidad de un producto software basado en IoT o estudios que planteen como fortalecer la calidad de un producto software basado en IoT.</li> </ul> |
| Criterios de exclusión para título y abstract | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios que no aborden la calidad de un producto software basado en IoT.</li> <li>• Estudios que solo presentan resúmenes o contenido en diapositivas.</li> <li>• El contenido de páginas web, blogs personales o folletos.</li> </ul>   |
| Criterios de exclusión para el texto completo | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios que presentan resúmenes de un workshop</li> </ul>  |

**Tabla 4.** Lista de chequeo

| #   | Pregunta  |
|-----|---|
| QA1 | ¿El objetivo del estudio está lo suficientemente bien explicado?                    |
| QA2 | ¿Se explica claramente la idea, enfoque y limitaciones presentadas?                 |
| QA3 | ¿Se tienen en cuenta las amenazas en contra de la validez?                          |
| QA4 | ¿Existe una descripción adecuada del contexto en el que el estudio se llevó a cabo? |
| QA5 | ¿Están los resultados de la investigación claramente establecidos?                  |
| QA6 | ¿Se diseñó el estudio para lograr estos objetivos?                                  |

### III. Resultados

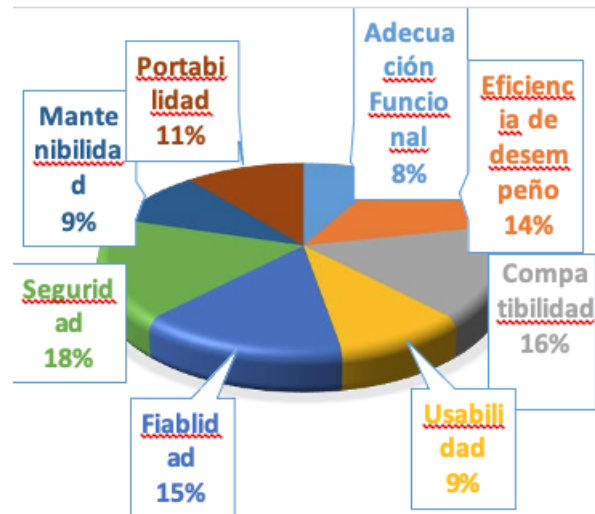
Una vez se identificaron los estudios primarios, se realizó el proceso que plantea la caracterización de los atributos de calidad especiales del producto *software* basado en IoT, de los dominios de aplicación y de las prácticas de arquitectura de software. A continuación, se muestran los resultados obtenidos tras la caracterización de los estudios anteriormente mencionados:

#### A. Q1. ¿Cuáles atributos de calidad según la norma ISO/IEC 25010, especiales y dominios se han utilizado en el contexto de desarrollo de *software* basado en IoT?

Con base en los atributos de calidad de la norma ISO/IEC 25010, se realiza la clasificación de los quince artículos mismos mencionados en la tabla anterior. Los atributos de calidad son: (i) adecuación funcional, (ii) eficiencia de desempeño, (iii) compatibilidad, (iv) usabilidad, (v) fiabilidad, (vi) seguridad, (vii) mantenibilidad, (viii) portabilidad y (ix), en donde se agrupan otros como conectividad, monitoreo, recursos limitados, escalabilidad, flexibilidad, sensibilidad al contexto, etc. Estos últimos hacen referencia a atributos especiales de la IoT que no son mencionados en la norma ISO/IEC 25010.

Entre los atributos de calidad encontrados realizando la respectiva clasificación y selección, se puede concluir que los atributos menos abordados en los trabajos, asociados a la norma ISO/IEC 25010 en el producto *software* basado en IoT, son: adecuación funcional (6), usabilidad (7), mantenibilidad (7) y portabilidad (8). Por el con-

trario, los más abordados son eficiencia de desempeño (10), compatibilidad (12), fiabilidad (11) y seguridad (13). Luego de la clasificación y selección, se pudo hallar que los atributos especiales cuyo abordaje se aconseja en el producto *software* basado en IoT se componen de: escalabilidad, privacidad, sensibilidad al entorno, confianza, robustez, conectividad, movilidad, monitoreo de recursos, compatibilidad *hardware-software* y durabilidad.



**Figura 2.** Resultados atributos usados NORMA ISO/IEC 25010

Por otra parte, también se realiza la clasificación y selección del dominio de aplicación de los productos

**Tabla 5.** Resumen caracterización artículos

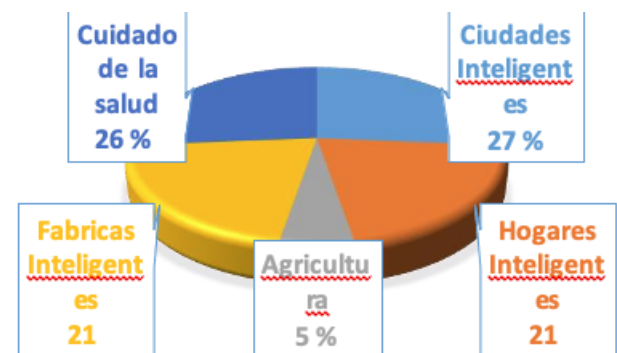
| N.º | Referencia     | Año  | Tipo de contribución   | Validación               | Modelo                      | Dominio (Ingeniería de software)              |
|-----|----------------|------|------------------------|--------------------------|-----------------------------|---|
| 1   | [4]            | 2021 | Herramienta            | Escenarios de aplicación | ISO /IEC 25010              | Aplicaciones específicas IoT                  |
| 2   | [6]            | 2021 | Estudio                | Validación Teórica       | ISO /IEC 25010              | Requerimientos no funcionales IoT             |
| 3   | [11]           | 2020 | Propuesta metodológica | Estudio de caso          | ISO /IEC 25010              | Técnicas arquitectónicas IoT                  |
| 4   | [18]           | 2020 | Estudio                | Validación Teórica       | No específica               | Patrones y arquitecturas IoT                  |
| 5   | [10]           | 2019 | Estudio                | Validación Teórica       | No específica               | IoT <i>testing</i>                            |
| 6   | [16]           | 2019 | Herramienta            | Validación Teórica       | ISO/IEC 25010               | Medida de Calidad IoT                         |
| 7   | [9]            | 2019 | Propuesta metodológica | Validación Teórica       | No específica               | IoT <i>testing</i>                            |
| 8   | [12]           | 2019 | Estudio                | Validación Teórica       | ISO/IEC 25010               | Aseguramiento de calidad IoT                  |
| 9   | [14]           | 2017 | Propuesta metodológica | Estudio de caso          | ISO/IEC 25010               | Metodología para la evaluación de calidad IoT |
| 10  | [3]            | 2017 | Herramienta            | Validación Teórica       | ISO/IEC 25010<br>CO BIT 4.1 | Modelo de calidad IoT                         |
| 11  | [8]            | 2016 | Herramienta            | Estudio de caso          | ISO/ IEC 9126               | Modelo de calidad IoT                         |
| 12  | [5]            | 2016 | Propuesta metodológica | No valida                | No específica               | Ingeniería de <i>software</i> IoT             |
| 13  | [15]           | 2016 | Estudio                | Validación Teórica       | No específica               | Aseguramiento de calidad IoT                  |
| 14  | [2]            | 2016 | Herramienta            | Ilustración              | No específica               | Calidad del servicio IoT                      |
| 15  | [13]           | 2015 | Estudio                | Validación Teórica       | No específica               | Técnicas y metodologías IoT                   |
| 16  | Esta propuesta | 2023 | Conjunto de prácticas  | Estudio de caso          | ISO/IEC 25010               | Arquitectura de <i>software</i>               |

*softwares* basados en IoT. Esto con el fin de establecer qué dominios son abordados actualmente en la industria.

Entre los dominios de aplicación de los productos *softwares* basados en IoT, se encontró que el dominio menos abordado en los trabajos mencionados anteriormente es la agricultura (1). Por otra parte, los dominios más abordados son cuidado de la salud (5), ciudades (5), hogares (4) y fábricas inteligentes (4). En la literatura se sugiere tratar dominios como logística, agroindustria, medio ambiente y transporte.

### B. Q2. ¿Cuáles prácticas de arquitectura de *software* se han utilizado en el contexto de desarrollo de *software* basado en IoT?

La arquitectura es un aspecto relevante, ya que ayuda en la abstracción de los componentes de hardware heterogéneos, garantiza operaciones fluidas mediante protocolos de red y aporta en la calidad de temas computacionales relacionados con la IoT [23]. Alcanzar algunos atributos de calidad requiere de una adecuada implementación y


**Figura 3.** Resultados dominios usados

comprensión de la misma arquitectura, desde la cual se deben considerar los efectos que estos puedan ocasionar en las soluciones y las organizaciones.

Como en la arquitectura de *software* se consideran las etapas tempranas del ciclo de desarrollo, es importante determinar la arquitectura correcta, puesto que

debe cumplir los requisitos de calidad planteados y presentarlos como escenarios concretos de atributos de calidad. Esto con el objetivo de contribuir al éxito de cualquier proyecto [20].

En resumen, el principio de la arquitectura de *software*, en conjunto con buenas prácticas, puede aportar en la evolución, modelado, desarrollo y ejecución de productos *softwares* complejos basados en IoT. Asimismo, puede fortalecer la calidad y funcionalidad requeridas y facilitar el desarrollo de soluciones arquitectónicas de nueva generación para paradigmas como IoT [23]. En lo referente a las prácticas de arquitectura de *software* usadas en productos *softwares* basados en IoT, se encontraron las siguientes practicas tras la revisión de los trabajos relacionados anteriormente.

1. Realizar configuraciones independientes con arquitecturas distribuidas mediante simulación de dispositivos físicos [10], [47].
2. Para el atributo de seguridad, se aconseja su visualización en capas, como lo son capa de aplicación, transporte y percepción [12].
3. Utilizar y verificar el cumplimiento/acuerdo de nivel de servicio, organización, seguridad y su forma de gestionar los datos [15].
4. Implementación de IoT con arquitecturas y metodologías personalizables para cada dominio [13].
5. Utilizar el listado de estilos arquitectónicos, patrones de arquitectura y diseño propuesto por [18], [47], [48], ya que pueden ayudar en la implementación de arquitecturas para el producto *software* basado en IoT y reducir costos y tiempo.
6. Observar la IoT desde el elemento más simple hasta el todo: atributos de calidad para sensores, actuadores, nube y el sistema IoT en general [11].
7. Utilizar el método planteado por Kazman, Clement y Bass en *Software Architecture in Practice* con el fin de diseñar y seleccionar mecanismos que se aplican para obtener la calidad final del sistema IoT. Lo anterior se logra utilizando el método sugerido, aplicado mediante un ejemplo a continuación:

- Controlar la temperatura del ambiente, es decir, controlar valores obtenidos por el sensor
- Obligatorio: evitar valores erróneos
- Usar diagrama de táctica arquitectónica
- Tácticas: Aspectos de calidad + táctica + mecanismos técnicos
- Obtener valores
- Verificar consistencia de datos: Mayor Confiabilidad
- Preparar recursos para una eventual recuperación de una ejecución que falla
- Lógica a seguir: se deben adoptar múltiples mecanismos de solución

Viendo lo que se sugiere, no resulta sorprendente que adoptar un método así en proyectos *ad hoc* sea inusual,

pero las consecuencias que se obtienen son mecanismos pobres [11]. La lista sigue:

8. Configurar pesos o ponderar las características/subcaracterísticas de acuerdo con el dominio para que la calidad sea personalizable [14].
9. Entender la IoT como el conjunto de *hardware*, conectividad, Arquitectura, algoritmos y *software* [2], [49].
10. Apoyar la calidad de *software* mediante la calidad del proceso, servicio e información [3].
11. Definir mediante la participación de *hardware* y *software*, el modelo de colaboración de dispositivos y el dominio de aplicación IoT cuáles atributos serán protagonistas [4], [8], [16].
12. Ponderar las relaciones anteriormente descritas con el objetivo de darle más énfasis a unas por encima de otras según el dominio.
13. Combinar las dos practicas 12 y 13 junto con las tácticas arquitecturales con el fin de incrementar la calidad y sus atributos.
14. Conformar la IoT como una serie de bloques funcionales para facilitar diversos beneficios del sistema como detección, identificación, actuación, comunicación y gestión. Los bloques anteriormente sugeridos son: aplicaciones, mantenimiento, servicio, comunicación, seguridad y dispositivo [37].

Como bien se sabe, el dominio de aplicación de IoT es un aspecto que hay que tener en cuenta cuando se van a desarrollar productos que utilicen este paradigma. La llegada de IoT ha promovido nuevas ideas y dominios de investigación innovadores, ya que el paradigma mencionado anteriormente apenas empieza a manifestarse. En este sentido se abren las posibilidades para experimentar en el dominio de la agricultura inteligente. Por ello, se hace necesario realizar un análisis que permita desarrollar productos *softwares* basados en la IoT mediante la evaluación de su arquitectura (dispositivos IoT, tecnologías de comunicación, su capacidad de almacenamiento y procesamiento de big data), sus aplicaciones, su funcionalidad y la calidad requeridas. Además, se tiene en cuenta que en la anterior clasificación el dominio de la agricultura es uno de los menos abordados, razón por la cual es necesario aportar en dicho tema. En el siguiente apartado, se encontraron las siguientes practicas tras la revisión de los trabajos adicionales en el dominio de la agricultura inteligente.

1. Como las condiciones meteorológicas son variables en todo el mundo —ya que las propiedades de temperatura, humedad del suelo y ambiental, suelo y agua son muy diferentes—, se sugiere que la arquitectura de los productos *software* IoT permita conectarse a los centros meteorológicos nacionales con el fin de informar sobre las condiciones actuales del clima. De esta manera, se podrá aumentar la producción de cultivos [37].
2. La agricultura actual requiere de sistemas de riego que involucren IoT con el fin de optimizar el uso

del agua. Por ello, la literatura sugiere utilizar cuatro ítems esenciales en arquitecturas de productos *software* IoT, los cuales deben usar el riego inteligente. Ellos son: (i) integración de datos meteorológicos, (ii) control del sistema mediante WiFi o Ethernet (Conexiones inalámbricas LoRA), (iii) sincronización con sensores de humedad y reducción de facturas mensuales. Todo esto tiene el objetivo de conservar los recursos hídricos limitados [37].

3. El control de plagas y enfermedades es muy importante para la agricultura inteligente, ya que se puede aumentar la calidad de los productos agrícolas minimizando costos a través del control del uso de pesticidas y fertilizantes. Lograrlo requiere de integrar, monitorear y gestionar la probabilidad/ocurrencia de las plagas en cultivos mediante el uso de IoT en sus respectivas arquitecturas [37].

4. La calidad del agua para la agricultura inteligente es una necesidad que exige bastante atención, en tanto muchos de los temas que la componen requieren de una buena calidad del agua. Por ello, se aconseja monitorear el agua mediante parámetros químicos y físicos relacionados con los sensores que se integran en la arquitectura, como conductividad, oxígeno disuelto, turbidez, temperatura y pH. Lo mismo con el monitoreo del suelo, ya que es crucial para el dominio agrícola [37].

5. La gestión de la cadena de suministros es una tarea importante en la cual se debe hacer hincapié. Esto debido a que el agricultor debe obtener ganancias y, a su vez, mantener una eficiencia operativa. Por ello, se sugiere que la IoT monitoree procesos comerciales incluidos en la arquitectura con el fin de generar eficiencia en dicha cadena y ayudar al agricultor [37].

6. Se sugiere que los productos *softwares* basados en IoT que trabajen sobre el dominio de la agricultura contengan un sistema de alerta incluido. Con él se podrán controlar las condiciones climáticas y del suelo variables, lo que facilitará la labor de prever las variaciones que puedan influir en la eficiencia de la plantación o sugerirle al agricultor qué acción se puede tomar según el análisis de los dispositivos conectados al sistema [36], [39].

#### IV. Conclusiones y trabajos futuros

Aún persiste una brecha que debe ser abordada y se encuentra principalmente en la reducción de costos de *hardware* y *software* de los productos basados en IoT, cuyo fin es maximizar el rendimiento de dichos productos.

En el tema de la estandarización, es importante mejorar atributos de calidad, como lo es la interoperabilidad entre diferentes aplicaciones y sistemas, mediante la documentación de pautas o prácticas específicas de la industria agrícola, u otras, para la implementación eficiente en IoT.

La IoT, en general, es una red heterogénea de elementos muy compleja, sobre todo al emplearla en la agricultura, en donde algunos módulos o tecnologías son incapaces de interactuar, lo que aumenta aún más la complejidad del desarrollo de este tipo de productos al tener varias tecnologías y varios tipos de dispositivos.

La sensibilidad al contexto es una característica especial de la IoT que debe ser investigada más a profundidad, ya que a veces es una tarea desafiante saber cómo gestionar todo el conjunto de datos recopilados por los sensores. Por ello, la sensibilidad al contexto podría ayudar a decidir qué y cuáles datos deben procesarse. En lo referente al dominio de la agricultura, todavía se requiere trabajo en dicha característica especial.

Un atributo de calidad especial para los productos *softwares* basados en IoT es la tolerancia a fallos, que cada vez está más ausente en estos productos. El nivel de tolerancia a fallos debe mantenerse alto si se requiere de un sistema impecable que siga funcionando incluso luego de un error técnico (por ejemplo, que los módulos hardware pueden fallar porque la batería se agotó o que una calibración defectuosa o una falla de comunicación).

Otro atributo de calidad que debe abordarse, y que se plantea como desafío, es el mantenimiento, ya que es necesario diseñar productos IoT de bajo mantenimiento. El equipo poder realizar actividades automáticamente sin intervención humana de forma óptima, lo que reduciría el tiempo y costo de mantenimiento hasta un nivel de aceptación bajo.

La confiabilidad como atributo de calidad aún plantea desafíos que deben ser solucionados en el dominio de la agricultura inteligente. Ello debido a que se realizan trabajos duros en dicho dominio, con la consecuencia de una rápida degradación de componentes, lo que provoca fallas y minimiza la calidad del producto. Por ende, se debe asegurar que dichos componentes puedan soportar condiciones climáticas extremas: altas temperaturas, humedades, tormentas, etc.

En el tema de las arquitecturas, se hace evidente la necesidad de seguir trabajando en el atributo de calidad portabilidad, ya que las arquitecturas actuales carecen de elementos que permitan que el sistema se adapte de manera satisfactoria a cualesquiera que sean las condiciones particulares de la labor agrícola. Por otra parte, la robustez, como atributo de calidad, también plantea brechas con respecto a las arquitecturas, ya que los sistemas deben ser tolerantes a fallos para que las aplicaciones puedan garantizarse.

Las nuevas tecnologías como la IoT deben mejorar en todos los dominios de aplicación y, en específico, en el dominio de agricultura inteligente con el fin de contribuir en la productividad de alimentos. De este modo, se podrá monitorear y proporcionar un alimento limpio, a la vez que se reducirá el trabajo humano y se logrará una producción más eficiente.

## Referencias

- [1] L. Petrović, I. Jezdović, D. Stojanović, Z. Bogdanović y M. Despotović-Zrakić, “Development of an educational game based on IoT,” *IJEEC - Int. J. Electr. Eng. Comput.*, vol. 1, n.º 1, 2017. DOI: 10.7251/ijeeec1701036p.
- [2] J. Kiruthika y S. Khaddaj, “Software quality issues and challenges of internet of things,” en *2015 14th Int. Symp. Distrib. Comput. Appl. Business, Eng. Sci. (DCABES)*, Guiyang, China, 2016, págs. 176-179. DOI: 10.1109/DCABES.2015.51.
- [3] J. J. C. Tambotoh, S. M. Isa, F. L. Gaol, B. Soewito y H. L. H. Spits Warnars, “Software quality model for Internet of Things governance,” en *2016 Int. Conf. Data Softw. Eng. (ICoDSE)*, Denpasar, Indonesia, 2017. DOI: 10.1109/ICoDSE.2016.7936138.
- [4] R. Temkar y A. Bhaskar, “Quality assurance of iot based home automation application using modified ISO/IEC 25010,” *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 69, n.º 2, págs. 92-101, 2021. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V69I2P213.
- [5] X. Larrucea, A. Combelles, J. Favaro y K. Taneja, “Software Engineering for the Internet of Things House Advertisement,” *IEEE Softw.*, vol. 33, n.º 2, pág. c3, 2016. DOI: 10.1109/ms.2016.50.
- [6] K. Ojo-Gonzalez y B. Bonilla-Morales, “Requerimientos no funcionales para sistemas basados en el Internet de las cosas (IoT): Una revisión,” *I+D Tecnológico*, vol. 17, n.º 2, 2021. DOI: 10.33412/idt.v17.2.3303.
- [7] ISO25000, “ISO 25000,” [iso25000.com](http://iso25000.com).
- [8] M. Kim, “A Quality Model for Evaluating IoT Applications,” *Int. J. Comput. Electr. Eng.*, vol. 8, n.º 1, págs. 66-76, 2016. DOI: 10.17706/ijcee.2016.8.1.66-76.
- [9] M. Sirshar, M. Khan, K. Naeem y T. Akbar, “Software Quality Assurance testing methodologies in IoT,” *Preprints*, 2019, [Online]. Available: <https://acortar.link/7qnFAC>.
- [10] M. Bures, T. Cerny y B. S. Ahmed, “Internet of things: Current challenges in the quality assurance and testing methods,” en *International Conference on Information Science and Applications*, vol. 514, Hong Kong, China, 2018, págs. 625-634. DOI: 10.1007/978-981-13-1056-0\_61.
- [11] R. Arakaki, V. T. Hayashi y W. V. Ruggiero, “Available and Fault Tolerant IoT System: Applying Quality Engineering Method,” en *2020 2nd Int. Conf. Electr. Commun. Comput. Eng. ICECCE*, Istanbul, Turquía, 2020, págs. 12-13. DOI: 10.1109/ICECCE49384.2020.9179341.
- [12] B. S. Ahmed, M. Bures, K. Frajtak y T. Cerny, “Aspects of Quality in Internet of Things (IoT) Solutions: A Systematic Mapping Study,” *IEEE Access*, vol. 7, págs. 13 758-13 780, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2893493.
- [13] M. Marwah, Q. Mateen y M. Sirshar, “Software Quality Assurance in Internet of Things,” *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 109, n.º 9, págs. 16-24, 2015. DOI: 10.5120/19217-0964.
- [14] I. A. Baños, “Metodología para Evaluar la Calidad de un Producto Software de una Implementación de Internet de las Cosas,” Trabajo de grado de Maestría, Facultad de Ingenierías, Universidad Tecnológica de Bolívar, Cartagena, Colombia, 2017. Available: <https://hdl.handle.net/20.500.12585/381>.
- [15] H. Foidl y M. Felderer, “Data science challenges to improve quality assurance of internet of things applications,” *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 9953, págs. 707-726, 2016. DOI: 10.1007/978-3-319-47169-3\_54.
- [16] M. Abdallah, T. Jaber, N. Alabwaini y A. A. Alnabi, “A Proposed Quality Model for the Internet of Things Systems,” en *2019 IEEE Jordan Int. Jt. Conf. Electr. Eng. Inf Technol.* Amman, Jordan, 2019, págs. 23-27. DOI: 10.1109/JEEIT.2019.8717516.
- [17] P. Patel y D. Cassou, “Enabling high-level application development for the Internet of Things,” *J. Syst. Softw.*, vol. 103, págs. 62-84, 2015. DOI: 10.1016/j.jss.2015.01.027.
- [18] H. Washizaki, S. Ogata, A. Hazeyama, T. Okubo, E. Fernandez y N. Yoshioka, “Landscape of Architecture and Design Patterns for IoT Systems,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, n.º 10, págs. 10 091-10 101, 2020. DOI: 10.1109/JIOT.2020.3003528.
- [19] Z. Li, P. Liang y P. Avgeriou, “Architectural Debt Management in Value-Oriented Architecting,” en *Economics-Driven Software Architecture*, I. Mistrik, R. Bahsoon, R. Kazman e Y. Zhang, eds., Elsevier Inc, 2014.
- [20] S. Moaven y J. Habibi, “A fuzzy-AHP-based approach to select software architecture based on quality attributes (FASSA),” *Knowl. Inf. Syst.*, vol. 62, n.º 12, págs. 4569-4597, 2020. DOI: 10.1007/s10115-020-01496-7.
- [21] M. Weyrich y C. Ebert, “Reference architectures for the internet of things,” *IEEE Softw.*, vol. 33, n.º 1, págs. 112-116, 2016. DOI: 10.1109/MS.2016.20.
- [22] S. Chen, H. Xu, D. Liu, B. Hu y H. Wang, “A vision of IoT: Applications, challenges, and opportunities with China Perspective,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, n.º 4, págs. 349-359, 2014. DOI: 10.1109/JIOT.2014.2337336.
- [23] A. Alreshidi y A. Ahmad, “Architecting software for the Internet of Thing based systems,” *Fu-*

- tur. Internet*, vol. 11, n.º 7, 2019. DOI: 10.3390/fi11070153.
- [24] J. Río, D. M. Toma, E. Martínez, T. C. O'Reilly, E. Delory y J. S. Pearlman, "A Sensor Web Architecture for Integrating Smart Oceanographic Sensors into the Semantic Sensor Web," págs. 1-13, 2017. DOI: 10.1109/JOE.2017.2768178.
- [25] Z. Stojanov y D. Dobrilovic, "Software architecture quality attributes of a layered sensor-based IoT system," *CEUR Workshop Proc*, vol. 2984, págs. 66-74, 2021.
- [26] P. M. Jacob y P. Mani, "Software architecture pattern selection model for internet of things based systems," *IET Softw*, vol. 12, n.º 5, págs. 390-396, 2018. DOI: 10.1049/iet-sen.2017.0206.
- [27] J. Wan, S. Tang, Z. Shu, D. Li, S. Wang y M. Imran, "Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0," *IEEE Sens. J*, vol. 16, n.º 20, págs. 7373-7380, 2016. DOI: 10.1109/JSEN.2016.2565621.
- [28] F. Fontana e I. Pigazzini, "Evaluating the Architectural Debt of IoT Projects," en *2021 IEEE/ACM 3rd International Workshop on Software Engineering Research and Practices for the IoT (SERP4IoT)*, Madrid, España, 2021, págs. 27-31. DOI: 10.1109/SERP4IoT52556.2021.00011.
- [29] T. Ninikrishna, S. Sarkar, R. Tengshe, M. K. Jha, L. Sharma y V. K. Daliya, "Software defined IoT: Issues and challenges," *Proc. Int. Conf. Comput. Methodol. Commun. ICCMC 2017*, vol. 2018-January, n.º Iccmc, págs. 723-726, 2018. DOI: 10.1109/ICCMC.2017.8282560.
- [30] H. P. Breivold y K. Sandström, "Internet of Things for Industrial Automation-Challenges and Technical Solutions," en *2015 IEEE International Conference on Data Science and Data Intensive Systems*, Sydney, Australia, 2015, págs. 532-539. DOI: 10.1109/DSDIS.2015.11.
- [31] L. Patra y U. P. Rao, "Internet of Things-Architecture, applications, security and other major challenges," en *2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom)*, New Delhi, India, 2016, págs. 1201-1206.
- [32] G. Campeanu, "A mapping study on microservice architectures of Internet of Things and cloud computing solutions," en *2018 7th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)*, Budva, Montenegro, 2018, págs. 1-4. DOI: 10.1109/MECO.2018.8406008.
- [33] W. Rafique, X. Zhao, S. Yu, I. Yaqoob, M. Imran y W. Dou, "An Application Development Framework for Internet-of-Things Service Orchestration," *IEEE Internet Things J*, vol. 7, n.º 5, págs. 4543-4556, 2020. DOI: 10.1109/JIOT.2020.2971013.
- [34] C. Verdouw, H. Sundmaeker, B. Tekinerdogan, D. Conzon y T. Montanaro, "Architecture framework of IoT-based food and farm systems: A multiple case study," *Comput. Electron. Agric*, vol. 165, 2019. DOI: 10.1016/j.compag.2019.104939..
- [35] W. Aman y E. Snekenes, "Managing security trade-offs in the Internet of Things using adaptive security," en *Presentada en 2015 10th International Conference for Internet Technology and Secured Transactions (ICITST)*, Londrés, UK, 2016, págs. 362-368. DOI: 10.1109/ICITST.2015.7412122.
- [36] V. K. Quy, N. V. Hau, D. V. Anh et al., "IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges," *Appl. Sci*, vol. 12, n.º 7, 2022. DOI: 10.3390/app12073396.
- [37] P. P. Ray, "Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction," *J. Ambient Intell. Smart Environ*, vol. 9, n.º 4, págs. 395-420, 2017. DOI: 10.3233/AIS-170440.
- [38] A. Sinha, G. Shrivastava y P. Kumar, "Architecting user-centric internet of things for smart agriculture," *Sustain. Comput. Informatics Syst*, vol. 23, págs. 88-102, 2019. DOI: 10.1016/j.suscom.2019.07.001.
- [39] J. C. Guillermo, A. García-Cedeño, D. Rivas-Lalaleo, M. Huerta y R. Clotet, "IoT Architecture Based on Wireless Sensor Network Applied to Agricultural Monitoring: A Case of Study of Cacao Crops in Ecuador," en *2018 2nd International Conference of ICT for Adapting Agriculture to Climate Change (AACC)*, vol. 893, Cali, Colombia, 2019, págs. 42-57. DOI: 10.1007/978-3-030-04447-3\_3.
- [40] M. Gupta, M. Abdelsalam, S. Khorsandroo y S. Mittal, "Security and Privacy in Smart Farming: Challenges and Opportunities," *IEEE Access*, vol. 8, págs. 34 564-34 584, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2975142..
- [41] S. Verma, R. Gala, S. Madhavan, S. Burkule, S. Chauhan y C. Prakash, "An Internet of Things (IoT) Architecture for Smart Agriculture," en *2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA)*, Pune, India, 2018, págs. 1-4. DOI: 10.1109/ICCUBEA.2018.8697707.
- [42] A. Razzaq, "A Systematic Review on Software Architectures for IoT Systems and Future Direction to the Adoption of Microservices Architecture," *SN Comput. Sci*, vol. 1, pág. 6, DOI: 10.1007/s42979-020-00359-w. dirección: <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00359-w>.
- [43] S. Kitchenham, B. y Charters, "Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering," Tech. report, Ver. 2.3 EBSE Tech.

- Report. EBSE, vol. 1, no. January 2007, pp. 1–54, 2007, [Online]. Available: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.117.471&rep=rep1&type=pdf>.
- [44] L. K. Kai Petersen y Sairam Vakkalanka, “Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update,” *Inf. Softw. Technol.*, vol. 64, págs. 1-18, 2015. DOI: 10.1016/j.infsof.2015.03.007.
- [45] R. Wieringa, N. Maiden, N. Mead y C. Rolland, “Requirements engineering paper classification and evaluation criteria: a proposal and a discussion,” *Requir. Eng.*, vol. 11, págs. 102-107, DOI: 10.1007/s00766-005-0021-6.
- [46] M. Zarour, A. Abran, J.-M. Desharnais y A. Abdulrahman, “An investigation into the best practices for the successful design and implementation of lightweight software process assessment methods: A systematic literature review,” *J. Syst. Softw.*, vol. 101, págs. 180-192, 2014. DOI: 10.1016/j.jss.2014.11.041.
- [47] S. Taherizadeh, V. Stankovski y M. Grobelnik, “A capillary computing architecture for dynamic internet of things: Orchestration of microservices from edge devices to fog and cloud providers,” *Sensors*, vol. 18, n.º 9, 2018. DOI: 10.3390/s18092938.
- [48] R. Capilla, A. Jansen, A. Tang, P. Avgeriou y M. A. Babar, “10 years of software architecture knowledge management: Practice and future,” *J. Syst. Softw.*, vol. 116, págs. 191-205, 2016. DOI: 10.1016/j.jss.2015.08.054.
- [49] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista y M. Zorzi, “Internet of things for smart cities,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, n.º 1, págs. 22-32, 2014. DOI: 10.1109/JIOT.2014.2306328.
- [50] P. Fremantle, A Reference Architecture for the Internet of Things. WSO2, White Paper, 2015, [Online]. Available: [https://wso2.com/wso2\\_resources/wso2\\_whitepaper\\_a-reference-architecture-for-the-internet-of-things.pdf](https://wso2.com/wso2_resources/wso2_whitepaper_a-reference-architecture-for-the-internet-of-things.pdf).
- [51] E. Cavalcante, M. Alves, T. Batista, F. Delicato y P. Pires, “An analysis of reference architectures for the internet of things,” en *2015 1st International Workshop on Exploring Component-based Techniques for Constructing Reference Architectures (CobRA)*, Montreal, Canadá, 2015, págs. 13-16. DOI: 10.1145/2755567.2755569.
- [52] H. Muccini y M. Moghaddam, “IoT architectural styles: A systematic mapping study,” en *12th European Conference on Software Architecture*, Madrid, España, 2018, pág. 6885. DOI: 10.1007/978-3-030-00761-4\_5.