



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Departamento de Sistemas Informáticos y de
Computación

Universitat Politècnica de València

Modelo de Calidad para Servicios Cloud

Trabajo Fin de Máster

**Máster Universitario en Ingeniería y Tecnología de
Sistemas Software**

Autor: Raquel Navas Rosales

Tutores: Dra. Silvia Abrahão Gonzales
Dra. Marta Fernández Diego

2015-2016

*A mis padres que
están en mi querido Ecuador.
A mi compañero de esta aventura.
Y un especial agradecimiento a mis
tutoras, porque sin ellas este trabajo
no hubiese sido posible.*

Resumen

Contexto: La computación en la nube es un modelo de prestación y consumo de servicios que ofrece muchas ventajas a las empresas (alta disponibilidad, elasticidad, máximo aprovechamiento de recursos, etc.) que se traducen en requisitos de calidad que deben ser cumplidos por el servicio. En los últimos años se han propuesto numerosos atributos de calidad y métricas para servicios cloud, pero no existe un estudio que recoja esta información y la clasifique con respecto a las características internas y externas del servicio (*Quality of Service – QoS*), así como características en uso del servicio (*Quality of Experience – QoE*).

Objetivo: El objetivo de este trabajo de fin de máster es definir un modelo de calidad específico para servicios cloud, alineado con la ISO/IEC 25010, que integre las características de calidad, atributos y métricas propuestos en la literatura y que permitan evaluar la calidad de los artefactos cloud en distintas fases del ciclo de vida.

Método: Se ha realizado una revisión sistemática de la literatura con el objetivo de identificar y analizar los atributos y métricas de calidad propuestas para evaluar la calidad de los servicios cloud. Este método ha sido utilizado extensamente en el ámbito de la Ingeniería del Software y ha demostrado ser útil para recopilar y analizar la información existente relativa a un determinado tema de investigación.

Resultados: El resultado es un modelo de calidad para servicios cloud que ha sido construido a partir de los 178 atributos y 364 métricas obtenidas como resultado de la revisión sistemática. En particular, los resultados de la revisión indican que el 48% de las métricas propuestas son para medir Eficiencia de desempeño, siguiéndole las métricas de Fiabilidad con un 23%. Con respecto a la fase del ciclo de vida, un 55% de estas métricas se utilizan en la fase de Operación y un 32% en la fase de Adquisición. Con respecto al punto de vista de los stakeholders, el 39% de las métricas están orientadas al proveedor del servicio, el 33% al consumidor, el 7% al facilitador (bróker) y solo un 5% al desarrollador del servicio. Con respecto a los artefactos cloud evaluados, la mayoría de las métricas (97%) se aplican sobre el servicio cloud en fase de pruebas o desplegado en el cloud; solo un 2% de las métricas se aplican sobre la arquitectura del servicio y un 1% sobre la especificación del servicio. Con respecto a la validación, los resultados muestran que el 99% de las métricas propuestas carecen de cualquier tipo de validación, aunque el 44% presenta una prueba de concepto que ilustra cómo se puede utilizar las métricas. Adicionalmente identificamos 27 atributos propios de los servicios cloud, siendo la elasticidad el más nombrado, con 14%.

Conclusiones: Los resultados del trabajo han proporcionado información relevante sobre el estado actual y las carencias que existen en el ámbito de la evaluación de la calidad de los servicios cloud. También nos han permitido definir un modelo de calidad para suplir algunas carencias identificadas. Como trabajos futuros, pretendemos refinar el modelo propuesto, proponer nuevas métricas y adaptar algunas existentes para la evaluación de arquitecturas cloud, así como realizar estudios empíricos para proporcionar evidencia acerca de la utilidad de un conjunto de métricas.

Abstract

Context: Cloud computing is a model of provision and consumption of services that offers many advantages to companies (high availability, flexibility, maximum utilization of resources, etc.) that result in quality requirements that must be met by the service. In recent years there have been proposed numerous quality attributes and metrics for cloud services, but there is no study to collect this information and classified it with respect to internal and external characteristics of service (Quality of Service - QoS) and characteristics in use of the service (Quality of Experience - QoE).

Objective: The objective of this final master's work is to define a model specific quality cloud services aligned with the ISO /IEC 25010, which integrate the quality features, attributes and metrics proposed in the literature and which allow to assess the quality cloud of artifacts in various stages of the life cycle.

Method: We performed a systematic review of the literature in order to identify and analyze the attributes and quality metrics proposed to assess the quality of cloud services. This method has been widely used in the field of Software Engineering and has proven useful to collect and analyze existing information on a particular research topic.

Results: The result is a quality model for cloud services which has been built from 178 attributes and 364 metric obtained as a result of the systematic review. In particular, the results of the review indicate that 48% of proposals are metrics to measure performance efficiency, reliability metrics following him with 23%. With respect to the phase of the life cycle, 55% of these metrics are used in the operation phase and 32% in the acquisition phase. Regarding the point of view of stakeholders, 39% of the metrics are oriented to the service provider, 33% consumer, 7% to the facilitator (broker) and only 5% service developer. With respect to cloud evaluated artifacts, most metrics (97%) are applied to the cloud service being tested or deployed in the cloud; only 2% of the metrics are applied to the service architecture and 1% on the service specification. With regard to the validation, the results show that 99% of metric proposals lack any type of validation, although 44% presents a proof of concept illustrating how the metrics can be used. Additionally, we identified 27 attributes for cloud services, the elasticity was the most named, with 14%.

Conclusions: The results of this work have provided relevant information on the current status and gaps that exist in the field of quality assessment of cloud services. They have also allowed us to define a quality model to meet some identified shortcomings. As future work, we intend to refine the proposed model, propose new metrics and adapt some existing architectures for evaluating cloud and empirical studies to provide evidence about usefulness of a set of metrics.

Resum

Context: La computació en el núvol és un model de prestació i consum de serveis que ofereix moltes avantatges a les empreses (alta disponibilitat, elasticitat, màxim aprofitament de recursos, etc.) que se tradueixen en requisits de qualitat que deuen ser complerts pel servei. En els últims anys s'han proposat diversos atributs de qualitat i mètriques per a serveis cloud, però no existeix un estudi que recopili aquesta informació i la classifiqui en respecte a les característiques internes i externes del servei (Quality of Service – QoS), així com característiques en ús del servei (Quality of Experience – QoE).

Objectiu: L'objectiu d'aquest treball de fi de màster és definir un model de qualitat específica per a serveis cloud, enriquerat en l'ISO/IEC 25010, que integri les característiques de qualitat, atributs i mètriques proposats en la literatura i que permeten avaluar la qualitat dels artefactes cloud en distintes fases del cicle de vida.

Mètode: S'ha realitzat una revisió sistemàtica de la literatura en l'objectiu d'identificar i analitzar els atributs i mètriques de qualitat proposades per a avaluar la qualitat dels serveis cloud. Aquest mètode ha seguit utilitzat extensament en l'àmbit de l'Enginyeria del Software i ha demostrat ser útil per a recopilar i analitzar l'informació existent relativa a un determinat tema d'investigació.

Resultats: El resultat és un model de qualitat per a serveis cloud que ha seguit construït a partir dels 178 atributs i 364 mètriques obtingudes com resultat de la revisió sistemàtica. En particular, els resultats de la revisió indiquen que el 48% de les mètriques proposades són per a mesurar Eficiència de desenvolupament, seguint-li les mètriques de fiabilitat en un 23%. En respecte a la fase del cicle de vida, un 55% d'aquestes mètriques s'utilitzen en la fase d'Operació i un 32% en la fase d'Adquisició. En respecte al punt de vista dels stakeholders, el 39% de les mètriques estan orientades al proveïdor del servei, el 33% al consumidor, el 7% al facilitador (bróker) i només un 5% al desenvolupador del servei. En respecte als artefactes cloud valorats, la majoria de les mètriques (97%) s'apliquen sobre el servei cloud en fase de proves o desplegat en el cloud; només un 2% de les mètriques s'apliquen sobre l'arquitectura del servei i un 1% sobre l'especificació del servei. En respecte a la validació, els resultats mostren que el 99% de les mètriques proposades carixen de qualsevol tipus de validació, encara que el 44% presenta una prova de concepte que il·lustra com se pot utilitzar les mètriques. Adicionalment identifiquem 27 atributs propis dels serveis cloud, sent l'elasticitat el més nomenat, en 14%.

Conclusions: Els resultats del treball han proporcionat informació rellevant sobre l'estat actual i les carencies que existixen en l'àmbit de l'avaluació de la qualitat dels serveis cloud. També nos han permès definir un model de qualitat per a suplir algunes carencies identificades. Com treballs futurs, pretenem refinar el model proposat, proposar noves mètriques i adaptar algunes existents per a l'avaluació d'arquitectures cloud, així com realitzar estudis empírics per a proporcionar evidència al voltant de l'utilitat d'un conjunt de mètriques.

Contenido

1.	Introducción	10
1.1	Motivación	10
1.2	Objetivos	11
1.3	Método de investigación.....	12
1.3.1	Revisión Sistemática de la Literatura	12
1.3.2	Proceso para la realización de una Revisión Sistemática de la Literatura.....	13
1.4	Contexto.....	19
1.5	Estructura de la tesis.....	20
2.	Cloud Computing y Calidad de servicios Cloud	21
2.1	Cloud Computing	21
2.1.1	Visión general de los servicios cloud.....	21
2.1.2	Calidad de los servicios en ambientes cloud	24
2.2	Estándares de la calidad de servicios cloud	26
3.	Estado del Arte	28
3.1	Encuestas, mapeos y revisiones sistemáticas sobre calidad de servicios Cloud	28
3.2	Modelos de calidad sobre servicios Cloud	31
3.3	Estándares relacionados con la evaluación de calidad	33
3.3.1	Estándar ISO 25010	36
3.3.2	Estándar ISO 25012	37
4.	Revisión sistemática	40
4.1	Planificación de la revisión	40
4.1.1	Necesidad de la revisión.....	40
4.1.2	Preguntas de investigación.....	41
4.1.3	El protocolo de revisión.....	42
4.1.4	Evaluación de calidad de la revisión sistemática	54

4.2	Ejecución de la revisión.....	57
4.3	Difusión de los resultados.....	60
4.3.1	Métricas para la evaluación de la calidad de servicios cloud	60
4.3.2	Atributos para la evaluación de la calidad de los servicios Cloud.....	75
4.4	Discusión	83
4.4.1	Principales hallazgos	83
4.4.2	Amenazas a la validez.....	84
5.	Modelo de Calidad.....	85
5.1	Definición de los objetivos de calidad	85
5.2	Especificación de las características de calidad.....	87
5.2.1	Características de calidad internas/externas (QoS)	87
5.2.2	Características de calidad en uso (QoE)	105
5.3	Operacionalización del modelo	109
6.	Conclusiones y Trabajos Futuros	112
6.1	Conclusiones.....	112
6.2	Trabajos futuros.....	113
	Referencias	115
	Apéndice A.....	123
	Apéndice B.....	125
	Apéndice C.....	135

Índice de Figuras

Figura 1.1. Fases en el proceso de la revisión	14
Figura 3.1. Modelo de calidad del producto software ISO 25010 (ISO/IEC, 2011)	37
Figura 3.2. Modelo de calidad en uso ISO 25010 (ISO/IEC, 2011)	37
Figura 3.3. Modelo de calidad de producto de datos ISO 25012 (ISO/IEC, 2008b)	39
Figura 4.1. Proceso de selección de los estudios primarios	58
Figura 4.2. Número de publicaciones de calidad de servicio cloud por año	59
Figura 4.3. Distribución de los 85 estudios primarios.....	60
Figura 4.4. Porcentajes del número de métricas por característica de calidad	64
Figura 4.5. Porcentaje del número de métricas por tipo de atributo	66
Figura 4.6. Porcentaje del número de métricas por tipo de métrica.....	67
Figura 4.7. Porcentaje del número de métricas por método de medida.....	68
Figura 4.8. Porcentaje del número de métricas por tipo de evaluación.....	69
Figura 4.9. Porcentaje del número de métricas por fase del ciclo de vida en el que se aplica ...	70
Figura 4.10. Porcentaje del número de métricas por punto de vista	71
Figura 4.11. Porcentaje del número de métricas por tipo de servicio.....	73
Figura 4.12. Porcentaje del número de métricas por artefacto Cloud	74
Figura 4.13. Porcentaje del número de métricas por validación de la métrica.....	75
Figura 4.14. Porcentaje del número de atributos por característica de calidad evaluada	77
Figura 4.15. Porcentaje del número de atributos por el tipo.....	79
Figura 4.16. Características/atributos específicos de Cloud	81
Figura 4.17. Otras características/atributos.....	82
Figura 5.1. Modelo de calidad interna/externa del servicio cloud	110
Figura 5.2. Modelo de Calidad en uso del servicio cloud.....	111

Índice de Tablas

Tabla 4.1. Resumen de PICOC.....	42
Tabla 4.2. Cadena de búsqueda.....	43
Tabla 4.3. Formulario de extracción de datos para artículos con atributos y métricas.....	52
Tabla 4.4. Formulario de extracción de datos para artículos con solo características/atributos	53
Tabla 4.5. Resultados de los criterios de la extracción de datos para las métricas.....	61
Tabla 4.6. Resultados de los criterios de la extracción de datos para los atributos sin métricas	76
Tabla 4.7. Características/atributos complementarios no repetidos	78
Tabla 5.1. Definición de los objetivos del modelo de calidad	85
Tabla 5.2. Atributos y métricas de la característica adecuación funcional	87
Tabla 5.3. Atributos y métricas de la característica eficiencia de desempeño	88
Tabla 5.4. Atributos y métricas de la característica compatibilidad.....	95
Tabla 5.5. Atributos y métricas de la característica usabilidad	96
Tabla 5.6. Atributos y métricas de la característica fiabilidad.....	97
Tabla 5.7. Atributos y métricas de la característica seguridad.....	100
Tabla 5.8. Atributos y métricas de la característica mantenibilidad.....	102
Tabla 5.9. Atributos y métricas de la característica portabilidad	104
Tabla 5.10. Atributos y métricas de la característica satisfacción	106
Tabla 5.11. Atributos y métricas de la característica ausencia de riesgo.....	108
Tabla 5.12. Atributos y métricas de la característica cobertura de contexto	109
Tabla 0.1. Cadenas de búsquedas utilizadas en las bibliotecas digitales	123

1. Introducción

1.1 Motivación

La computación en la nube (*Cloud Computing*) se define, en la ISO/IEC 17788, como el paradigma para permitir el acceso a la red a un conjunto escalable y elástico de recursos físicos o virtuales que se pueden compartir con autoservicio de aprovisionamiento y administración bajo demanda (ISO/IEC JTC1 SC38, 2014). Otra definición ampliamente aceptada es la proporcionada por NIST, que lo define como un modelo para habilitar el acceso a la red de forma ubicua, conveniente y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables (p.e., redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que pueden ser rápidamente suministrados y liberados con un esfuerzo mínimo de gestión o interacción con el proveedor de servicios (Mell & Grance, 2011).

Un aspecto sobresaliente de *Cloud Computing* es su fuerte enfoque hacia la orientación al servicio (Rhoton & Haukioja, 2013). Actualmente las plataformas en la nube agrupan sus servicios en tres tipos de provisión: Infraestructura como Servicio (*Infrastructure as a Service, IaaS*), Plataforma como Servicio (*Platform as a Service, PaaS*), o Software como un Servicio (*Software as a Service, SaaS*).

Como en cualquier otro tipo de producto software es muy importante asegurar la calidad de estos servicios. Según el informe *World Quality Report 2015-2016* de Sogeti, Capgemini y HP (WQR, 2015), las cinco estrategias empresariales más adoptadas por las empresas incluyen: el asegurar la seguridad de las aplicaciones en un entorno conectado (donde soluciones basadas en web y cloud son accesibles desde muchas plataformas), la mejora de la experiencia de los clientes, la optimización de costes TI y el aumento de la calidad de las soluciones software. Además, los servicios cloud están siendo ampliamente usados, tanto a nivel empresarial, como personal. La provisión de SaaS es el que más crecimiento ha mostrado y Cisco prevé que en 2018 representará casi el 60% del total de carga de trabajo en la nube (Cisco, 2012) por lo que es imprescindible contar con mecanismos que permitan evaluar la calidad de estos servicios.

Los servicios cloud tienen algunas características claves que lo distinguen de otros servicios y ofrecen un gran número de ventajas tanto para proveedores como para consumidores, como por ejemplo: la elasticidad y escalabilidad en la provisión del servicio que permite ampliar-reducir recursos bajo demanda; la alta disponibilidad, el máximo aprovechamiento de recursos hardware y la facturación flexible que se refiere al pago por uso del servicio (Rhoton & Haukioja, 2013).

Esto hace que el modelo de calidad¹ genérico que propone la ISO/IEC 25010 (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011) para la evaluación de los productos software necesite ser personalizado y extendido, de tal manera que proporcione mecanismos que permita evaluar las características específicas de los servicios cloud.

En los últimos años, algunos modelos de calidad han sido propuestos para los servicios cloud, como (Zheng, Martin, Brohman, & Xu, 2014), (J. Y. Lee, Lee, Cheun, & Kim, 2009), (P. X. Wen & Dong, 2013), y (Zhou, Wang, Li, & Jiang, 2015), pero ninguno de estos modelos cuenta con una recopilación completa de atributos de calidad con sus respectivas métricas que permitan evaluar distintas categorías de servicios (SaaS, PaaS, IaaS) y artefactos cloud (arquitectura cloud, servicio en uso) en distintas fases del ciclo de vida, y que a su vez esté alineado con la ISO/IEC 25010.

Algunos trabajos previos se ha centrado en la descripción de las características de calidad y métricas para medir la calidad de un servicio en la nube desde una perspectiva multidimensional. Un ejemplo de esto es el *Service Measurement Index (SMI)* (CSMIC, 2014), un marco propuesto para comparar servicios o proveedores cloud con respecto a seis Indicadores de Rendimiento Clave (KPIs): Calidad, Agilidad, Riesgo, Capacidad, Coste y Seguridad. El modelo planteado por SMI integra más de 40 características individuales relativas a los servicios cloud. Sin embargo, la propuesta no proporciona métricas para medir todas las características y atributos propuestos.

Por otra parte, se han propuesto numerosas métricas² para evaluar la calidad de los servicios cloud pero no existe un estudio que recoja esta información y la clasifique con respecto a las características internas y externas del servicio (*Quality of Service – QoS*), así como las características en uso de los servicios cloud (*Quality of Experience – QoE*).

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es proponer un modelo de calidad específico para servicios cloud, a partir del estándar de calidad ISO/IEC 25010 (SQuaRE) que descomponga la calidad de los servicios en características, subcaracterísticas, atributos medibles y proporcione métricas para medir dichos atributos.

La ventaja de los modelos de calidad es que la calidad se convierte en algo concreto, que se puede definir, que se puede medir y, sobre todo, que se puede planificar. Los modelos de calidad ayudan también a comprender las relaciones que existen entre las

¹ Un modelo de calidad ofrece una definición operacional de la calidad del software y se basa en una descomposición jerárquica de la calidad en características, subcaracterísticas, atributos de calidad y métricas.

² Las métricas se consideran un instrumento apropiado para medir los atributos de calidad ya que permiten entender, monitorizar, controlar, predecir y probar el desarrollo y el mantenimiento de software (Fenton, 1991).

diferentes características de un servicio cloud (p.e., escalabilidad, fiabilidad, elasticidad, seguridad).

Las metas que pretende alcanzar el presente trabajo, las cuales descomponen el objetivo principal, son:

1. Analizar el estado del arte de los trabajos que presentan propuestas relacionadas con la evaluación de calidad de los servicios cloud.
2. Identificar, analizar y clasificar los atributos de calidad que los investigadores y profesionales de la industria consideran relevantes para asegurar la calidad de los servicios cloud.
3. Identificar, analizar y clasificar las métricas que han sido propuestas para evaluar la calidad de los servicios cloud.
4. Definir un Modelo de Calidad específico para los servicios cloud que recoja el estado actual, cubra las carencias encontradas en el estado del arte, y que siga los estándares de calidad más actuales. El refinamiento del modelo de calidad será trabajo futuro.

Son muchos los beneficios que un modelo de calidad para servicios cloud puede proporcionar a las empresas interesadas en implantar un sistema de control de calidad del producto basada en las normas ISO/IEC 25000. Para las *empresas que desarrollan servicios cloud* puede ayudar a controlar la calidad de sus servicios, a mejorar las características del servicio, asegurar a los consumidores del servicio el nivel de calidad esperado (y acordado en el *Service Level Agreement – SLA*), a posicionar su producto en el mercado, a aumentar las ventas del producto debido a la mejora en la satisfacción de los consumidores y/o usuarios finales del servicio. Para las *empresas que adquieren el servicio* puede ayudar a conocer la calidad del servicio que compran, a comparar entre distintas alternativas, a establecer acuerdos a nivel de servicio, etc.

1.3 Método de investigación

Antes de iniciar la investigación es crucial establecer el método de investigación que se va a seguir. En este trabajo se ha seguido el método de Revisión Sistemática de la Literatura con el fin de alcanzar los objetivos propuestos.

1.3.1 Revisión Sistemática de la Literatura

En el ámbito de la ingeniería de Software, las revisiones sistemáticas de la literatura son consideradas estudios secundarios, y se utilizan para recopilar y analizar los estudios primarios relativos a un determinado tema de investigación. El método de revisión sistemática apareció en el área de la medicina, y su adaptación a la Ingeniería de Software fue realizada por Kitchenham (2004), quien propuso un conjunto de directrices

para llevar a cabo estudios de la literatura en esta área, y que ahora están siendo ampliamente utilizadas por la comunidad investigadora.

Una Revisión Sistemática de la Literatura utiliza una metodología rigurosa para identificar, analizar e interpretar de forma no sesgada y repetible, todas las evidencias relativas a una pregunta de investigación (Kitchenham & Charters, 2007). Los motivos más frecuentes que justifican la necesidad de una revisión sistemática según Kitchenham y Charters (2007) son:

- Resumir la evidencia existente relativa a una temática previamente definida.
- Identificar carencias actuales para delimitar tópicos de investigación futuros.
- Proveer un marco de antecedentes que permita posicionar nuevas actividades de investigación referentes a una temática.

Las revisiones sistemáticas pueden llevarse a cabo para examinar hasta qué punto la evidencia empírica apoya/contradice las hipótesis teóricas, o incluso asistir en la generación de nuevas hipótesis.

Las ventajas de realizar las Revisiones Sistemáticas de la Literatura son (Kitchenham & Charters, 2007):

- La metodología bien definida hace que sea menos probable que los resultados de la literatura sean parciales, aunque no protege contra el sesgo de publicación en los estudios primarios.
- Pueden proporcionar información sobre los efectos de un fenómeno a través de una amplia gama de configuraciones y métodos empíricos. Si los estudios dan resultados consistentes, las revisiones sistemáticas proporcionan evidencia de que el fenómeno es sólido y transferible. Si los estudios dan resultados inconsistentes, se pueden estudiar las fuentes de variación.
- En el caso de los estudios cuantitativos, es posible combinar los datos utilizando técnicas de meta-análisis. Esto aumenta la probabilidad de detectar efectos reales que los estudios individuales no sean capaces de detectar.

La principal desventaja de las Revisiones Sistemáticas de la Literatura es que requieren un esfuerzo considerablemente, mucho mayor que las revisiones tradicionales de la literatura.

1.3.2 Proceso para la realización de una Revisión Sistemática de la Literatura

Kitchenham y Charters (2007) han propuesto un proceso para ejecutar las Revisiones Sistemáticas de la Literatura que consiste en tres fases principales: Planificación de la

revisión, Ejecución de la revisión y la Difusión de los resultados (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), que se describen en detalle en las siguientes subsecciones.

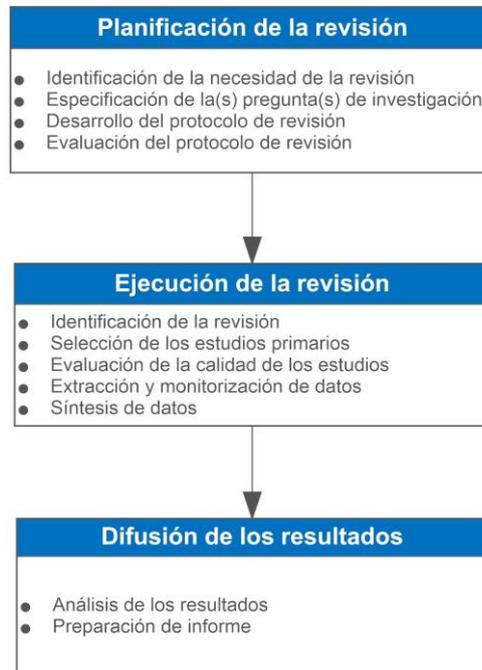


Figura 1.1. Fases en el proceso de la revisión

1.3.2.1 Planificación de la revisión

En esta fase se identifica la necesidad de la revisión, las preguntas de investigación son establecidas, el protocolo de revisión es definido, y se realiza la validación del protocolo (Kitchenham & Charters, 2007).

- **Identificación de la necesidad de la revisión:** La necesidad de una revisión sistemática surge de la exigencia de los investigadores para resumir toda la información existente sobre algún fenómeno de manera exhaustiva e imparcial. Esto puede ser con el fin de sacar conclusiones más generales sobre algún fenómeno que es posible a partir de los estudios individuales, o puede llevarse a cabo como preludeo a otras actividades de investigación.
- **Especificación de la(s) pregunta(s) de investigación:** Esta es la parte más importante de cualquier revisión sistemática. Las preguntas de investigación conducen toda la metodología de revisión sistemática: el proceso de búsqueda debe identificar los estudios primarios que abordan las cuestiones de investigación, el proceso de extracción de datos debe extraer los datos necesarios para responder a las preguntas, el proceso de análisis de datos debe sintetizar los datos de tal manera que las preguntas puedan ser contestadas.

- **Desarrollo del protocolo de revisión:** Un protocolo de revisión especifica los métodos que se utilizarán para llevar a cabo una revisión sistemática específica. Un protocolo predefinido es necesario para reducir la posibilidad de sesgo investigador. Por ejemplo, sin un protocolo, es posible que la selección de los estudios individuales o el análisis pueda ser impulsado por las expectativas del investigador. Los componentes de un protocolo incluyen todos los elementos de la revisión, más algo de información adicional de planificación:
 - *Antecedentes.* La justificación del estudio.
 - *Pregunta(s) de investigación.* La(s) pregunta(s) de investigación que la revisión pretende responder.
 - *Estrategia de búsqueda.* La estrategia que se utilizará para buscar estudios primarios incluyendo los términos de búsqueda y los recursos en que se debe buscar. Los recursos incluyen bibliotecas digitales, revistas específicas, y actas de congresos. Un estudio inicial de mapeo puede ayudar a determinar una estrategia apropiada.
 - *Criterios de selección (inclusión/exclusión) de estudios.* Criterios que se utilizan para determinar qué estudios deberían ser incluidos o excluidos de una revisión sistemática. Por lo general es útil poner a prueba los criterios de selección en un subconjunto de los estudios primarios.
 - *Procedimientos de selección (inclusión/exclusión) de los estudios.* El protocolo debe describir cómo se aplicarán los criterios de selección, por ejemplo, cuántos evaluadores evaluarán cada estudio primario, y cómo resolver los desacuerdos entre los evaluadores.
 - *Procedimientos para la evaluación de la calidad.* Los investigadores deben desarrollar listas de control de calidad para evaluar los estudios individuales.
 - *Estrategia de extracción de datos.* Esto define cómo se obtiene la información requerida de cada estudio primario. Si los datos requieren manipulación o suposiciones e inferencias para ser hechas, el protocolo debe especificar un proceso de validación apropiada.
 - *Síntesis de los datos extraídos.* Esto define la estrategia de síntesis. Si se realiza un meta-análisis formal debe aclararse qué técnicas se utilizarán.
 - *Estrategia de difusión.* Si no está ya incluido en un documento de puesta en marcha)
 - *Planificación del proyecto.* Esto debe definir un calendario de la revisión.
- **Evaluación del protocolo de revisión:** El protocolo es un elemento crítico de cualquier revisión sistemática. Los investigadores deben acordar un procedimiento para evaluar el protocolo. Con financiación disponible, un grupo de expertos independientes debería revisar el protocolo. Estos mismos expertos podrían más tarde revisar el informe final.

1.3.2.2 Ejecución de la revisión

La revisión sistemática se ejecuta siguiendo el protocolo de revisión validado. El proceso de búsqueda se lleva a cabo según la estrategia definida, los estudios primarios se obtienen mediante la aplicación de criterios de inclusión y exclusión, se aplica una evaluación de calidad a los estudios, y a partir de ellos se extraen los datos y se aplican los métodos de síntesis (Kitchenham & Charters, 2007).

- **Identificación de la revisión:** El objetivo de una revisión sistemática es encontrar el mayor número de estudios primarios relacionados con la pregunta de investigación como sea posible utilizando una estrategia de búsqueda imparcial. El rigor del proceso de búsqueda es un factor que distingue a las revisiones sistemáticas de las revisiones tradicionales. Es necesario determinar y seguir una *estrategia de búsqueda*. Todo ello debería hacerse en consulta con los bibliotecarios u otras personas con experiencia relevante. Un enfoque general es la de romper la pregunta en facetas individuales, es decir, población, intervención, comparación, resultados, el contexto, y los diseños de los estudios. A continuación, se debe elaborar una lista de sinónimos, abreviaturas y palabras alternativas. Otros términos pueden ser obtenidos al considerar los encabezamientos de materias utilizadas en revistas y bases de datos. Luego, cadenas de búsqueda sofisticadas se pueden construir utilizando operadores booleanos AND y OR.
- **Selección de los estudios primarios:** Una vez que se han obtenido los estudios primarios potencialmente relevantes, estos deben ser evaluados por su importancia real. Criterios de selección de estudios se utilizan para identificar los estudios primarios que proporcionan evidencia directa acerca de la pregunta de investigación. Con el fin de reducir la probabilidad de sesgo, los criterios de selección se decidirán durante la definición del protocolo, aunque pueden ser refinados durante el proceso de búsqueda. Los criterios de inclusión y exclusión se deben basar en la pregunta de investigación. Estos deben ser orientados para garantizar que puedan ser interpretados de forma fiable y para que se clasifiquen los estudios correctamente.

La selección de los estudios es un proceso de varias etapas. Inicialmente, los criterios de selección deben ser interpretados liberalmente, de modo que al menos que un estudio identificado mediante las búsquedas electrónicas y manuales pueda ser excluido claramente basado en título y el resumen, se debería obtener una copia completa del estudio.

Cuando dos o más investigadores evalúan cada documento, el acuerdo entre los investigadores se puede medir mediante la estadística Kappa Cohen. Los valores iniciales de la estadística Kappa debe ser documentado en el informe

final. Cada desacuerdo debe ser discutido y resuelto. Puede ser cuestión de referirse de nuevo al protocolo o puede implicar escribir a los autores para obtener información adicional.

La incertidumbre acerca de la inclusión/exclusión de algunos estudios debe ser investigada para realizar un análisis de sensibilidad. Un solo investigador (como un estudiante de doctorado) debe considerar discutir los documentos incluidos y excluidos con su asesor, un panel de expertos u otros investigadores. Como alternativa, los investigadores individuales pueden aplicar un enfoque de test-retest, y volver a evaluar una muestra aleatoria de los estudios primarios que se encuentran tras el examen inicial para comprobar la coherencia de sus decisiones de inclusión/exclusión.

- **Evaluación de la calidad de los estudios:** Además de los criterios generales de inclusión/exclusión, se considera fundamental para evaluar la "calidad" de los estudios primarios para: i) proporcionar criterios de inclusión/exclusión aún más detallados; ii) investigar si las diferencias de calidad proveen una explicación para las diferencias en los resultados del estudio, como un medio para ponderar la importancia de los estudios individuales cuando los resultados están siendo sintetizados; iii) guiar la interpretación de los resultados y determinar la fuerza de inferencias; y para iv) guiar las recomendaciones para futuras investigaciones. Una primera dificultad es que no existe una definición consensuada de estudio de "calidad". Sin embargo, directrices existentes sugieren que la calidad se relaciona con el grado en que el estudio minimiza el sesgo y maximiza la validez interna y externa.
- **Extracción y monitorización de datos:** El objetivo de esta etapa es el diseño de formularios de extracción de datos para registrar con precisión la información que los investigadores obtienen a partir de los estudios primarios. Para reducir la posibilidad de sesgo, los formularios de extracción de datos deben ser definidos y puestos a prueba cuando se define el protocolo de estudio. Los formularios de extracción de datos deben ser diseñados para recopilar toda la información necesaria para responder a las preguntas de investigación y a los criterios de calidad del estudio. Si los criterios de calidad se van a utilizar para identificar los criterios de inclusión/exclusión, requieren formularios separados (ya que la información debe ser recogida antes del ejercicio de extracción de datos principal). Sin embargo, si los criterios de calidad son para ser utilizado como parte del análisis de datos, los criterios de calidad y los datos de revisión pueden ser incluidos en el mismo formulario. Los formularios de extracción de datos necesitan ser pilotados por una muestra de los estudios primarios. Si varios investigadores utilizarán los formularios, todos ellos deben participar en el piloto. Los estudios piloto pretenden evaluar

tanto las cuestiones técnicas como la integridad de los formularios y los problemas de usabilidad, tales como la claridad de las instrucciones para el usuario y el orden de las preguntas. Los formularios electrónicos son útiles y pueden facilitar el subsiguiente análisis.

Siempre que sea posible, la extracción de datos se debe realizar de forma independiente por dos o más investigadores. Los datos de los investigadores deben ser comparados y los desacuerdos resueltos ya sea por consenso entre los investigadores o el arbitraje por un investigador independiente adicional. La incertidumbre acerca de las fuentes primarias para las cuales no se puede llegar a un acuerdo debe ser investigadas como parte de cualquier análisis de sensibilidad. Un formulario separado debe ser utilizado para marcar y corregir los errores o discrepancias.

Es importante no incluir múltiples publicaciones de los mismos datos en una revisión sistemática debido a que informes duplicados podrían seriamente sesgar el resultado. Puede que sea necesario ponerse en contacto con los autores para confirmar si los informes hacen referencia al mismo estudio. Cuando hay publicaciones duplicadas, el más completo debe ser utilizado. Incluso puede ser necesario consultar todas las versiones del informe para obtener todos los datos necesarios.

- **Síntesis de datos:** La síntesis de los datos consiste en recopilar y resumir los resultados de los estudios primarios incluidos. La síntesis puede ser descriptiva (no cuantitativa). Sin embargo, a veces es posible complementar una síntesis descriptiva con un resumen cuantitativo. El uso de técnicas estadísticas para obtener una síntesis cuantitativa se refiere como meta-análisis.

Las actividades de síntesis de datos deben ser especificadas en el protocolo de revisión. Sin embargo, algunos problemas no se pueden resolver hasta que los datos se analicen, por ejemplo, no se requiere el análisis de subconjuntos para investigar la heterogeneidad si los resultados no muestran ninguna evidencia de heterogeneidad.

La información extraída de los estudios (es decir, la intervención, la población, el contexto, los tamaños de muestra, los resultados, la calidad del estudio) deben ser tabulados de una manera consistente con la pregunta de la revisión. Las tablas deben ser estructuradas para resaltar las similitudes y diferencias entre los resultados del estudio.

Los datos cuantitativos también deben ser presentados en forma tabular. Sin embargo, para sintetizar los resultados cuantitativos de los diferentes estudios, los resultados del estudio deben ser presentados de una manera comparable. Cuando los investigadores tienen una revisión sistemática de la literatura que incluye estudios cuantitativos y cualitativos, deberían: sintetizar los estudios cuantitativos y cualitativos por separado, a continuación, intentar integrar los

resultados cualitativos y cuantitativos mediante la investigación de si los resultados cualitativos pueden ayudar a explicar los resultados cuantitativos. Por ejemplo, los estudios cualitativos pueden sugerir razones por las que un tratamiento funciona o no funciona en circunstancias específicas.

1.3.2.3 Difusión de los resultados

En esta fase los resultados de la revisión son interpretados y presentados (Kitchenham & Charters, 2007).

- **Análisis de los resultados:** Por lo general, las revisiones sistemáticas serán notificadas en al menos dos formatos: en un informe técnico o en una sección de una tesis doctoral, o en un artículo de revista o conferencia. Un artículo de revista o conferencia tendrá normalmente una restricción de tamaño. Con el fin de garantizar que los lectores sean capaces de evaluar adecuadamente el rigor y la validez de una revisión sistemática, los artículos de revistas deben hacer referencia a un informe técnico o tesis que contenga todos los detalles.
- **Preparación de informe:** Los artículos de revistas serán evaluados como una cuestión de rutina. Los expertos revisan las tesis de doctorado como parte del proceso de evaluación. Por el contrario, los informes técnicos no son generalmente sometidos a una evaluación independiente. Sin embargo, si las revisiones sistemáticas se ponen a disposición en la web para que los resultados estén disponibles rápidamente para investigadores y profesionales, vale la pena organizar una revisión por pares. Si un panel de expertos fuera utilizado para revisar el protocolo del estudio, el mismo panel sería apropiado para llevar a cabo la revisión por pares del informe de revisión sistemática, de lo contrario varios investigadores con experiencia en el área temática y/o metodología de revisión sistemática podrían revisar el informe.

1.4 Contexto

El presente trabajo de fin de máster se ha desarrollado en el seno del grupo ISSI (Ingeniería del Software y Sistemas de Información) y ha sido financiado con una Beca del “Programa Convocatoria Abierta 2014” de la SENESCYT (Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación) del Gobierno de Ecuador. Asimismo, los resultados de este trabajo contribuyen al desarrollo del siguiente proyecto de investigación:

- Value@Cloud: Desarrollo Incremental de Servicios Cloud Dirigido por Modelos y Orientado al Valor del Cliente (2014-2017). Financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad (MINECO), Programa Retos - TIN2013-46300-R.

En particular, el trabajo desarrollado forma parte del paquete de trabajo “Definición y gestión de mecanismos de monitorización del valor en tiempo de ejecución”, proporcionando un Modelo de Calidad SaaS para el método de monitorización de calidad de servicios Cloud@Mozart (Priscila Cedillo, Gonzalez-Huerta, Abrahao, & Insfran, 2014) (P Cedillo, Jimenez-Gomez, Abrahao, & Insfran, 2015) (Priscilla Cedillo, Gonzalez-Huerta, Abrahao, & Insfran, 2015).

1.5 Estructura de la tesis

En este capítulo se han presentado la motivación del trabajo de investigación, el objetivo que se pretende alcanzar con el presente trabajo fin de máster, el método de investigación y el contexto del trabajo de investigación. En los siguientes capítulos, el trabajo de fin de máster se estructura de la siguiente forma:

El Capítulo 2 presenta los conceptos más importantes sobre *Cloud Computing* y la Calidad de servicios cloud, su historia, su definición, los beneficios, etc.

El Capítulo 3 presenta el estado del arte acerca de los temas relacionados con el trabajo fin de máster: encuestas y revisiones sistemáticas acerca de la calidad de los servicios cloud, y los estándares relacionados con la evaluación de calidad propuestos por la ISO/IEC.

En el Capítulo 4 se presenta una revisión y un mapeo sistemática que se utilizan con el objetivo de obtener y analizar los atributos y métricas de calidad propuestas para evaluar la calidad de los servicios cloud.

El Capítulo 5 describe la contribución principal de este trabajo de investigación. Propone un modelo de calidad preliminar para servicios cloud compuesto por un conjunto de características, atributos de calidad y métricas para medir dichos atributos.

Finalmente, el Capítulo 6 describe las conclusiones del trabajo de investigación y los trabajos futuros.

2. Cloud Computing y Calidad de servicios Cloud

En este capítulo expondremos los conceptos relacionados a la computación en la nube o *Cloud Computing*. En la sección 2.1 presentaremos una visión general de *Cloud Computing* y la calidad de los servicios en ambientes cloud. En la sección 2.2 se expondrán los estándares de la calidad que se han propuesto para la calidad de servicios cloud.

2.1 Cloud Computing

El principal objetivo de esta sección es presentar una visión general de *Cloud Computing* y describir la evaluación de la calidad en ambientes cloud.

2.1.1 Visión general de los servicios cloud

En las siguientes secciones, presentaremos la definición de *Cloud Computing*, y la clasificación de los servicios cloud.

2.1.1.1 Definición de *Cloud Computing*

La idea básica de *Cloud Computing* es el uso de recursos computacionales que están localizados remotamente y que son entregados a través de Internet (Rhoton & Haukioja, 2013). Según Gens (2008), *Cloud Computing* es el desarrollo, el despliegue y la entrega de un modelo emergente de TI, lo que permite la entrega en tiempo real de los productos, servicios y soluciones a través de Internet (p.e., habilitar servicios cloud).

Como ya hemos mencionado en el objetivo de este trabajo, NIST lo define como un modelo para habilitar el acceso a la red de forma ubicua, conveniente y bajo demanda a un conjunto compartido de recursos informáticos configurables (p.e., redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios) que pueden ser rápidamente suministrados y liberados con un esfuerzo mínimo de gestión o interacción con el proveedor de servicios (Mell & Grance, 2011). Y la ISO/IEC 17788 lo define como el paradigma para permitir el acceso a la red a un conjunto escalable y elástico de recursos físicos o virtuales que se pueden compartir con autoservicio de aprovisionamiento y administración bajo demanda (ISO/IEC JTC1 SC38, 2014).

Según NIST, las características esenciales de *Cloud Computing* son (Mell & Grance, 2011):

- **Autoservicio por demanda:** Un consumidor puede aprovisionar de manera unilateral capacidades de cómputo, tales como tiempo de servidor y

almacenamiento en red, en la medida en que las requiera sin necesidad de interacción humana por parte del proveedor del servicio.

- **Acceso amplio desde la red:** Las capacidades están disponibles sobre la red y se acceden a través de mecanismos estándares que promueven el uso desde plataformas clientes heterogéneas, pesadas o livianas (p.e., teléfonos móviles, tabletas, portátiles, y estaciones de trabajo).
- **Conjunto de recursos:** Los recursos computacionales del proveedor se habilitan para servir a múltiples consumidores mediante un modelo multi-alquiler, con varios recursos tanto físicos como virtuales asignados y reasignados de acuerdo con los requerimientos de los consumidores. Existe un sentido de independencia de ubicación en cuanto a que el consumidor no posee control o conocimiento sobre la ubicación exacta de los recursos que se le están proveyendo, aunque puede estar en capacidad de especificar ubicación a un nivel de abstracción alto (p.e., país, estado o centro de datos). Algunos ejemplos incluyen almacenamiento, procesamiento, memoria, y ancho de banda.
- **Rápida elasticidad:** Las capacidades pueden ser rápidamente y elásticamente provisionadas, en algunos casos automáticamente, para escalar hacia fuera rápidamente y también rápidamente liberadas para escalar hacia dentro también de manera veloz. Para el consumidor, estas capacidades disponibles para provisionar a menudo aparecen como ilimitadas y pueden ser compradas en cualquier cantidad en cualquier momento.
- **Servicio medido:** Los sistemas en la nube controlan automáticamente y optimizan el uso de recursos mediante una capacidad de medición a algún nivel de abstracción adecuado al tipo de servicio (p.e., almacenamiento, procesamiento, ancho de banda y cuentas de usuario activas). El uso de estos recursos puede ser monitoreado, controlado y reportado, proporcionando transparencia tanto para el proveedor como para el consumidor del servicio utilizado.

Una característica para destacar de *Cloud Computing* es la mencionada por Rhoton y Haukioja (2013):

- **Facturación flexible:** La medición detallada de uso de recursos, junto con la prestación de servicios bajo demanda, facilitan un número de opciones para los cobros de los clientes. Pueden cobrarse tasas por suscripción, o pueden estar vinculados al consumo real, o reserva, de los recursos. La monetización puede tomar la forma de publicidad colocada o puede depender de simples cargos a las tarjetas de crédito en adición a contratos demasiado elaborados y centrales de facturación.

2.1.1.2 Clasificación de servicios cloud

En esta sección presentaremos los diferentes métodos de clasificación de los servicios cloud, presentaremos el criterio de la forma de despliegue y el criterio según el modelo de servicio ofrecido.

2.1.1.2.1 Modelos de despliegue

Las organizaciones adoptan diferentes modelos de despliegue en función de sus necesidades particulares (C. A. Lee & A., 2010). NIST propone los siguientes modelos de despliegue (Mell & Grance, 2011):

- **Nube privada (Private cloud):** La infraestructura cloud es operada únicamente por una organización, comprendiendo múltiples consumidores (p.e., unidades de negocio). Puede ser poseída administrada, operada por la organización, o por un tercero, o una combinación de ambos, y esta puede estar localizada físicamente dentro o fuera de la empresa.
- **Nube comunitaria (Community cloud):** La infraestructura cloud es compartida por varias organizaciones y da soporte a una comunidad específica que comparte las mismas preocupaciones (p.e. misión, seguridad, requisitos, consideraciones de normativa legal, etc.). Puede ser poseída administrada, operada por una o varias organizaciones dentro de la comunidad, o por un tercero, o una combinación de ambos, y esta puede estar localizada físicamente dentro o fuera de la empresa.
- **Nube pública (Public cloud):** La infraestructura cloud está disponible para el uso del público en general. Puede ser poseída administrada, operada por un negocio, una organización académica o gobierno, o una combinación de ellos. Esta existe en la propia infraestructura (*on premise*) del proveedor.
- **Nube híbrida (Hybrid Cloud):** La infraestructura cloud es una composición de dos o más infraestructuras (privada, comunitaria, o pública) que a pesar de seguir siendo entidades únicas en sí mismas, se unen mediante tecnología propietaria o estandarizada que les permite la portabilidad de datos y aplicaciones (p.e., cloud bursting o nube de explosión, para el equilibrio de carga entre las nubes).

2.1.1.2.2 Modelos de servicio

Cloud Computing es una amalgama, a menudo fragmentada, de servicios heterogéneos (Rhoton & Haukioja, 2013). Dependiendo del tipo de contenido que el proveedor ofrece, los servicios se clasifican en (Mell & Grance, 2011):

- **Software como un Servicio (Software as a Service - SaaS):** La capacidad provista para el consumidor es usar las aplicaciones del proveedor ejecutándose en una infraestructura cloud. Las aplicaciones son accesibles desde varios dispositivos

clientes a través de una interfaz de cliente liviana como un navegador web (p.e., correo electrónico en la web), o una interfaz de un programa. El consumidor no administra o controla la infraestructura cloud subyacente que incluye redes, servidores, sistemas operativos, almacenamiento o incluso las capacidades individuales de la aplicación, con la posible excepción de ciertas configuraciones específicas para el usuario en la aplicación.

- **Plataforma como un Servicio (Platform as a Service - PaaS):** La capacidad que se le provee al consumidor es la de desplegar en la infraestructura cloud las aplicaciones, propias o adquiridas, creadas usando lenguajes de programación y herramientas soportadas por el proveedor. El consumidor no administra o controla la infraestructura cloud subyacente, incluyendo redes, servidores, sistemas operativos o almacenamiento, pero tiene control sobre las aplicaciones desplegadas y posiblemente sobre las configuraciones del entorno de alojamiento.

Infraestructura como un Servicio (Infrastructure as a Service - IaaS): La capacidad provista al consumidor es provisionar procesamiento, almacenamiento, y otros recursos computacionales fundamentales donde el consumidor es capaz de desplegar y ejecutar software arbitrario, el que puede incluir sistemas operativos y aplicaciones. El consumidor no administra o controla la infraestructura cloud subyacente, pero tiene control sobre los sistemas operativos, almacenamiento, aplicaciones desplegadas y posiblemente un control limitado sobre componentes selectas de la red (p.e. los firewalls de sus hosts).

2.1.2 Calidad de los servicios en ambientes cloud

En esta sección expondremos las particularidades y desafíos de la calidad de los servicios, en ambientes cloud y multi-cloud.

La calidad está relacionada con la satisfacción de los requisitos funcionales y no funcionales. Las preguntas clave incluyen: cómo definir todos estos aspectos de la calidad; cómo medirlos; cómo controlar su valor durante todo el proceso desde los requisitos hasta la finalización de ejecución y cómo utilizar la información generada para mejorar extremo a extremo de la calidad que implica la auto-tecnología (computación autónoma) de los servicios cloud (Jeffery, 2012).

Ardagna *et al.* (2014) mencionan que a pesar de que la nube se ha simplificado enormemente el proceso de aprovisionamiento de capacidad, se plantean varios retos nuevos en el área de gestión de la calidad de servicio. La calidad del servicio es fundamental para usuarios de la nube, que esperan que los proveedores entreguen las características de calidad prometidas, y para los proveedores de nube, que necesitan encontrar los equilibrios adecuados entre la calidad de los niveles de servicio y los costes

operativos. Sin embargo, la búsqueda de equilibrio óptimo es un problema de decisión difícil, a menudo exacerbado por la presencia de acuerdos de nivel de servicio (SLA) especificando objetivos de calidad de servicio y sanciones económicas asociadas a violaciones SLA. Ardagna *et al.* (2014) mediante un estudio demuestran que la literatura ya tiene un número significativo de trabajos en la gestión de calidad de servicio cloud, pero que sus enfoques dejan abiertas varias oportunidades de investigación.

Muntés-Mulero *et al.* (2013) definen una aplicación multi-cloud como una pieza de software que usa algunos servicios cloud alojados por dos o más proveedores diferentes. Usualmente, dos escenarios diferentes son considerados al referirnos a los ambientes multi-cloud. El uso de múltiples servicios cloud desde múltiples proveedores, agrega una nueva dimensión de complejidad a un escenario ya complejo como es el de *Cloud Computing*.

Ser capaz de evaluar los riesgos y los aspectos de calidad que están específicamente relacionados con entornos multi-cloud es esencial para el diseño de aplicaciones fiables basados en el uso de servicios cloud (Muntés-Mulero *et al.*, 2013). Existe la necesidad no sólo para identificar los indicadores o métricas relevantes, sino también comprender cómo se relacionan las métricas a los riesgos potenciales. La heterogeneidad causada por proveedores independientes que han creado sus propios modelos de negocio, protocolos, procesos y formatos, genera un incremento en el número de riesgos que hay que tomar en consideración cuando se crea una nueva aplicación usando la estrategia multi-cloud. Muntés-Mulero *et al.* (2013) enfatizan tres aspectos esenciales que hay que tomar en consideración en los ambientes multi-cloud, y que consideramos que son desafíos a la hora de realizar la evaluación de la calidad:

- **La heterogeneidad de los servicios ofrecidos por diferentes proveedores de los resultados en la reducción de la interoperabilidad:** la falta de interfaces estándar para servicios de las diferentes nubes y la creación de sistemas propietarios independientes por cada proveedor, hace a los ambientes multi-cloud muy heterogéneos. Los problemas de interoperabilidad pueden ir desde cuestiones técnicas, tales como interfaces de mensajería o la calidad del servicio, a cuestiones semánticas, organizativas o jurídicas. Esta heterogeneidad es un riesgo importante a tener en cuenta a la hora del diseño, ya que influirá en la capacidad de un arquitecto de aplicaciones pueda decidir entre un servicio y otro. En términos de calidad, un servicio será altamente interoperable con otros sistemas si se puede combinar en colaboración con muchos otros servicios, de la misma o de otros proveedores de servicios en la nube.
- **La migración entre los servicios ofrecidos por diferentes CSP (Cloud Service Providers) es una operación esencial para asegurar el cumplimiento de los requisitos de la aplicación:** una de las razones más comunes para desplegar una aplicación en un entorno multi-cloud, puede incluir el incremento del catálogo

de servicios cloud y el aumento de la capacidad de los usuarios de migrar de un servicio a otro en caso de que no se cumplan los requisitos de la aplicación. A esto le llamamos la intercambiabilidad de capacidad, y que representa la facilidad para migrar de un servicio a otro para reemplazar al primero. Será esencial para descomponer los procesos de migración de un servicio cloud a otro en varios pasos más detallados, y analizar los aspectos de calidad que deben considerarse en el proceso.

- **Las amenazas de seguridad se incrementan en entornos de computación multi-cloud:** aumentar el número de servicios y proveedores, aumentará la complejidad del sistema global y el número de ataques potenciales. El control sobre los datos de los clientes disminuye, sobre todo debido a la migración de potencial entre servicios de distintos proveedores. La comunicación continua de datos entre servicios en diferentes nubes también puede traer como resultado que el almacenamiento de datos en los sistemas externos intermediarios sea menos seguros, el aumento general de la vulnerabilidad y potencialmente comprometer la información confidencial. En cuanto a la privacidad de los datos, el multi-alquiler hace que sea más difícil garantizar la confidencialidad de la información sensible.

2.2 Estándares de la calidad de servicios cloud

Actualmente para evaluar la calidad de los servicios cloud se han propuesto los siguientes estándares:

- **ISO/IEC CD 19086-2 (Information technology - Cloud computing - Service level agreement (SLA) framework -- Part 2: Metric Model):** Se propone un modelo técnico de referencia para documentar las métricas de la nube de SLA (no sólo la seguridad relacionada). Es importante tener en cuenta que el actual estándar ISO/IEC 19086-Parte 2 está pasando por varios cambios tanto en la estructura y el contenido, la retroalimentación de expertos ha puesto de manifiesto que el contenido es demasiado técnico y complejo (ISO/IEC, 2014b).
- **ISO/IEC 27017 (Information technology - Security techniques - Code of practice for information security controls based on ISO/IEC 27002 for cloud services):** Proporciona directrices para los controles de seguridad de información aplicables a la prestación y utilización de servicios cloud, proporcionando: una guía de implementación adicional para los controles pertinentes especificados en el estándar ISO/IEC 27002; y controles adicionales con una guía de implementación que se refieren específicamente a servicios cloud. Este estándar proporciona orientación controles y aplicación tanto para los proveedores de servicios cloud como para clientes de servicios cloud (ISO/IEC, 2015a).
- **ISO/IEC 27002 (Information technology - Security techniques - Code of practice for information security controls):** Proporciona directrices para los estándares

de seguridad de la información de la organización y las prácticas de gestión de seguridad de la información, incluida la selección, implementación y gestión de control, teniendo en cuenta el medio ambiente riesgo seguridad de la información de la organización u organizaciones. Está diseñado para ser utilizado por las organizaciones que pretenden: seleccionar controles en el proceso de implementación de un Sistema de Gestión de Seguridad de la Información basado en el estándar ISO/IEC 27001; implementar controles de seguridad de la información generalmente aceptadas; desarrollar sus propias directrices de gestión de seguridad de la información (ISO/IEC, 2015a).

- **NIST**, al principio del 2011, propuso los siguientes estándares para *Cloud Computing* (NIST, 2013):

- Cloud Computing Reference Architecture and Taxonomy Working Group
- Cloud Computing Standards Acceleration to Jumpstart Adoption of Cloud Computing (SAJACC) Working Group
- Cloud Computing Security Working Group
- Cloud Computing Standards Roadmap Working Group
- Cloud Computing Target Business Use Cases Working Group

Ahora, en este trabajo (NIST, 2013), muestra una recopilación de estándares usados para la evaluar las siguientes categorías de los servicios cloud: seguridad, interoperabilidad, portabilidad, desempeño y accesibilidad.

3. Estado del Arte

En este capítulo presentaremos el estado del arte acerca de los temas relacionados con el trabajo fin de máster. En la sección 3.1 se exponen las encuestas, mapeos y revisiones sistemáticas acerca de la calidad de los servicios Cloud, en la sección 3.2 se presentan los modelos de calidad que han sido propuesto para los servicios Cloud y en la sección 3.3 los estándares relacionados con la evaluación de calidad propuestos por la ISO/IEC.

3.1 Encuestas, mapeos y revisiones sistemáticas sobre calidad de servicios Cloud

En años recientes, se han reportado algunas encuestas, mapeos y revisiones sistemáticas de estudios relacionados con la calidad de los servicios cloud (Abdelmaboud, Jawawi, Ghani, Elsafi, & Kitchenham, 2015) (Casas & Schatz, 2014) (Li, O'Brien, Zhang, & Cai, 2012) (Lehrig, Eikerling, & Becker, 2015).

Abdelmaboud *et al.* (2015) presentan un estudio de mapeo sistemático con el objetivo de investigar los enfoques de la calidad de servicios Cloud con el fin de identificar hacia dónde se deberían direccionar las futuras investigaciones. Este estudio clasifica los enfoques de la calidad de servicio en varios temas según el área en la que se enfoca la investigación, el tipo de contribución y el tipo de investigación. Durante el mapeo sistemático, propusieron tres preguntas de investigación.

La primera pregunta de investigación, tuvo como objetivo identificar los temas relacionados con la calidad de servicios Cloud que han sido investigados y en qué medida, a partir de esto los estudios primarios fueron clasificados en cinco categorías principales: IaaS (48%), SaaS (36%), CSP (10%), PaaS (3%), CSC (3%). El objetivo de la segunda pregunta de investigación era identificar los diversos tipos de investigaciones en la literatura y en qué medida se ha representado cada tipo, y los resultados fueron: La mayoría de los estudios primarios fueron estudios de validación (64%), algunos fueron propuestas de solución (15%) y propuestas conceptuales (12%), mientras que muy pocos estudios fueron estudios de evaluación (6%), artículos de opinión (1.5%) o artículos de experiencia (1.5%). Con respecto a la tercera pregunta de investigación, el objetivo fue identificar los foros en los cuales se tienen publicadas investigaciones sobre la Calidad de Servicio (QoS – Quality of Service) en Cloud Computing, los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes: La mayoría de los estudios primarios fueron publicados en actas de congresos (43%) y revistas (42%).

Relativamente poca investigación fue publicada en capítulos de libros y un solo artículo fue publicado en las actas de talleres. Los resultados de este estudio confirman

que la calidad de los servicios Cloud se ha convertido en un tema importante y que persisten problemas relevantes que requieren la exploración de futuras investigaciones, debido a la creciente utilización de los servicios Cloud. Además, este trabajo reveló la falta de pruebas, herramientas y métricas para evaluar los servicios Cloud con el fin de proporcionar servicios Cloud útiles y fiables que ofrecen un nivel de calidad apropiado.

El resultado de este mapeo sistemático identifica muchas dificultades y lagunas y confirma que sigue habiendo aperturas de nuevas investigaciones sobre calidad de servicio en Cloud Computing. Muchos desafíos y lagunas permanecen abiertos para futuros esfuerzos de investigación en particular en relación con los temas de SaaS y IaaS. Los temas de PaaS, CSP y CSC también requieren exploración seria. En particular, hay una necesidad de entornos de programación, herramientas y métricas para desarrollar y desplegar aplicaciones, así como la gestión de aplicaciones y la monitorización con QoS. Por otra parte, hay una falta de enfoques para la optimización de la prestación de servicios Cloud y la implementación de aplicaciones, y una falta de enfoques de SLA para gestión y monitorización de los recursos y servicios Cloud para satisfacer las expectativas de calidad de servicio de los consumidores. Una ventaja es que sí incluye todos los tipos de servicios Cloud: SaaS, PaaS e IaaS. Como debilidades se encontró del estudio es solo se enfoca en la calidad de servicio con respecto a los servicios Cloud, y no en la calidad de experiencia, lo cual también contribuye como un factor importante al momento de adquirir un servicio por los consumidores, también se excluyen los artículos sobre seguridad y fiabilidad, además solo incluyen artículos desde el punto de vista del consumidor y del proveedor del servicio. Nuestro trabajo además de enfocarse en la calidad de servicio, también lo hará en la calidad de experiencia del servicio Cloud, no excluirá las características de seguridad y fiabilidad, además nuestro trabajo incluye el punto de vista del desarrollador y del facilitador del servicio Cloud, adicionalmente al del proveedor y del usuario final.

Casas y Schatz (2014), a partir de encuestas, presentan los resultados sobre la Calidad de la Experiencia (QoE – Quality of Experience) en Cloud realizados para diferentes servicios basados en Cloud, que van desde los servicios con bajos requisitos en términos de latencia e interactividad (por ejemplo, sistemas de almacenamiento Cloud), servicios multimedia bajo demanda (por ejemplo, YouTube video streaming), la comunicación y la telepresencia (por ejemplo, Lync Online Videoconference) a los servicios altamente interactivos (por ejemplo, Virtual Cloud Desktop). Los resultados de estos estudios proporcionan una base real del campo para el desarrollo de futuros servicios Cloud con requisitos de calidad de experiencia, así como para el dimensionamiento de las infraestructuras de aprovisionamiento de red subyacentes, en particular con respecto a las tecnologías de acceso móvil. Desde un punto de vista de la metodología experimental, los autores presentan un método de análisis estructurado para evaluar los servicios Cloud desde la perspectiva del usuario final, aplicándolo sistemáticamente a diferentes servicios.

Esta metodología se basa en tres conceptos principales, que esperan sería considerado por otros investigadores en estudios futuros de QoE en Cloud: (a) pruebas de laboratorio y de campo subjetivas para la evaluación de la calidad, (b) un análisis riguroso de la interacción entre usuario, aplicación y QoS de la red, y (c) el mapeo entre las capas de usuario, de la aplicación y de la red. Los participantes valoran la experiencia en general con las diferentes aplicaciones y tareas de acuerdo con una escala ordinal ACR-9 de la puntuación de opinión media (MOS, Mean Opinion Score) que va desde "mala" a "excelente". También proporcionan información sobre la aceptabilidad de la aplicación, indicando si continuarían utilizando la aplicación en las condiciones correspondientes o no. Los autores han dirigido específicamente los patrones de tráfico generados por estos servicios, y el impacto de la calidad de servicio de red en la calidad percibida por los usuarios finales. A partir de esto, podemos llegar a la conclusión de que este trabajo propone solamente la métrica MOS para evaluar QoE como una medida subjetiva de rendimiento del servicio, que se basa solo en la percepción del usuario final. Nuestro trabajo, en cambio, busca obtener una visión más amplia de la calidad de experiencia.

Li *et al.* (2012) presentan una revisión sistemática de la literatura que identifica estudios existentes sobre evaluación de servicios Cloud y recoge métricas con el fin de construir un catálogo de métricas. Durante el estudio los autores encontraron que las evaluaciones de calidad existente se centran mayoritariamente en la característica de rendimiento de los servicios Cloud. Este catálogo de métricas es una buena fuente para futuras métricas con sus clasificaciones. Los autores se centran en la evaluación de solo servicios comerciales Cloud, en lugar de la de los servicios Cloud privados o académicos. Este estudio abarca a la Infraestructura como Servicio (IaaS) y Plataforma como servicio (PaaS) sin tener en cuenta el Software como Servicio (SaaS).

Este trabajo solo exploró las prácticas de evaluación empíricas en las publicaciones académicas. Los aspectos en los que se enfocan para identificar las métricas para la evaluación de servicios Cloud son: El rendimiento, el económico y la seguridad. Con respecto al rendimiento, se han identificado 9 métricas de evaluación para la comunicación, 7 para la computación, 7 para la memoria, 11 para el almacenamiento, 16 para el rendimiento general, 7 para la escalabilidad, y 10 para la variabilidad. Conforme al aspecto económico, 18 y 7 métricas de evaluación han sido identificadas por el costo y la elasticidad, respectivamente. Para la seguridad, hay 5 métricas de evaluación en total. Los autores se centran solo en las necesidades de la industria, nosotros en nuestro trabajo no hacemos tal distinción. Los autores descartan SaaS argumentando que ya no se utiliza para construir aplicaciones de negocios individuales, en nuestro trabajo nosotros buscamos métricas en todos los tipos de servicios Cloud. Este estudio solo se enfoca en aspectos específicos del Cloud, no toma en cuenta la calidad en uso, nuestro trabajo busca en cambio abarcar las características propuestas

en la ISO/IEC 25010, y adicionalmente identificar características específicas del servicio Cloud.

Lehrig *et al.* (2015) examinan las definiciones existentes y los resultados de las propiedades de calidad concernientes a la escalabilidad, elasticidad, y la eficiencia, para lo cual ejecutaron una revisión de sistemática de la literatura, desde el punto de vista de los consumidores, los proveedores de Cloud, y arquitectos de software con respecto a los conceptos de uso común. Los arquitectos de software pueden utilizar sus recomendaciones para analizar la calidad de las aplicaciones Cloud.

Los proveedores y los consumidores del servicio Cloud pueden especificar los objetivos de nivel de servicio sobre la base de las métricas sugeridas. Los autores solo se enfocan en las propiedades de escalabilidad, elasticidad, y la eficiencia, y no realizan un estudio previo para tomar esta decisión, se respaldan en la falta de estandarización, nuestro trabajo, en cambio, identifica todos los atributos y métricas que hayan sido propuestos para evaluar la calidad de los servicios Cloud. Este estudio toma en cuenta el punto de vista del proveedor, el consumidor y los arquitectos de software, nuestro trabajo adicionalmente considera el punto de vista del facilitador y del cliente final del servicio Cloud. Los autores solo utilizan Google Scholar como base de datos para realizar su revisión sistemática, lo cual puede resultar limitante con respecto a su búsqueda, no debería ser la única fuente, nuestro trabajo utiliza estas bibliotecas digitales: IEEE Xplore, ACM Digital Library, ScienceDirect, y SpringerLink, que cuentan con revistas y conferencias de buen prestigio.

3.2 Modelos de calidad sobre servicios Cloud

Recientemente, varios modelos de calidad han sido propuestos para los servicios Cloud (Zheng *et al.*, 2014) (J. Y. Lee *et al.*, 2009) (P. X. Wen & Dong, 2013) (Zhou *et al.*, 2015), pero ninguno cuenta con una recopilación completa de los atributos con sus respectivas métricas, y que a su vez esté alineado con la ISO/IEC 25010.

Zheng *et al.* (2014) presentan un modelo de calidad llamado CLOUDQUAL, que especifica seis dimensiones de calidad: usabilidad, disponibilidad, fiabilidad, responsividad, y elasticidad. Este modelo cuenta con solo cinco métricas, y es para servicios Cloud en general. También presentan una prueba de concepto para evaluar la eficacia de su modelo. Se han inspirado en los modelos de calidad SERVQUAL y el E-service para realizar su modelo de calidad. Nuestro trabajo se basa en el estándar SQuaRE, que es un modelo ampliamente reconocido. Otra debilidad que posee este modelo, es que es muy limitado, cuenta con muy poco atributos y métricas, lo cual no garantiza una amplia evaluación de los servicios Cloud.

Lee *et al.* (2009) presentan un modelo de calidad para evaluar el Software como Servicio (SaaS) en Cloud Computing. Su modelo consta de cinco atributos de calidad:

reusabilidad, eficiencia, fiabilidad, escalabilidad y disponibilidad. Proponen un total de cinco métricas para medir los atributos propuestos. La construcción del modelo de calidad propuesto se basa en la ISO/IEC 9126. Aunque se basan en un estándar reconocido, este trabajo actualmente se encuentra desactualizado, ya que el estándar de la ISO/IEC 9126 para la calidad del software se ha reemplazado por el estándar SQuaRE. Nuestro trabajo trabajará con el estándar SQuaRE. Otra debilidad es que solo se enfocan en la evaluación del tipo de servicio SaaS. Nuestro modelo en cambio, abarca la evaluación de SaaS, PaaS e IaaS. Las métricas que han propuesto se enfocan en el punto de vista del proveedor del servicio. Nuestro trabajo toma en consideración los puntos de vista del consumidor, facilitador, cliente final y desarrollador, incluyendo la del proveedor del servicio Cloud. Otra desventaja es que solo cubren la calidad del producto interna/externa, y no la calidad en uso. Nuestro modelo de calidad, además de evaluar la calidad interna/externa, sirve para la evaluación de la calidad en uso.

Wen y Dong (2013) presentan un modelo de calidad para evaluar los servicios SaaS. Su modelo es construido desde la perspectiva de la plataforma, el proveedor y el cliente. Ellos miden con su modelo la seguridad, la calidad del servicio, y la calidad del software. Para construir su modelo ellos identifican características claves de los servicios SaaS. En el modelo que proponen las métricas de calidad del software son las mismas que las del estándar ISO/IEC 25010:2011. También se basan en el modelo de Forrester para construir su modelo para evaluar servicios SaaS. Su modelo se compone de niveles: SaaS básico, SaaS estándar, SaaS optimizado y SaaS integrado, y para cada nivel cuenta con un conjunto de métricas. Las métricas que presentan piensan que solo son significativas para el proveedor y el consumidor. Nuestro modelo pretende ser significativo, tanto para el proveedor y el consumidor, como para el facilitador, cliente final y el desarrollador del servicio. Este modelo no presenta métricas nuevas, que sean específicas de los servicios Cloud, sino que solo hace una recopilación de las que están en el estándar ISO/IEC 25010:2011, y las clasifica en los niveles mencionados. Otra debilidad, es que solo evalúan servicios SaaS. Nosotros pretendemos, además de SaaS, evaluar también los servicios PaaS e IaaS. No se presenta una distinción de métricas para la evaluación de la calidad interna/externa y la calidad en uso. Nuestro trabajo realiza esa distinción, porque pensamos que facilitará su entendimiento y uso futuro, además que va muy bien alineado con la SQuaRE.

Zhou *et al.* (2015) presentan un modelo de calidad para servicios Cloud. Este modelo de calidad se construye en base a seis características: usabilidad, seguridad, fiabilidad, tangibilidad, responsividad, y empatía. Cada característica la han dividido en algunas subcaracterísticas. Proponen un conjunto de métricas para evaluar esas subcaracterísticas, las cuales son agrupadas en dos categorías: objetivas y subjetivas. Además, dan una breve introducción a una metodología para la evaluación de la calidad para servicios Cloud. Se basan en el estándar ISO/IEC 25010 para categorizar calidad del producto en características, pero no utilizan todas las características que el estándar

propone, si no que usan las características que ellos consideran esenciales, no indican en base a qué criterio han propuesto dichas características. En nuestro trabajo en cambio, proponemos las características en base al método de la revisión sistemática sobre los trabajos que proponen atributo y/o métricas para evaluar la calidad de los servicios Cloud. Las características de usabilidad, seguridad y fiabilidad se enfocan en la propiedad TI de los servicios Cloud, y las de tangibilidad, responsividad y empatía se enfocan en la propiedad de servicio de los servicios Cloud. Aunque su modelo se basa en el estándar ISO/IEC 25010, no se hace una clara distinción entre la calidad interna/externa del producto y la calidad en uso. Nuestro trabajo sí realiza esa claramente esa distinción. En este modelo se proponen solo cinco métricas, y que sirven para evaluar las subcaracterísticas cortesía (una métrica), disponibilidad (una métrica) y continuidad (tres métricas). Por lo que pensamos, que el trabajo que han propuesto está incompleto, ya que no se pueden evaluar todas las subcaracterísticas que proponen. Nuestro trabajo pretende realizar una recopilación de un mayor número de métricas que sirvan para medir los atributos de los servicios Cloud.

3.3 Estándares relacionados con la evaluación de calidad

La ISO/IEC 25000, conocida como también como SQuaRE (*System and Software Quality Requirements and Evaluation*), es una familia de estándares que tiene por objetivo la creación de un marco común para evaluar la calidad del producto software (ISO/IEC, 2015b) (ISO/IEC, 2014a). La familia ISO/IEC es el resultado de la evolución otros estándares anteriores, especialmente del estándar ISO/IEC 9126, que describe las particularidades de un modelo de calidad del producto software, e ISO/IEC 14598, que abordaba el proceso de evaluación de productos de software. La ISO/IEC 25000 se encuentra compuesta por cinco divisiones (ISO/IEC, 2015b) (ISO/IEC, 2014a):

- **ISO/IEC 2500n – División de Gestión de Calidad.** Los estándares que forman este apartado definen todos los modelos, términos y definiciones comunes referenciados por todos los otros estándares de la familia 25000. Actualmente esta división se encuentra formada por:
 - ISO/IEC 25000 - *Guide to SQuaRE*: contiene el modelo de la arquitectura de SQuaRE, la terminología de la familia, un resumen de las partes, los usuarios previstos y las partes asociadas, así como los modelos de referencia.
 - ISO/IEC 25001 - *Planning and Management*: establece los requisitos y orientaciones para gestionar la evaluación y especificación de los requisitos del producto software.
- **ISO/IEC 2501n – División de Modelo de Calidad.** Los estándares de este apartado presentan modelos de calidad detallados incluyendo características

para calidad interna, externa y en uso del producto software. Actualmente esta división se encuentra formada por:

- ISO/IEC 25010 - *System and software quality models*: describe el modelo de calidad para el producto software y para la calidad en uso. Este estándar presenta las características y subcaracterísticas de calidad frente a las cuales evaluar el producto software.
- ISO/IEC 25012 - *Data Quality model*: define un modelo general para la calidad de los datos, aplicable a aquellos datos que se encuentran almacenados de manera estructurada y forman parte de un Sistema de Información.
- **ISO/IEC 2502n – División de Medición de Calidad.** Estos estándares incluyen un modelo de referencia de la medición de la calidad del producto, definiciones de medidas de calidad (interna, externa y en uso) y guías prácticas para su aplicación. Actualmente esta división se encuentra formada por:
 - ISO/IEC 25020 - *Measurement reference model and guide*: presenta una explicación introductoria y un modelo de referencia común a los elementos de medición de la calidad. También proporciona una guía para que los usuarios seleccionen o desarrollen y apliquen medidas propuestas por normas ISO.
 - ISO/IEC 25021 - *Quality measure elements*: define y especifica un conjunto recomendado de métricas base y derivadas que puedan ser usadas a lo largo de todo el ciclo de vida del desarrollo software.
 - ISO/IEC 25022 - *Measurement of quality in use*: define específicamente las métricas para realizar la medición de la calidad en uso del producto.
 - ISO/IEC 25023 - *Measurement of system and software product quality*: define específicamente las métricas para realizar la medición de la calidad de productos y sistemas software.
 - ISO/IEC 25024 - *Measurement of data quality*: define específicamente las métricas para realizar la medición de la calidad de datos.
- **ISO/IEC 2503n – División de Requisitos de Calidad.** Los estándares que forman este apartado ayudan a especificar requisitos de calidad que pueden ser utilizados en el proceso de elicitación de requisitos de calidad del producto software a desarrollar o como entrada del proceso de evaluación. Para ello, este apartado se compone de:
 - ISO/IEC 25030 - *Quality requirements*: provee de un conjunto de recomendaciones para realizar la especificación de los requisitos de calidad del producto software.

- **ISO/IEC 2504n – División de Evaluación de Calidad.** Este apartado incluye estándares que proporcionan requisitos, recomendaciones y guías para llevar a cabo el proceso de evaluación del producto software. Esta división se encuentra formada por:
 - ISO/IEC 25040 - *Evaluation reference model and guide*: propone un modelo de referencia general para la evaluación, que considera las entradas al proceso de evaluación, las restricciones y los recursos necesarios para obtener las correspondientes salidas.
 - ISO/IEC 25041 - *Evaluation guide for developers, acquirers and independent evaluators*: describe los requisitos y recomendaciones para la implementación práctica de la evaluación del producto software desde el punto de vista de los desarrolladores, de los adquirentes y de los evaluadores independientes.
 - ISO/IEC 25042 - *Evaluation modules*: define lo que el estándar considera un módulo de evaluación y la documentación, estructura y contenido que se debe utilizar a la hora de definir uno de estos módulos.
 - ISO/IEC 25045 - *Evaluation module for recoverability*: define un módulo para la evaluación de la subcaracterística Recuperabilidad (*Recoverability*).

La elección de las normas y documentos apropiados de la familia SQuaRE depende de las necesidades del usuario (ISO/IEC, 2014a). Para el estudio de la calidad del sistema y producto software, este estándar define el modelo del ciclo de vida de calidad de sistemas y productos software.

El modelo del ciclo de vida de calidad de sistemas y productos software conduce la calidad del sistema y producto de software en tres fases principales de su ciclo de vida: el producto en desarrollo, el producto en operación y el producto en uso (ISO/IEC, 2014a).

- La fase de un producto en desarrollo es el objeto de medidas internas de la calidad del software.
- La fase de un producto en la operación es el objeto de medidas externas de la calidad del sistema y del software, y
- La fase de un producto de uso es el objeto de medidas de software de calidad en el uso.

El modelo de calidad SQuaRE categoriza la calidad del sistema y del software en características que se subdividen en subcaracterísticas y/o atributos de calidad (ISO/IEC, 2014a).

El modelo de calidad SQuaRE se compone de tres partes, el modelo para la calidad del sistema y del producto de software, el modelo de calidad en el uso y el modelo de calidad de los datos, que se presentan en detalle en (ISO/IEC, 2014a):

- El estándar ISO/IEC 25010 (Systems and software engineering: Software and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models), y
- El estándar ISO/IEC 25012 (Systems and software engineering: Software and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - data quality model).

En estos documentos se dan las definiciones detalladas para cada característica de calidad y las subcaracterísticas del sistema o producto de software y datos (ISO/IEC, 2014a).

3.3.1 Estándar ISO 25010

La principal idea detrás del modelo ISO 25010 es la definición de un modelo de calidad y su uso como un marco para la evaluación del software. El modelo de calidad representa la piedra angular en torno a la cual se establece el sistema para la evaluación de la calidad del producto (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011) (ISO/IEC, 2011).

3.3.1.1 Calidad del producto software

En este modelo se determinan las características de calidad que se van a tener en cuenta a la hora de evaluar las propiedades de un producto software determinado. La calidad del producto software se puede interpretar como el grado en que dicho producto satisface los requisitos de sus usuarios aportando de esta manera un valor. Son precisamente estos requisitos (funcionalidad, rendimiento, seguridad, mantenibilidad, etc.) los que se encuentran representados en el modelo de calidad, el cual categoriza la calidad del producto en características y subcaracterísticas (ISO/IEC, 2011).

El modelo de calidad del producto definido por la ISO/IEC 25010 se encuentra compuesto por las ocho características de calidad que se muestran en la *Figura 3.1* (ISO/IEC, 2011).



Figura 3.1. Modelo de calidad del producto software ISO 25010 (ISO/IEC, 2011)

3.3.1.2 Calidad en uso

La calidad en uso caracteriza el impacto que el producto (sistema o producto software) tiene sobre los stakeholders. Se determina por la calidad del software, hardware y sistema operativo, además de las características de los usuarios, tareas y el entorno social (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011).

El modelo de calidad del producto definido por la ISO/IEC 25010 se encuentra compuesto por las cinco características de calidad, relacionadas con los resultados de la interacción con un sistema, que se muestran en la *Figura 3.2* (ISO/IEC, 2011).



Figura 3.2. Modelo de calidad en uso ISO 25010 (ISO/IEC, 2011)

3.3.2 Estándar ISO 25012

Este estándar define un modelo de calidad de datos general para los datos conservados en un formato estructurado dentro de un sistema informático. Se centra en la calidad de los datos como parte de un sistema informático y define las características de calidad para los datos de destino utilizados por los seres humanos y sistemas (ISO/IEC, 2008a).

El modelo de calidad de datos representa los cimientos sobre los cuales se construye un sistema para la evaluación de un producto de datos. En un modelo de calidad de datos se establecen las características de calidad de datos que se deben tener en cuenta

a la hora de evaluar las propiedades de un producto de datos determinado. La calidad del producto de datos se puede entender como el grado en que los datos satisfacen los requisitos definidos por la organización a la que pertenece el producto. El modelo de calidad de producto de datos definido por el estándar ISO/IEC 25012 se encuentra compuesto por las 15 características que se muestran en la *Figura 3.3* (ISO/IEC, 2008b).

Las características de calidad de datos están clasificadas en dos grandes categorías (ISO/IEC, 2008b):

- Calidad de datos inherente: Se refiere al grado con el que las características de calidad de los datos tienen el potencial intrínseco para satisfacer las necesidades establecidas y necesarias cuando los datos son utilizados bajo condiciones específicas. Desde el punto de vista inherente, la calidad de datos se refiere a los mismos datos, en particular a:
 - Valores de dominios de datos y posibles restricciones (e.g., reglas de negocio gobernando la calidad requerida por las características en una aplicación dada).
 - Relaciones entre valores de datos (e.g., consistencia).
 - Metadatos.
- Calidad de datos dependiente del sistema: Se refiere al grado con el que la calidad de datos es alcanzada y preservada a través de un sistema informático cuando los datos son utilizados bajo condiciones específicas.

Desde el punto de vista dependiente del sistema, la calidad de datos depende del dominio tecnológico en el que los datos se utilizan, y se alcanza mediante las capacidades de los componentes del sistema informático tales como: dispositivos hardware (e.g., respaldo software para alcanzar la recuperabilidad), y otro software (e.g., herramientas de migración para alcanzar la portabilidad).

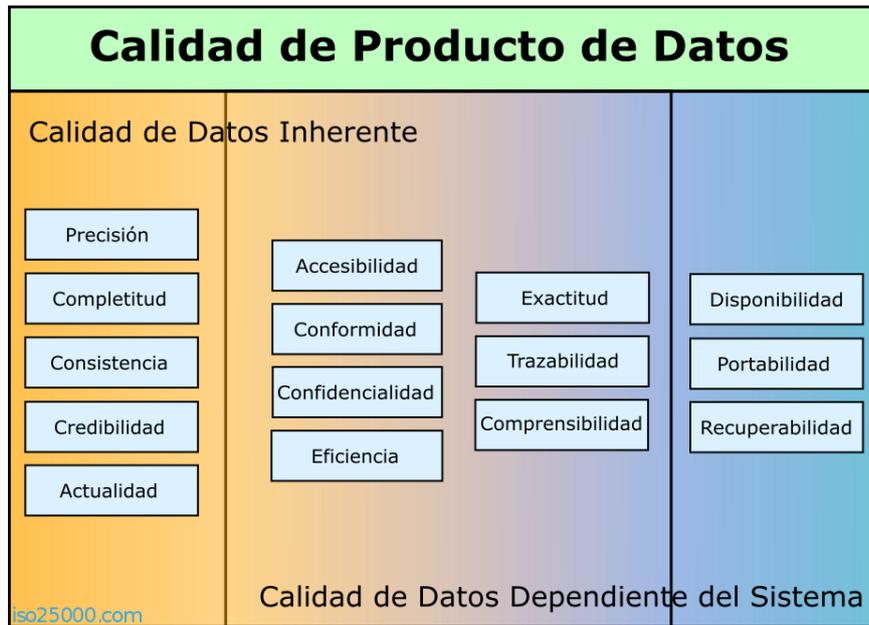


Figura 3.3. Modelo de calidad de producto de datos ISO 25012 (ISO/IEC, 2008b)

4. Revisión sistemática

4.1 Planificación de la revisión

4.1.1 Necesidad de la revisión

El análisis de los trabajos existentes realizado en la Sección 3 apunta que aunque existan varios estudios que proponen características, atributos y/o métricas para los servicios cloud, muchas no han sido integradas en un modelo de calidad para ser aplicadas durante todo el ciclo de vida de un servicio Cloud. Por lo tanto, existe la necesidad de modelos de calidad para la evaluación sistemática de distintos tipos de servicios cloud (SaaS, PaaS, IaaS) que por un lado sean capaces de (1) capturar de manera precisa todas las características y atributos de calidad relevantes del servicio cloud, que (2) proporcionen mecanismos que permitan medir los atributos de calidad capturados y que (3) guíen el evaluador en la evaluación de los distintos artefactos obtenidos durante el ciclo de vida del servicio cloud.

Las métricas de software se consideran un instrumento apropiado para medir los atributos de calidad ya que permiten entender, monitorizar, controlar, predecir y probar los servicios cloud. En los últimos años, debido al auge de la computación en la nube, se han propuesto y/o adaptado a partir de métricas existentes de otras tecnologías una gran variedad de métricas para medir distintos atributos de calidad de los servicios cloud pero desafortunadamente la mayoría de éstas no se utilizan en la práctica y el estado actual de la industria es todavía inmaduro (Bayramusta & Nasir, 2016). Esto puede ser debido a diferentes causas, como la ausencia de información acerca de la idoneidad y limitaciones de estas métricas para asegurar la calidad de los servicios cloud.

El estándar de calidad ISO/IEC 25010 (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011) argumenta la relevancia de los atributos y métricas en la evaluación y aseguramiento de la calidad del software y propone un modelo de calidad constituido básicamente de características, atributos y métricas. Un modelo de calidad es una formalización del concepto de calidad y se basa en la descomposición jerárquica de este concepto. Sin embargo, el modelo es genérico para cualquier tipo de producto software y no recoge las características propias de los servicios cloud.

Es por ello, que la necesidad de una revisión sistemática acerca de los atributos y métricas de calidad para los servicios cloud queda justificada para reunir un mayor conocimiento del área e identificar las carencias de los trabajos de investigación existentes.

Las siguientes sub-secciones describen las actividades realizadas en la fase de planificación de la revisión sistemática. La primera establece las preguntas de investigación, mientras las restantes establecen el protocolo de revisión.

Durante la etapa de planificación, se realizarán las siguientes actividades: definición de las preguntas de investigación, definición de la estrategia de búsqueda, selección de los estudios primarios, evaluación de la calidad de los estudios primarios, definición de la estrategia de extracción de datos, y síntesis de los datos extraídos.

4.1.2 Preguntas de investigación

El objetivo de la revisión sistemática es identificar, analizar y clasificar los atributos y métricas de calidad propuestos para evaluar la calidad de los servicios cloud.

Las preguntas de investigación son:

- **P1:** ¿Qué atributos de calidad han sido propuestos para la evaluación de la calidad de los servicios cloud?
- **P2:** ¿Qué métricas han sido propuestas para evaluar la calidad interna, externa y en uso de los servicios cloud y cómo se utilizan?

El estudio identificará carencias y nuevas áreas de investigación para futuros trabajos. Estas preguntas han sido estructuradas siguiendo el criterio PICOC (Petticrew & Roberts, 2005): Población, Intervención, Comparación, Resultado y Contexto (ver *Tabla 4.1*).

- **Población:** Artículos científicos que presentan características, atributos y métricas para la evaluación de la calidad interna, externa y en uso de los servicios cloud.
- **Intervención:** Atributos y métricas de calidad que se utilizan para evaluar las características de calidad de los servicios cloud.
- **Comparación:** Los atributos y las medidas de calidad no serán comparadas con otros modelos. Nuestra intención es clasificarlas en base a criterios específicos.
- **Resultado (Outcome):** Análisis de un conjunto de atributos y métricas que sirvan como base para la elaboración de un modelo de calidad de servicios cloud alineado con la ISO/IEC 25010 y basado en la literatura.
- **Contexto:** Evaluación de calidad de los servicios cloud que proponen atributos y/o métricas para medir calidad del servicio (QoS) o la calidad de experiencia (QoE) de los usuarios en la utilización del servicio.

Esta revisión sistemática es algo más limitada que la revisión sistemática que se propone en las guías de Kitchenham y Charters (2007), dado que no se incluyen

artículos que han sido encontrados a través de las referencias de otros artículos incluidos previamente, técnica conocida como *Snowballing* (Wohlin, 2014). Además, tampoco se han incluido otras referencias como trabajos en proceso, informes técnicos, tesis doctorales, etc.

Tabla 4.1. Resumen de PICOC

Población	Artículos científicos sobre evaluación de calidad interna, externa o en uso de los servicios cloud
Intervención	Atributos y métricas para evaluar la calidad de los servicios cloud
Comparación	Ninguna
Resultado	Análisis de los atributos y las métricas
Contexto	Evaluación de la calidad de los servicios cloud (OoS) y la calidad de la experiencia del usuario del servicio (QoE)

4.1.3 El protocolo de revisión

4.1.3.1 Estrategia de búsqueda

La estrategia de búsqueda utilizada fue basada en motores de búsqueda web, en los campos (metadata y texto completo) proporcionados por sus herramientas de búsqueda. En particular, las bibliotecas digitales que hemos utilizado para realizar la búsqueda automática de los estudios primarios son:

- IEEE Xplore (<http://ieeexplore.ieee.org>)
- ACM Digital Library (<http://dl.acm.org/>)
- Elsevier ScienceDirect (<http://www.sciencedirect.com>)
- SpringerLink (<http://link.springer.com/>).

Estas bibliotecas fueron seleccionadas debido a que son las fuentes más comúnmente utilizadas en revisiones sistemáticas realizadas en el área de Ingeniería de Software (Brereton, Kitchenham, Budgen, Turner, & Khalil, 2007). Para asegurar la calidad de la búsqueda, verificamos que la siguiente lista de revistas y conferencias relevantes en los campos de Cloud Computing y la calidad del software estén presentes:

- **Revistas:** IEEE Transactions on Cloud Computing, Journal of Cloud Computing, ACM Transactions on the Web, IEEE Internet Computing, World Wide Web Journal, ACM Transactions on Internet Technology, ACM Transactions on Software Engineering and Methodology, Information and Software Technology, Journal of Systems and Software, IEEE Software, IEEE Transactions on Software Engineering, Software Quality Journal, Empirical Software Engineering.

- **Conferencias:** ICSE (International Conference on Software Engineering), ICSOC (International Conference on Service Oriented Computing), ICWS (International Conference on Web Services), SCC (International Conference on Services Computing), WWW (International World Wide Web Conference), WISE (Web Information Systems Engineering), ESEM (International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement), EASE (International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering).

También hemos incluido una fuente manual debido a que no estaba cubierta por las bibliotecas digitales, pero la consideramos relevante en el área de estudio, y es la siguiente:

- Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications (JoCCASA), Springer.

Para automatizar la búsqueda en las bibliotecas digitales seleccionadas, usaremos una cadena de búsqueda (ver *Tabla 4.2*), que hemos descompuesto en cuatro partes, recogiendo los conceptos clave de las preguntas de investigación: *Attribute*, *Measure*, *Quality* y *Cloud*.

Tabla 4.2. Cadena de búsqueda

Concepto	Términos alternativos o sinónimos
Attribute	((attribute* OR characteristic*) OR
Measure	(metric* OR measur*)) AND
Quality	(QoS OR "quality of service" OR QoE OR "quality of experience" OR "quality model" OR "evaluation model" OR "assessment model" OR "quality in cloud" OR "quality of cloud") AND
Cloud	(cloud*))

Quedando finalmente la siguiente cadena de búsqueda:

((attribute OR characteristic*) OR (metric* OR measur*)) AND (QoS OR "quality of service" OR QoE OR "quality of experience" OR "quality model" OR "evaluation model" OR "assessment model" OR "quality in cloud" OR "quality of cloud") AND (cloud*))*

Donde el asterisco ‘*’ significa cualquier conjunto de caracteres. Aplicando este patrón se pretende incorporar las posibles variaciones de un mismo concepto, por ejemplo, “measur*” haría referencia a las palabras: “measure”, “measures”, “measurement”, etc.

Los conceptos “Quality” y “Cloud” son significativos al realizar nuestra cadena de búsqueda, ya que estamos buscando estudios primarios relacionados con la calidad de

los servicios cloud. Así mismo, los conceptos “Attribute” y “Measure”, son igualmente importantes ya que estos son los que nos permitirán obtener los atributos y/o métricas utilizados para la evaluación de la calidad de los servicios cloud.

Al realizar la búsqueda en las diferentes bibliotecas digitales, fue necesario adaptar la cadena de búsqueda para tener en cuenta las particularidades de las distintas bibliotecas digitales y para que las búsquedas se realicen solo sobre los siguientes metadatos de los estudios primarios: *título, resumen y palabras clave*.

En esta revisión serán descartados documentos anteriores al año 2006; debido a que en este año fue el lanzamiento de Amazon Web Services, que es una colección de servicios de computación en la nube considerado pionero en este campo.

4.1.3.2 Selección de estudios primarios

Cada estudio fue evaluado por los autores de la revisión para decidir cuál debe ser incluido o no, considerando su título, resumen y palabras claves. Las discrepancias se resolvieron por consenso.

4.1.3.2.1 Criterios de inclusión

Los estudios que cumplan al menos uno de los siguientes criterios serán incluidos:

- Artículos de investigación que presenten características, atributos y métricas para la evaluación de la calidad interna, externa y en uso de los servicios cloud.
- Artículos de investigación que presenten características y atributos de calidad para servicios cloud.
- Artículos de investigación que presenten estudios empíricos acerca del uso de las métricas de calidad propuestas para la evaluación de servicios cloud.

4.1.3.2.2 Criterios de exclusión

Los estudios que cumplan al menos uno de los siguientes criterios serán excluidos:

- Artículos de investigación que no han sido escritos en inglés.
- Artículos que proponen métricas que no estén directamente relacionadas con la calidad interna, externa o en uso del servicio.
- Artículos que proponen métricas, pero no explican cómo medirlas.
- Artículos que fueron publicados antes del año 2006.
- Artículos introductorios (resúmenes, artículos cortos con menos de 5 páginas).
- Artículos de investigación que han sido encontrados duplicados en otras fuentes del proceso de búsqueda.

4.1.3.3 Estrategia de extracción de datos

Con el objetivo de extraer la misma información de todos los estudios seleccionados, se recomienda elaborar formularios con una serie de criterios con posibles respuestas. Esta táctica permite la aplicación de los criterios de extracción de datos de manera uniforme para todos los estudios primarios seleccionados. Sin embargo, aunque partimos de una clasificación fija, esta puede sufrir cambios para reflejar mejor la información extraída del conjunto de artículos.

En nuestra extracción de datos hemos usado dos formularios: un formulario de extracción de datos para los artículos que presentan atributos y métricas (criterios del 1 al 10) (ver Tabla 4.3), y otro formulario de extracción de datos para aquellos artículos donde se presentan solo características/atributos (criterios 1, 2, 11 y 12) (ver Tabla 4.4). Es decir, los dos primeros criterios son compartidos por ambos formularios, luego los criterios del 3 al 10 se usa solo para atributos con métricas, y los criterios 11 y 12 se aplican únicamente para el segundo formulario que también recoge las características/atributos que no se contemplan en la ISO/IEC 25010 y los que son específicos para el cloud.

Cada criterio planteado para la extracción de datos se detalla a continuación:

Criterio 1. Característica de calidad: Cada métrica de los estudios primarios seleccionados será clasificada de acuerdo a la característica de calidad a la que mide. Esta característica puede ser de calidad interna o externa, o de calidad en uso conforme al estándar ISO/IEC 25010. Este estándar define un modelo de la calidad de producto compuesto de ocho características y un modelo de calidad de uso compuesto de cinco características que son descritas brevemente a continuación.

- **Criterio 1(a). Características de calidad interna/externa**

La calidad interna se mide a partir de las características intrínsecas del servicio cloud (p.e., complejidad, modularidad), o sea, podemos medirla puramente en términos del servicio. La calidad externa se mide en el comportamiento del servicio cloud (p.e., eficiencia, escalabilidad, seguridad, usabilidad), o sea, a cómo el servicio se relaciona con su entorno. Estas dos perspectivas de calidad se corresponden con la calidad del servicio (*Quality of Service - QoS*). Por lo tanto, si la métrica seleccionada mide una característica de calidad interna/externa, esta será clasificada en una de las siguientes características de primer nivel del *Modelo de Calidad de Software* propuesto en la ISO/IEC 25010:

- *Adecuación Funcional*: si mide atributos relacionados con la capacidad del servicio cloud para proporcionar funciones que satisfacen las necesidades declaradas e implícitas de los usuarios, cuando el servicio se usa en las condiciones especificadas;

- *Eficiencia de desempeño*: si mide atributos relacionados con el desempeño relativo a la cantidad de recursos utilizados bajo determinadas condiciones;
 - *Compatibilidad*: si mide atributos relacionados con la capacidad de dos o más servicios cloud para intercambiar información y/o llevar a cabo sus funciones requeridas cuando comparten el mismo entorno hardware o software;
 - *Usabilidad*: si mide atributos relacionados con la capacidad del servicio cloud para ser entendido, aprendido, usado y resultar atractivo para el usuario, cuando se usa bajo determinadas condiciones;
 - *Fiabilidad*: si mide atributos relacionados con la capacidad de un servicio cloud para desempeñar las funciones especificadas, cuando se usa bajo unas condiciones y periodo de tiempo determinados;
 - *Seguridad*: si mide atributos relacionados con la capacidad de protección de la información y los datos de manera que personas o sistemas no autorizados no puedan leerlos o modificarlos;
 - *Mantenibilidad*: si mide atributos relacionados con la capacidad del servicio cloud para ser modificado efectiva y eficientemente, debido a necesidades evolutivas, correctivas o perfectivas;
 - *Portabilidad*: si mide atributos relacionados con la capacidad del servicio cloud de ser transferido de forma efectiva y eficiente de un entorno hardware, software, operacional o de utilización a otro. Esta característica también incluye aspectos relacionados con la escalabilidad del servicio.
- **Criterio 1(b). Características de calidad en uso**

La calidad en uso se mide durante la utilización efectiva del servicio cloud por parte del usuario. Esta perspectiva de calidad se corresponde con la calidad de experiencia (*Quality of Experience - QoE*). Por lo tanto, si la métrica seleccionada mide una característica de calidad en uso, esta será clasificada en una de las siguientes características de primer nivel del *Modelo de Calidad en Uso* propuesto en la ISO/IEC 25010:

- *Efectividad*: si mide atributos relacionados con la precisión y completitud con que los usuarios alcanzan sus objetivos;
- *Eficiencia*: si mide atributos relacionados con los recursos consumidos en relación a la precisión y completitud con que los usuarios alcanzan sus objetivos;
- *Satisfacción*: si mide atributos relacionados con el grado en que las necesidades de los usuarios son satisfechas cuando utilizan el servicio cloud en un contexto de uso especificado. La satisfacción incluye la satisfacción de los usuarios con respecto a la *utilidad* del servicio, la *confianza* que el usuario tiene en el servicio (satisfacción con la seguridad), y el *placer* (satisfacción emocional) y *confort* (satisfacción física) que el usuario experimenta al utilizar el servicio.

- *Ausencia de Riesgo*: si mide atributos relacionados con el grado en que el servicio cloud reduce el riesgo potencial de una situación de riesgo económica, de vidas humanas, de salud o del entorno;
- *Cobertura de contexto*, si mide atributos relacionados con el grado de efectividad, eficiencia, seguridad en uso y satisfacción con que el servicio puede ser utilizado en ambos, contextos de uso especificados y en diferentes contextos a los inicialmente previstos.

Criterio 2. Atributo de calidad evaluado por la métrica: Las métricas miden atributos de calidad. Este criterio recoge el atributo de calidad evaluado y clasifica cada métrica según el tipo de atributo al que mide: *interno*, *externo* o *en uso*. Según el estándar ISO/EIC 25010, los atributos de calidad pueden ser internos (propiedades de subsistemas y componentes), externos (visible a nivel del sistema), o en uso (a nivel de usuario). Los atributos internos de un servicio cloud son aquellos que se pueden medir puramente en términos del servicio (“características intrínsecas del artefacto cloud”). Pueden ser medidos directamente. Los atributos externos son aquellos que solo pueden ser medidos con respecto a cómo el servicio se relaciona con su entorno. Son medidos indirectamente (mediante los atributos internos). Los atributos de calidad en uso son medibles durante la utilización efectiva del servicio cloud por parte del usuario.

Criterio 3. Tipo de métrica: Según el estándar ISO/IEC 25010, existen dos tipos de métricas: métrica base y métrica derivada. En el estándar ISO/IEC 15939 (ISO/IEC, 2007) las definen de la siguiente manera: una métrica base es una medida definida en términos de un atributo y el método para cuantificarlo, mientras que una métrica derivada es una medida que se define como una función de dos o más métricas base (función de medición o fórmula de cálculo). Por lo tanto, una métrica se clasifica como

- *Métrica Base* si puede ser calculada directamente, o
- *Métrica Derivada* si necesita otras métricas para ser calculada.

Criterio 4. Método de medida: Si la métrica tiene una herramienta que facilita su medición automática o semiautomática, esta se clasifica como (1) *Automática*, si no, esta se clasifica como (2) *Manual*.

Criterio 5. Tipo de evaluación: Dividiremos los resultados según el tipo de evaluación: (1) *Cuantitativo*, (2) *Cualitativo*, o (3) *Híbrido*. Una medida puede medir un atributo de calidad de una manera cualitativa, cuantitativa o híbrida. Las evaluaciones *cuantitativas* se refieren a la evaluación de los atributos numéricamente, usando valores continuos (por ejemplo, un atributo se puede medir con valores continuos entre 0 y 1). Las evaluaciones *cualitativas* son las que indican las cualidades (por ejemplo, un atributo se puede medir como complejidad alta, media o baja). Las evaluaciones *híbridas* son las que utilizan ambas evaluaciones cualitativas y cuantitativas.

Criterio 6. Fase del ciclo de vida: Las métricas pueden ser utilizadas para soportar la evaluación del servicio cloud en distintas fases del ciclo de vida. En este estudio, cada métrica de los estudios primarios seleccionados será clasificada de acuerdo a la fase del ciclo de vida del servicio cloud a la que se puede aplicar, y podrá ser aplicada a más de una fase. Se han establecido seis fases con sus respectivas actividades según Schneider y Sunyaev (2015):

- **Determinación de requisitos:** incorpora la decisión del cliente acerca de si y en qué medida se utilizará un servicio cloud. Esta fase incluye el proceso de elaboración de la *lista de requisitos y criterios de selección*, la especificación de los sistemas o subsistemas que se moverán al cloud, y la evaluación de qué capa (infraestructura, plataforma, o software) y modelo de implementación (pública, privada o híbrida) se va a utilizar. Una métrica se clasifica en esta fase si puede ser aplicada durante la elicitación de requisitos del servicio.
- **Adquisición:** implica no solo la *evaluación de los proveedores* de los servicios cloud y la *estimación de la demanda*, sino también la *evaluación de las oportunidades y riesgos*. Debido a que los servicios cloud se adquieren con la participación limitada de proveedores - cambiando cómo se comparan las opciones de adquisición uno contra el otro, desde la evaluación de la solicitud de propuestas hacia la evaluación de las pruebas en línea y las descripciones de los servicios correspondientes. La fase de adquisición en un entorno cloud implica más responsabilidades de los clientes que en un entorno tradicional de abastecimiento de TI (Tecnologías de la Información). En el análisis de soporte y servicios de monitorización, la fase de adquisición implica el cálculo del modelo de negocio, las presentaciones de los proveedores in situ, las negociaciones del contrato (por ejemplo, la fijación de precios y acuerdos de nivel de servicio - SLAs), y la planificación de proyectos para las fases restantes. La fase de adquisición finaliza con la evaluación final y el proyecto de decisión del comité administrativo y la decisión posterior de selección (es decir, el compromiso de gestión para adquirir un servicio específico). Por lo tanto, una métrica se clasifica en esta fase si se puede aplicarla para evaluar a proveedores, estimar la demanda, evaluar riesgos y el establecimiento de SLAs.
- **Desarrollo:** se dedica al proveedor e incluye la planificación de actividades tales como la *evaluación del potencial de mercado*, la *identificación de las aplicaciones o servicios existentes* que podrían ser aprovisionados como un servicio cloud, la selección de un modelo de precios, la *especificación de requisitos funcionales y no funcionales*, y el *diseño de la arquitectura*. Por otra parte, la fase de desarrollo incluye actividades relacionadas con la

implementación efectiva del servicio, como la *implementación, configuración de hardware, pruebas y despliegue*. La fase de desarrollo se ejecuta en paralelo a la fase de monitorización. Las nuevas características, actualizaciones y parches se aplican mientras que el servicio cloud funciona de forma continua. Por lo tanto, dependiendo de las actualizaciones realizadas en el servicio, con el tiempo se necesitan establecer cambios a los contratos con los clientes existentes. En particular, las *actividades de gestión de versiones* son de importancia crucial para el desarrollo de servicios cloud, como actualizaciones del servicio que no se extenderán a los clientes individuales, sino a toda la base de clientes de un proveedor. Si el proveedor utiliza otros proveedores de servicios cloud, esta fase también incluye la fase de adquisición, en la que el proveedor en la fase de desarrollo es el cliente en la fase de adquisición. Por lo tanto, una métrica se clasifica en esta fase si se aplica a distintas actividades del aprovisionamiento del servicio como la evaluación del mercado, la identificación de servicios, la especificación de requisitos funcionales/no funcionales, diseño de arquitectura del servicio, implementación, configuración de hardware, pruebas y despliegue y control de versiones.

- **Integración:** esta fase afecta tanto a los consumidores como a los proveedores de servicios; sin embargo, la mayor parte del esfuerzo se ejerce por el consumidor debido al alto grado de normalización de servicios y el bajo grado de personalización para los clientes individuales. Como actividad clave en la fase de integración, los *servicios cloud son configurados, integrados en el entorno de TI del cliente, y probados como un sistema completo*. Por lo tanto, una métrica se clasifica en esta fase si se puede calcularla durante las actividades de configuración, integración y pruebas en la fase de integración.
- **Operación (cumplimiento del contrato):** se inicia después de que el servicio cloud haya sido integrado en el entorno de TI del cliente, implementado, y en uso operativo. Por el lado del proveedor, esta fase incluye el *mantenimiento, la evolución* (ocurriendo de nuevo las fases de operación y de integración), *el soporte y las actividades de facturación*. En el lado del consumidor, esta fase incluye el uso del servicio, así como las actividades de *monitorización y evaluación*. Por lo tanto, una métrica se clasifica en esta fase si puede ser calculada durante las actividades de mantenimiento, soporte y evolución (perspectiva del proveedor) o durante la monitorización o evaluación del servicio (perspectiva del consumidor).
- **Retiro:** corresponde a la eliminación de un servicio cloud, es decir, cuando el proveedor de servicios interrumpe el servicio o cuando el consumidor cambia a otro proveedor. En ambos casos, el consumidor necesita comenzar de

nuevo el ciclo de vida de abastecimiento de la nube o retornar al aprovisionamiento *on-promise* de las TI. Por otro lado, las actividades del proveedor incluyen la eliminación de los datos de los clientes para cumplir con la normativa de protección de datos. Por lo tanto, una métrica se clasifica en esta fase si apoya al proveedor en la eliminación del servicio.

Criterio 7. Punto de vista: Es ampliamente aceptado que la calidad de un producto software depende de la perspectiva o punto de vista de los *stakeholders*. Como se ha mencionado antes, en entornos cloud la provisión de servicios suelen ir acompañada de un SLA que define las características de calidad que el proveedor del servicio ofrece a los consumidores.

En este trabajo, se ha diferenciado entre el consumidor del servicio que puede ser una empresa intermediaria de desarrollo de software y el usuario final. Estas dos perspectivas se corresponden con el rol *cloud service user* descrito en la ISO/IEC 17788 (2014). Sin embargo, el incremento del uso de los servicios cloud por parte de las empresas ha motivado la aparición del facilitador (*cloud broker*) que es un agente que actúa como intermediario entre el proveedor y el consumidor del servicio. Este rol se recoge en el estándar NIST SP500-292 (NIST, 2011). Por otra parte, están los desarrolladores del servicio que necesitan métricas para apoyar el desarrollo de servicios de calidad que sean fácilmente mantenibles. La perspectiva del desarrollador del servicio se corresponde con el rol *cloud service partner* descrito en la ISO/IEC 17788 (2014) y puede incluir a desarrolladores, integradores, testers, etc.

Por lo tanto, en el contexto de la computación en la nube se pueden distinguir los siguientes roles: *Proveedor del servicio*, *Facilitador del servicio (cloud bróker)*, *Consumidor del servicio*, *Usuario final*, y *Desarrollador del servicio*. Cada métrica será clasificada de acuerdo a uno o más puntos de vista dependiendo de su propósito.

Criterio 8. Tipo de servicio: Un tipo de servicio cloud se corresponde a un grupo de servicios que comparten un conjunto común de características y propiedades de calidad. En este trabajo, los tipos de servicios considerados son:

- *Software as a Service (SaaS)*: los consumidores usan aplicaciones desplegadas por proveedores de servicio cloud.
- *Platform as a Service (PaaS)*: los consumidores pueden desplegar, gestionar y ejecutar aplicaciones utilizando un lenguaje de programación y un entorno de ejecución.
- *Infrastructure as a Service (IaaS)*: los consumidores pueden suministrar y usar recursos de procesamiento, almacenamiento y acceso a redes (networking).

Por lo tanto, cada métrica puede ser clasificada en más de un tipo de servicio de acuerdo a su propósito. Cabe destacar que el estándar NIST SP500-292 destaca, además

de los tipos e servicio antes mencionados, otros tipos de servicio como *Communication as a Service (CaaS)*, *Compute as a Service ((CompaaS)*, *Network as a Service (NaaS)* y *Data Storage as a Service (DSaaS)* pero consideramos solo SaaS, PasS e IaaS debido a que esta la clasificación más ampliamente utilizada.

Criterio 9. Artefactos cloud: Un artefacto cloud es una representación del servicio sobre la cual se puede calcular la métrica y realizar la evaluación de calidad o de la experiencia de los usuarios en la utilización del servicio. En este trabajo, clasificamos cada métrica en función del artefacto evaluado, de la siguiente forma:

- *Especificación del servicio cloud*, si la métrica evalúa modelos o documentos obtenidos en fases tempranas del ciclo de vida del servicio (p.e., modelo de requisitos,)
- *Arquitectura del servicio cloud*, si la métrica evalúa atributos de calidad de la arquitectura del servicio tales como extensibilidad, etc.
- *Servicio cloud*, si la métrica evalúa representaciones software obtenidas en fases tardías del ciclo de vida (p.e., interfaz de usuario final, código fuente). Puede corresponder al servicio implementado en fase de pruebas o el servicio desplegado y en uso en el cloud.

Criterio 10. Procedimiento de validación: Cada métrica se clasifica según al procedimiento de validación que haya sido sometida. Existen dos tipos de validación:

- *Validación teórica*, que asegura que la métrica mide el atributo que pretende medir. En esta categoría las aproximaciones más utilizadas son las axiomáticas (basadas en un conjunto de propiedades que la métrica ha de cumplir (Briand, Emam, & Morasca, 1996) y las basadas en la teoría de medición.
- *Validación empírica*, que proporciona evidencia sobre la utilidad de la métrica. Normalmente la validación empírica se lleva a cabo mediante experimentos controlados, casos de estudio o encuestas (Wohlin, 2014) que comprueban la relación existente entre los resultados obtenidos por la métrica y alguna característica de calidad externa o en uso, como las propuestas en el estándar SQuARE. Una *encuesta* es un método empírico que se utiliza para recopilar información de o sobre las personas para describir, comparar o explicar su conocimiento, sus actitudes o su comportamiento. Un *caso de estudio* es un estudio observacional cuya información es recogida para un propósito específico. Un *experimento controlado* es una investigación formal y rigurosa, y son muy útiles para validar la utilidad de las métricas de una forma más rigurosa.

Sin embargo, si la métrica carece de validación, esta se clasifica como “*No validada*”.

Criterio 11. Características/atributos específicos del cloud: Este criterio se aplica a los artículos que describen características/atributos de calidad para servicios cloud (aunque no proporcionen las métricas para medirlos). El propósito de este criterio es recoger el nombre de las características y atributos que los autores consideran relevantes para la calidad de los servicios cloud y que no se encuentran reflejadas en el estándar SQuaRE (p.e., elasticidad).

Criterio 12. Otras características/atributos: Este criterio se aplica a los artículos que describen características/atributos de calidad para servicios cloud (aunque no proporcionen las métricas para medirlos). Este criterio recoge el nombre de las características/atributos de calidad que son relevantes para los servicios cloud pero no son propias de ellos y que tampoco se puede encontrar reflejadas en el estándar SQuaRE.

Tabla 4.3. Formulario de extracción de datos para artículos con atributos y métricas

Criterio	Posible Respuesta
C1	<p>Característica de calidad evaluada:</p> <p>C1(a). Característica de calidad interna/externa</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Adecuación funcional <input type="checkbox"/> Eficiencia de desempeño <input type="checkbox"/> Compatibilidad <input type="checkbox"/> Usabilidad <input type="checkbox"/> Fiabilidad <input type="checkbox"/> Seguridad <input type="checkbox"/> Mantenibilidad <input type="checkbox"/> Portabilidad <p>C1(b). Característica de calidad en uso</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Efectividad <input type="checkbox"/> Eficiencia <input type="checkbox"/> Satisfacción <input type="checkbox"/> Ausencia de riesgo <input type="checkbox"/> Cobertura de context
C2	<p>Atributo de calidad evaluado por la métrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nombre de atributo: _____ • Tipo de atributo <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Interno <input type="checkbox"/> Externo <input type="checkbox"/> En uso
C3	<p>Tipo de métrica:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Métrica Base <input type="checkbox"/> Métrica Derivada
C4	<p>Método de medida:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Manual <input type="checkbox"/> Automático
C5	<p>Tipo de evaluación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Cualitativo <input type="checkbox"/> Cuantitativo <input type="checkbox"/> Híbrido

Criterio	Posible Respuesta
C6	Fase del ciclo de vida en el que se aplica la métrica: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Definición de requisitos <input type="checkbox"/> Adquisición <input type="checkbox"/> Desarrollo <input type="checkbox"/> Integración <input type="checkbox"/> Monitorización <input type="checkbox"/> Retiro
C7	Punto de vista: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Proveedor del servicio <input type="checkbox"/> Facilitador del servicio <input type="checkbox"/> Consumidor del servicio <input type="checkbox"/> Cliente final <input type="checkbox"/> Desarrollador del servicio
C8	Tipo de Servicio: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> SaaS <input type="checkbox"/> PaaS <input type="checkbox"/> IaaS
C9	Artefacto Cloud sobre el cual se realiza la evaluación: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Especificación del servicio cloud <input type="checkbox"/> Arquitectura del servicio cloud <input type="checkbox"/> Servicio cloud
C10	Procedimiento de validación de la métrica: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Validación teórica <input type="checkbox"/> Validación empírica <input type="checkbox"/> No validada • Validación teórica <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Aproximación axiomática <input type="checkbox"/> Aproximación basada en la Teoría de la Medición • Validación empírica <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Experimento controlado <input type="checkbox"/> Caso de estudio <input type="checkbox"/> Encuesta • No validada <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> No validada <input type="checkbox"/> Prueba de concepto

Tabla 4.4. Formulario de extracción de datos para artículos con solo características/atributos

Criterio	Posible Respuesta
C1	Característica de calidad evaluada: C1(a). Característica de calidad interna/externa <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Adecuación funcional <input type="checkbox"/> Eficiencia de desempeño <input type="checkbox"/> Compatibilidad <input type="checkbox"/> Usabilidad <input type="checkbox"/> Fiabilidad <input type="checkbox"/> Seguridad <input type="checkbox"/> Mantenibilidad <input type="checkbox"/> Portabilidad

Criterio	Posible Respuesta
	C1(b). Característica de calidad en uso <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Efectividad <input type="checkbox"/> Eficiencia <input type="checkbox"/> Satisfacción <input type="checkbox"/> Ausencia de riesgo <input type="checkbox"/> Cobertura de contexto
C2	Atributo de calidad evaluado por la métrica: <ul style="list-style-type: none"> • Nombre de atributo: _____ • Tipo de atributo <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Interno <input type="checkbox"/> Externo <input type="checkbox"/> En uso
C11	Características/atributos específicos de Cloud: <ul style="list-style-type: none"> • Nombre de atributo: _____ <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No
C12	Otras características/atributos: <ul style="list-style-type: none"> • Nombre de atributo: _____ <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No

4.1.3.4 Síntesis de los datos extraídos

Para la síntesis de los datos extraídos, se aplicarán tanto métodos cuantitativos como cualitativos de síntesis. Los métodos cuantitativos están basados en:

- Contar los estudios primarios clasificados atendiendo a los criterios de investigación.
- Definir gráficos circulares para representar los porcentajes obtenidos en cada uno de los criterios de investigación.
- La repartición de los artículos en función de su año de publicación.

Por otra parte, los métodos cualitativos están basados en:

- La inclusión de los estudios representativos para cada criterio según lo representativos que resulten para las preguntas de investigación.

4.1.4 Evaluación de calidad de la revisión sistemática

En esta sección definiremos los mecanismos empleados para evaluar la calidad de la revisión sistemática. En la sección 4.1.4.1 explicamos cómo se ha realizado la evaluación de la calidad de los estudios primarios para comprobar la relevancia de los mismos con el fin de asignarles un índice de calidad. En la sección 4.1.4.2 explicamos como el protocolo de revisión ha sido validado describiendo todas las acciones realizadas en cada una de las actividades anteriores con el objetivo de asegurar que la revisión sea lo más imparcial posible.

4.1.4.1 Evaluación de calidad de los estudios primarios

Hemos comprobado la relevancia de los estudios primarios para proporcionar una indicación sobre su calidad. Cada estudio tiene una clasificación de acuerdo a dos criterios: (1) la relevancia de la conferencia o revista donde el artículo fue publicado y (2) el número de citas del artículo.

Con respecto a la relevancia de la conferencia o la revista donde el artículo fue publicado, hemos clasificado los artículos en tres categorías: "muy relevante", "relevante", y "no tan relevante". Esta clasificación fue establecida considerando el CORE Conference Ranking (conferencias de nivel A, B y C) para los artículos publicados en conferencias, y la lista del *Journal Citations Reports (JCR)* para los artículos publicados en revistas. A continuación, se muestra cómo se clasificaron los artículos:

- **Muy relevante:** Artículos publicados en conferencias clasificadas como A* o A en la clasificación CORE o publicados en revistas incluidas en las listas de JCR. Estos artículos fueron calificados con 10 puntos.
- **Relevante:** Artículos publicados en conferencias clasificadas como B en la clasificación CORE o publicados en revistas que no están incluidas en las listas de JCR. Estos artículos fueron calificados con 5 puntos.
- **No relevante:** Artículos publicados en conferencias no indexadas en la clasificación CORE. Estos artículos fueron calificados con 0 puntos.

En relación con el número de citas del artículo, se clasificaron de nuevo los artículos en tres categorías: "alto", "medio" y "bajo". Esta clasificación fue realizada considerando el contador del *Google Scholar Citation*. Hay que anotar que clasificamos de manera diferente los artículos publicados antes o después de 2014. La razón es la de no penalizar a las publicaciones más recientes susceptibles de haber recibido menos citas. A continuación, se muestra cómo se clasificaron los artículos:

Si el artículo fue publicado antes de 2014:

- **Alto:** Los artículos con más de 5 citas fueron calificados con 10 puntos.
- **Medio:** Los artículos citados por 1-5 autores fueron calificados con 5 puntos.
- **Bajo:** Los artículos que no han sido citados fueron calificados con 0 puntos.

Si el artículo fue publicado en o después de 2014:

- **Potencialmente alto:** Los artículos citados fueron calificados con 10 puntos.
- **Potencialmente medio:** Los artículos que no han sido citados fueron calificados con 5 puntos.

Para cada artículo, se han calculado estos dos criterios. Estas puntuaciones no se utilizaron para excluir artículos en la revisión sistemática debido al hecho de que nuestro objetivo es identificar y analizar todos los atributos y métricas de calidad para servicios

cloud que han sido propuestas en la literatura. Sin embargo, estos resultados proporcionan evidencia sobre la calidad de los estudios primarios incluidos en esta revisión sistemática.

4.1.4.2 Validación del protocolo de revisión

La validación del protocolo de revisión se ha llevado a cabo incorporando distintas acciones sobre las actividades descritas anteriormente para la fase de planificación. El objetivo es asegurar, en la medida de lo posible, que la presente revisión sea lo más correcta, completa y objetiva posible. Con respecto a la estrategia de búsqueda (ver Sección 4.1.3.1) se han llevado a cabo las siguientes acciones de validación:

- Se han seleccionado cuatro librerías digitales (IEEE Xplore, ACM Digital Library, ScienceDirect, y SpringerLink) las cuales contienen un elevado número de publicaciones en el campo de Cloud Computing y calidad del software.
- Se han incluido otras fuentes bibliográficas que han sido revisadas de manera manual para garantizar que la estrategia de búsqueda se aplica a revistas y actas de conferencias relevantes en el área.
- La cadena de búsqueda ha sido refinada aplicando diferentes combinaciones hasta encontrar aquella que obtenía el mayor número de artículos relevantes. Además, se tuvo en cuenta que la cadena de búsqueda se aplica sobre los mismos metadatos de cada artículo, adaptándola cuando fuera necesario según cada biblioteca digital.
- Los términos de la cadena de búsqueda se basaron en términos que aparecían en artículos relevantes en el área, cuya existencia ya era conocida (Bardhan & Milojevic, 2012) (Slivar, Skorin-Kapov, & Suznjovic, 2016) (S. Wang & Dey, 2012) (Baliyan & Kumar, 2013) (J. Y. Lee et al., 2009) (Z. Wang, Jiang, & Zhou, 2015) (Garg, Versteeg, & Buyya, 2013) (Guérout, Medjiah, Costa, & Monteil, 2014) (Manuel, 2015) (Viji Rajendran & Swamynathan, 2015).
- Se ha verificado que los artículos considerados relevantes en el área, los cuales han sido 10 artículos repartidos en las diferentes bibliotecas digitales, han sido obtenidos como resultado del proceso de búsqueda.

Con respecto a la selección de estudios primarios (ver Sección 4.1.3.2) se han llevado a cabo las siguientes acciones:

- Se ha verificado que los artículos considerados relevantes en el área, han sido incluidos en la revisión tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión.
- La fiabilidad en la inclusión de un estudio candidato en la revisión se evaluó mediante la aplicación del estadístico Fleiss Kappa (Fleiss, 1981). Fleiss Kappa es una medida estadística para evaluar la fiabilidad del acuerdo que existe entre un número fijo de evaluadores a la hora de realizar una clasificación,

en este caso “incluir artículo en la revisión” o “rechazar artículo”. Los valores que toma esta medida se encuentran en a un intervalo entre cero y uno. Un cero indica un acuerdo muy pobre, mientras que un uno indica un acuerdo total. Tres evaluadores independientes clasificaron una muestra aleatoria de 20 estudios, 10 de los cuales fueron incluidos en la revisión y otros 10 que no lo fueron. El valor del estadístico Fleiss Kappa obtenido fue de 0.87, indicando un acuerdo aceptable entre evaluadores. Es decir que la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión por diferentes evaluadores, introduciría una mínima variación en el conjunto de artículos seleccionados.

Por último, con respecto a la estrategia de extracción de datos (ver Sección 1.2.3) se han llevado a cabo las siguientes acciones:

- Los criterios de extracción se definieron de forma que pudieran responder a la pregunta de investigación establecida.
- La fiabilidad en la clasificación de artículos, según los criterios de extracción definidos, se evaluó también mediante el estadístico Fleiss Kappa. Para ello, tres evaluadores independientes clasificaron una muestra aleatoria de 10 artículos que habían sido incluidos en la revisión. Los valores Fleiss Kappa obtenidos para cada criterio de extracción fueron 0.95 para el criterio 1, 0.91 para el criterio 2, 0.86 para el criterio 3, 0.87 para el criterio 4, 0.86 para el criterio 5, 0.86 para el criterio 6, 0.85 para el criterio 7, 0.89 para el criterio 8, 0.84 para el criterio 9, y 0.89 para el criterio 10a, 0.87 para el criterio 10b, 0.88 para el criterio 10c. Estos valores indican que la extracción de datos se puede calificar como un proceso bastante reproducible por diferentes evaluadores.

4.2 Ejecución de la revisión

Después de haber definido y validado el protocolo de revisión, este fue aplicado para realizar la revisión sistemática obteniendo los siguientes resultados (ver *Figura 4.1*):

- a) En las bibliotecas digitales identificamos 852 publicaciones potenciales, recuperados de la búsqueda automática (391 de IEEE Xplore, 40 de ACM Digital Library, 84 de ScienceDirect y 337 de SpringerLink).
- b) A continuación, eliminamos las publicaciones duplicadas, ya que aparecieron en más de una biblioteca digital. Estas publicaciones solo fueron tenidas en cuenta una vez, para ello seguimos el siguiente orden: (1) IEEE Xplore, (2) ACM Digital Library, (3) ScienceDirect y (4) SpringerLink. Cabe recalcar que este orden fue arbitrario.

- c) En la búsqueda manual identificamos 44 publicaciones potenciales, las cuales fueron añadidas a la lista de estudios primarios potenciales. De esta forma, obtuvimos un total de 880 publicaciones.
- d) Luego de leer el título y los resúmenes de las publicaciones potenciales, descartamos 606 publicaciones, así nos quedamos con 274 publicaciones.
- e) Finalmente, aplicamos los criterios de selección (inclusión/exclusión), quedándonos con un total de 85 estudios primarios para nuestro trabajo (58 de IEEE Xplore, 11 de ACM Digital Library, 9 de ScienceDirect, 6 de SpringerLink y 1 de Journal of Cloud Computing).

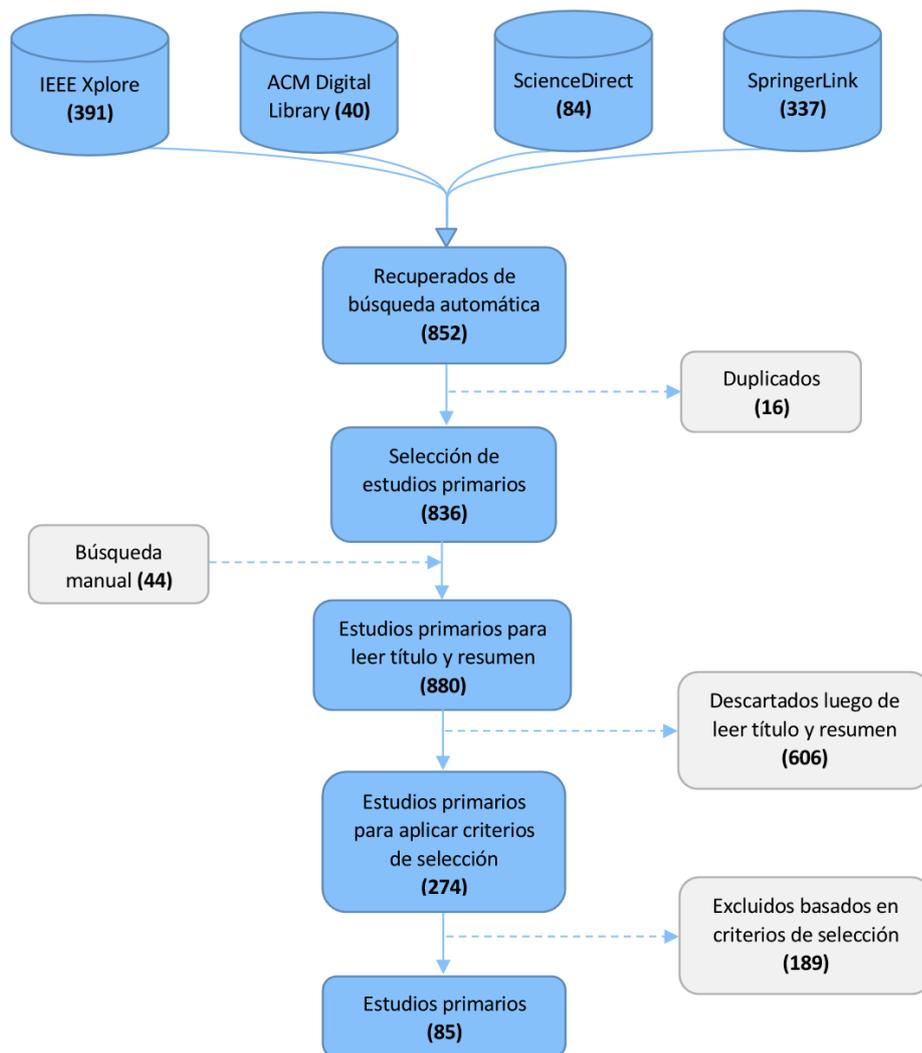


Figura 4.1. Proceso de selección de los estudios primarios

Las búsquedas en las bibliotecas digitales se realizaron el 1 de junio de 2016 (ver Apéndice B). La Tabla 0.1 presenta además las cadenas de búsquedas adaptadas para

cada biblioteca digital, así como las restricciones del tipo de contenido que realizamos en las mismas.

Hubo algunos desafíos particulares a los que nos enfrentamos con la búsqueda en las bibliotecas digitales. El motor de búsqueda de base de datos SpringerLink no soporta la búsqueda del título, resumen y palabras claves. La búsqueda soporta ya sea por título (que regresó muy pocos resultados) o por el texto completo de los artículos, incluyendo referencias.

Esto hacía que la búsqueda en SpringerLink devolviera 2259 resultados. Así que refinamos la búsqueda por disciplina, incluyendo únicamente *Computer Science* y *Business & Management*. El motor de búsqueda de base de datos de IEEE Xplore, en cambio, no soporta la búsqueda con una cadena de búsqueda muy larga, así que la tuvimos que dividir en subcadenas (por título, por resumen y por palabras claves) y luego hacer una unión de estos resultados.

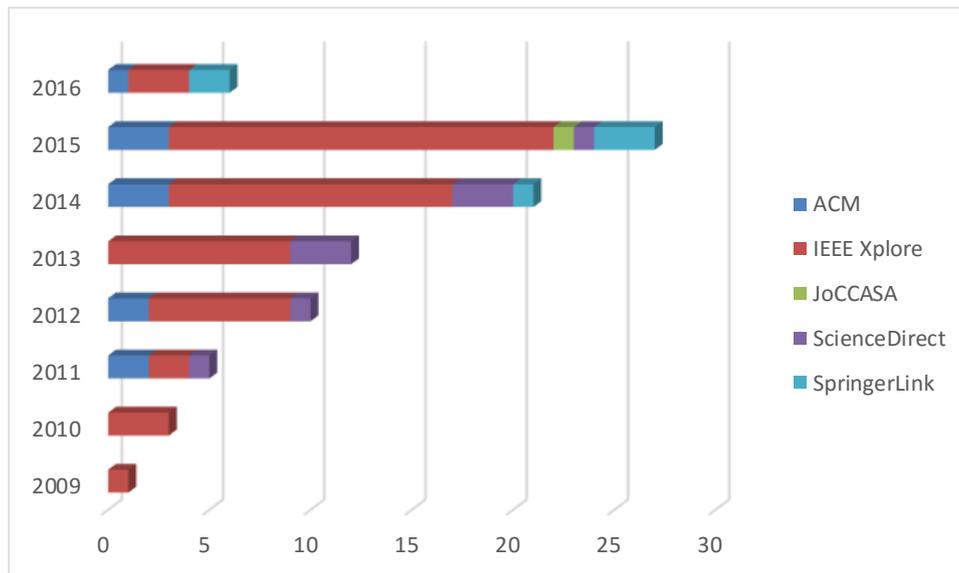


Figura 4.2. Número de publicaciones de calidad de servicio cloud por año

El análisis del número de estudios de investigación en calidad para servicios cloud (ver Figura 4.2) muestra que ha habido un creciente interés en esta área de estudio. Como se puede observar en la Figura 4.2, nuestra mayor fuente de estudios fue la biblioteca digital IEEE Xplore.

Con respecto a la evaluación de la calidad de los estudios primarios obtuvimos los siguientes resultados: el promedio del primer criterio de evaluación de calidad (relevancia de la conferencia o revista donde se publicó el artículo) es 3.82 puntos, mientras que el promedio del segundo criterio de evaluación de calidad (número de citas del artículo) es de 8.24 puntos. Los resultados muestran que los artículos seleccionados

publicados en conferencias y/o revistas tienen baja relevancia, pero, en cambio, sí han sido referenciados por varias publicaciones.

4.3 Difusión de los resultados

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de la revisión sistemática. La revisión sistemática identificó 85 estudios primarios, de los cuales 69 presentaron métricas y atributos de calidad. En estos artículos, pudimos identificar **364 métricas que evalúan 119 atributos de calidad diferentes**. Los artículos restantes, que fueron 16, solo presentaron características/atributos de calidad y no sus métricas. Hubo 5 artículos, que pertenecían al grupo de los 69 artículos que sí tenían métricas, pero que a la vez presentaban algunos atributos de calidad sin métricas (ver Figura 4.3).

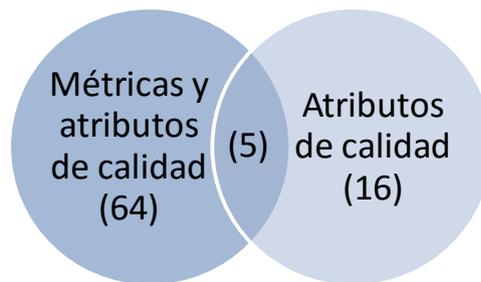


Figura 4.3. Distribución de los 85 estudios primarios

La sección 4.3.1 presenta y discute los resultados del proceso de extracción de datos relacionados con las métricas existentes para evaluar la calidad de servicios cloud. La sección 4.3.2 presenta las estadísticas con respecto a los resultados de los atributos de calidad (artículos que proponen atributos, pero no las métricas para medirlos). Como parte de los resultados, en los apéndices presentamos lo siguiente: el Apéndice A muestra la lista de referencias de los 85 estudios primarios seleccionados; el Apéndice B muestra un resumen de la extracción de los datos.

4.3.1 Métricas para la evaluación de la calidad de servicios cloud

En esta subsección se presenta un análisis de los resultados para cada criterio del primer formulario utilizado en el proceso de extracción de datos de los artículos seleccionados. En la Tabla 4.5 se presenta el resumen del número de métricas y los porcentajes obtenidos para cada criterio de extracción.

A continuación, comentaremos los resultados obtenidos para cada criterio de extracción.

Tabla 4.5. Resultados de los criterios de la extracción de datos para las métricas

Criterio	Posibles respuestas	# Métricas	Porcentaje
Criterio 1. Característica de calidad evaluada			
1.1. Característica de calidad interna/externa			
	Adecuación Funcional	11	3%
	Eficiencia de desempeño	151	41%
	Compatibilidad	5	1%
	Usabilidad	9	2%
	Fiabilidad	84	23%
	Seguridad	13	4%
	Mantenibilidad	16	4%
	Portabilidad	25	7%
1.2. Característica de calidad en uso			
	Efectividad	0	0%
	Eficiencia	0	0%
	Satisfacción	35	10%
	Ausencia de riesgo	9	2%
	Cobertura de contexto	6	2%
Criterio 2. Atributo de calidad evaluado por la métrica			
2.1. Nombre de atributo			

2.2. Tipo de atributo			
	Interno	66	18%
	Externo	248	68%
	En uso	49	13%
Criterio 3. Tipo de métrica			
	Métrica base	85	23%
	Métrica Derivada	279	77%
Criterio 4. Método de medida			
	Manual	345	95%
	Automático	19	5%
Criterio 5. Tipo de evaluación			
	Cualitativo	32	9%
	Cuantitativo	328	90%
	Híbrido	4	1%
Criterio 6. Fase del ciclo de vida en el que se aplica la métrica			
	Requisitos	31	8%
	Adquisición	132	32%
	Desarrollo	21	5%
	Integración	0	0%
	Operación	224	55%
	Retiro	0	0%

Tabla 4.5 Continuación

Criterio	Posibles respuestas	# Métricas	Porcentaje
Criterio 7. Punto de vista			
	Proveedor del servicio	197	39%
	Facilitador del servicio	35	7%
	Consumidor del servicio	167	33%
	Cliente final	85	17%
	Desarrollador del servicio	25	5%
Criterio 8. Tipo de Servicio			
	SaaS	214	45%
	PaaS	67	14%
	IaaS	195	41%
Criterio 9. Artefacto Cloud sobre el cual se realiza la evaluación			
	Especificación del servicio Cloud	2	1%
	Arquitectura del servicio Cloud	7	2%
	Servicio Cloud	355	98%
Criterio 10. Procedimiento de validación de la métrica			
Validación teórica			
	Aproximación axiomática	0	0%
	Aproximación basada en la Teoría de la Medición	0	0%
Validación empírica			
	Experimento Controlado	0	0%
	Caso de estudio	3	1%
	Encuesta	0	0%
No validada			
	No validada	202	55%
	Prueba de concepto	159	44%

4.3.1.1 Criterio 1: Característica de calidad evaluada por la métrica

Con respecto a la calidad interna y externa del servicio cloud (QoS), los resultados indican que el 42% de las métricas evalúan atributos relacionados con la *Eficiencia de desempeño* (ver Figura 4.4). Por ejemplo, Guérout *et al.* (2014) proponen la métrica “tiempo de respuesta”, que mide el tiempo de ejecución de una máquina virtual, perteneciente a un servicio cloud; Duggan *et al.* (2011) presentan la métrica “latencia de acceso al búfer”, para cuantificar el impacto del rendimiento de las consultas que se ejecutan simultáneamente sobre base de datos concurrentes basadas en cloud; Bruneo (2014) propone métricas transitorias de desempeño que permiten caracterizar la capacidad de recuperación del sistema.

La segunda característica de calidad con más métricas es la *Fiabilidad* con un 23% de las métricas existentes. Podemos citar, por mencionar algunas, las métricas propuestas por Zheng *et al.* (2014) para garantizar que los servicios cloud estén libres de fallos de hardware, software, y otros defectos que podrían hacer que se descompongan. También se menciona métricas tradicionales que han sido aplicadas a entornos cloud como las métricas “media del tiempo entre fallos” y “tiempo medio entre fallos”, ambas pueden usarse para servicios que se ejecutan continuamente; Zhou *et al.* (2015) proponen varias

métricas para evaluar atributos relacionados con la Fiabilidad como el “porcentaje de tiempo en línea” para medir la disponibilidad y las métricas de “incidencia de los accidentes”, “tasa de reparación de los accidentes”, y el “grado de rapidez de la preparación de emergencias” para los negocios clave, que las utilizan para medir la continuidad de los servicios cloud.

El 7% de las métricas mide atributos relacionados con la *Portabilidad*. Por ejemplo, Singh y Chana (2015) proponen una métrica que sirve para medir el grado en el que el servicio cloud es portable a otras plataformas.

El 3% mide atributos relacionados con la *Adecuación Funcional*. Por ejemplo, Garg *et al.* (2013) proponen una métrica para medir el grado en que se cumplen los requisitos de un cliente de un proveedor Cloud.

El 4% mide los atributos relacionados con la *Usabilidad*. Por ejemplo, Singh y Chana (2015) proponen dos métricas para medir el trabajo necesario que se requiere para obtener el conocimiento, la manipulación, preparación de entrada, y la interpretación de salida de un servicio Cloud, estas son: la “facilidad de aprendizaje” y el “porcentaje de éxito”.

Del total del número de métricas, el 4% mide atributos relacionados con la *Mantenibilidad*. Por ejemplo, Lee *et al.* (2009) proponen tres métricas para medir la reusabilidad, las cuales son: la “comunalidad funcional”, la “comunalidad no funcional” y la “cobertura de la variabilidad”. El 4% de las métricas mide atributos relacionados con la *Seguridad*. Por citar un ejemplo, la métrica de Manuel (2015) permite medir la “integridad de los datos”.

Los resultados también han indicado que solo el 1% de las métricas mide atributos relacionados con la *Compatibilidad*. Por citar un ejemplo, Garg *et al.* (2013) proponen una métrica para medir la interoperabilidad, que es la “capacidad de un servicio para interactuar con otros servicios” que se ofrecen, ya sea por el mismo proveedor o por otros proveedores.

Con respecto a la calidad en uso del servicio (QoE), los resultados de la revisión indican que, del total del número de métricas, el 10% mide los atributos relacionados con la *Satisfacción*. Chen *et al.* (2014) proponen métricas para medir la “capacidad de respuesta”, como la “duración de tiempo entre la petición del usuario y el tiempo en que el fotograma del juego correspondiente se muestra al usuario. Estas métricas se han considerado de satisfacción ya que se calculan durante la interacción del usuario con el servicio cloud.

El 2% mide atributos de calidad relacionados con la *Ausencia de riesgo*. Por ejemplo, Garg *et al.* (2013) proponen la métrica “eficiencia energética de los equipos informáticos”.

El 2% mide los atributos relacionados con la *Cobertura de contexto*. Por ejemplo, Singh y Chana (2015) proponen varias métricas para medir la flexibilidad del servicio cloud.

Lamentablemente no encontramos métricas para las características de *Efectividad* y *Eficiencia*.

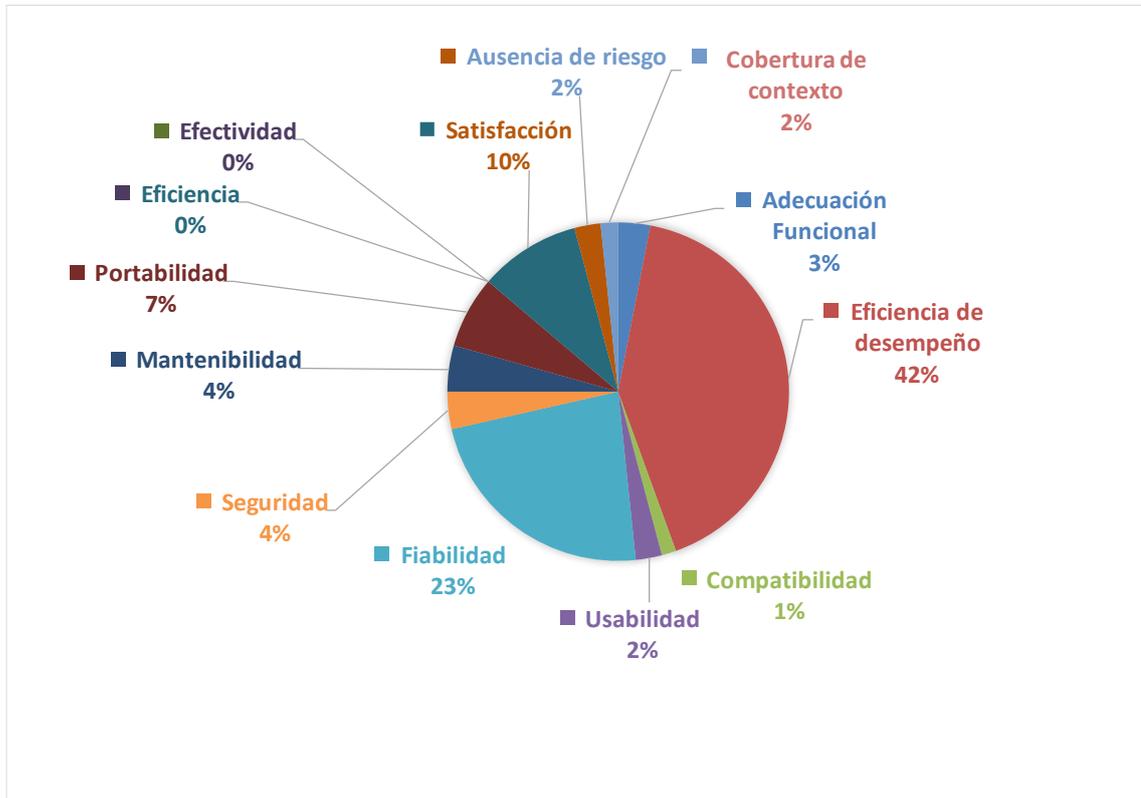


Figura 4.4. Porcentajes del número de métricas por característica de calidad

Como resultado de la revisión de la literatura, podemos concluir que la mayoría de los atributos (42%) están relacionados con la *Eficiencia de desempeño*. Pensamos que esto se debe a que es muy importante para los servicios cloud tener un alto rendimiento, que la respuesta de la aplicación a las solicitudes de los usuarios sean rápidas y que el proveedor recupere los datos sin fallos. Sin métricas de rendimiento el proveedor no tiene forma de chequear cuán bien se desempeña una aplicación en la nube. El mal rendimiento puede resultar en fallos inesperados del servicio lo que afectará a los consumidores del servicio que no tendrán la información necesaria para la toma de decisiones y también a los desarrolladores que no tendrán mecanismos para supervisar el desempeño de los servicios en la nube. Otro motivo es que son atributos de calidad de más bajo nivel, que son más fáciles de medir y están presentes en la mayoría de plataformas cloud, como la utilización de recursos (uso de CPU, memoria en disco).

También podemos concluir que para los servicios cloud es importante la característica de *Fiabilidad* (23%), ya que es la segunda característica con más métricas.

La *Fiabilidad* también es un factor muy importante cuando se tiene que evaluar la calidad de los servicios cloud ya que estos deben tener una alta disponibilidad y ser tolerantes a fallos. Pero, existen otras características y atributos que también son importantes a la hora de evaluar la calidad de estos servicios como es el caso de la *Seguridad y privacidad* que todavía no cuentan con suficientes mecanismos de evaluación que permitan a los stakeholders asegurar la seguridad de sus servicios.

4.3.1.2 Criterio 2: Atributo de calidad evaluado por la métrica

En relación al tipo de atributos (ver Figura 4.5), la mayoría de las métricas han sido propuestas para la evaluación de *atributos externos* (68%), como la disponibilidad del servicio (Bardhan & Milojevic, 2012), la capacidad del proveedor de servicio (Baranwal & Vidyarthi, 2014), el rendimiento (Bruneo, 2014), la violación del acuerdo del nivel de servicio (Ghafari, Fazeli, Patooghy, & Rikhtechi, 2013), la tasa de utilización de los servicios (Khan, Chan, & Chua, 2016).

Con respecto a los *atributos internos*, el 18% de las métricas identificadas miden algún atributo de calidad interno de un servicio cloud. Como ejemplos de estos tenemos: el tiempo de ejecución (Guérout et al., 2014), la eficiencia en la respuesta de un recurso (Manuel, 2015), la cobertura de la variabilidad (Nadanam & Rajmohan, 2012).

Finalmente, el 14% de las métricas evalúan *atributos de calidad en uso*. Algunas de las métricas que encontramos son: la fluidez percibida del videojuego (Slivar et al., 2016), la confiabilidad de los recursos y servicios virtuales (Xiong & Chen, 2015), los grados de formalización del lenguaje y la actitud del empleado (Zhou et al., 2015).

Pensamos que, como los servicios cloud son relativamente nuevos y mucho de sus requisitos a la hora de obtener el servicio, se basan en la percepción de los consumidores, entonces, por ende, hay muchos trabajos que han evaluado los atributos externos. Sin embargo, los atributos internos impactan directamente en los atributos externos, así que existe la necesidad de nuevas métricas que permitan medir estos atributos de modo a predecir la calidad externa del servicio. Obtuvimos un número considerable de métricas para evaluar los atributos de calidad en uso. Estos en general se basan en la percepción del servicio cloud que tiene el cliente final, y es una buena forma de medir cómo se puede mejorar el servicio.



Figura 4.5. Porcentaje del número de métricas por tipo de atributo

4.3.1.3 Criterio 3: Tipo de métrica

Con respecto a los tipos de métricas (ver Figura 4.6), los resultados nos indican que la mayoría de las métricas son *métricas derivadas* (77%), es decir, que necesitan otras métricas para ser calculadas. El 23% de las métricas son *métricas base*, lo cual significa que pueden ser calculadas directamente.

Algunas métricas derivadas que encontramos en nuestra revisión son: la “capacidad del proveedor de servicio” (Baranwal & Vidyarthi, 2014), que se calcula a partir de las métricas base capacidad de la CPU, capacidad de la memoria, capacidad de almacenamiento y capacidad de la red. De manera similar, “retardo de la respuesta” (Chen et al., 2014), es una métrica derivada, que se calcula a partir de las métricas base retardo de la red, retardo del procesamiento y retardo del videojuego.

Podemos concluir que la mayoría de las métricas son derivadas, porque en general, los atributos son complejos y no pueden ser calculados directamente.



Figura 4.6. Porcentaje del número de métricas por tipo de métrica

4.3.1.4 Criterio 4: Método de medida

Los resultados nos indican que el método de medida para evaluar las métricas relacionadas con los atributos es mayoritariamente manual (95%) y solo un 5% es automático (ver Figura 4.7). Esto quiere decir que pocas métricas cuentan con herramientas que ayudan a los stakeholders a calcularlas, por lo que estos procedimientos de medición pueden ser considerados propensos a errores. Una de las causas es que muchas métricas no pueden ser calculadas automáticamente debido a que son subjetivas e implican un juicio del evaluador, como es el caso de las métricas “puntaje medio de opinión” (S. Wang & Dey, 2012) y la “escala ACR” (Z. Y. Wen & Hsiao, 2014) que han sido propuestas para medir la calidad percibida por el usuario.

Como ejemplo de métricas evaluadas con una herramienta, podemos citar las propuestas por Wang y Dey (2012) que utilizan un prototipo llamado MGUE para medir la métrica “puntaje medio de opinión del juego”. Zang y Gagnaire (2015) mencionan también algunas herramientas para calcular las métricas que proponen, como Sysbench, PyStone, STREAM y Bonie. Por último, Xia *et al.* (2013) utilizan Matlab para calcular las métricas del tiempo esperado de finalización de la petición, la probabilidad de rechazo y la tasa de sobrecarga del sistema.



Figura 4.7. Porcentaje del número de métricas por método de medida

4.3.1.5 Criterio 5: Tipo de evaluación

Con relación al tipo de evaluación de las métricas, los resultados muestran que el 90% son de tipo cuantitativo (ver Figura 4.8). Por ejemplo, la tasa de reparación de los accidentes (Zhou et al., 2015), el tiempo recomendado de respuesta del servicio (Costa, Leite, & Sousa, 2015), y la degradación del rendimiento debido a las migraciones (Ghafari et al., 2013) son métricas de tipo cuantitativas.

El 9% de las métricas son de tipo *cualitativo*. Como ejemplo, podemos citar las siguientes métricas: la escala de puntajes de categoría absoluta para medir la percepción de calidad (Slivar et al., 2016) y el puntaje medio de opinión del videojuego (S. Wang & Dey, 2012).

Solo el 1% de las métricas resultaron de tipo *híbrido*. Por ejemplo, la reputación (Feng & Kong, 2015), que usa lógica difusa.

Pensamos que tener en su mayoría métricas con tipo de evaluación cuantitativa puede ser beneficioso para los evaluadores, ya que se pueden establecer, de esta manera, los valores aceptados para servicios cloud específicos.



Figura 4.8. Porcentaje del número de métricas por tipo de evaluación

4.3.1.6 Criterio 6: Fase del ciclo de vida en el que se aplica la métrica

La fase del ciclo de vida en el que se aplica las métricas en su mayoría es la fase de *Operación* (55%) (ver Figura 4.9). Por ejemplo, la puntuación de la calidad del vídeo, la frecuencia del cambio de calidad, el tiempo inicial del búfer, la duración media del búfer, la frecuencia de re-búfer, y la puntuación media de opinión propuestas por Samet *et al.* (2016) son métricas que se miden durante el uso del servicio.

El 32% de las métricas propuestas se aplican en la fase de *Adquisición*. Algunos ejemplos son el bajo-aprovisionamiento, el sobre-aprovisionamiento, la reactividad de asignación, la reactividad de liberación, y la cobertura de escalabilidad propuestas por Abdeladim *et al.* (2014) para la estimación de la demanda.

El 8% de las métricas se aplican en la fase de *Determinación de Requisitos*. Por ejemplo, la disponibilidad de recursos, la fiabilidad de los recursos, la integridad de los datos de los recursos, y la eficiencia de respuesta de un recurso propuestas por Manuel (2015) son ejemplos de métricas que ayudan a los clientes a decidir acerca de si y en qué medida utilizarán el servicio cloud.

Solo el 5% de las métricas se aplican en la fase de *Desarrollo*. Algunos ejemplos son, el tiempo de respuesta, el promedio del número de consultas, y número máximo de consultas procesadas por segundo propuestas por Hecht *et al.* (2014). Lamentablemente, en los resultados de este estudio, no obtuvimos métricas para las fases de *Integración* y de *Retiro*.

Las métricas también pueden ser aplicadas a más de una fase del ciclo de vida. Por ejemplo, la usabilidad propuesta por Zheng *et al.* (2014) que puede ser aplicada en la fase de *Desarrollo y Operación*.

Podemos concluir, que los estudios se han concentrado más en cubrir la fase de *Operación* y pensamos que esto puede ser debido a que el funcionamiento de los servicios cloud se ve reflejado en esta fase y muchas métricas se utilizan para monitorización de la calidad del servicio, siendo este un aspecto muy valorado en el momento de evaluar un servicio cloud. Pensamos que muchos estudios se han concentrado en la fase de *Adquisición*, que ocupa segundo lugar, porque es en esta etapa donde los consumidores de los servicios cloud toman la decisión de adoptarlos y necesitan métricas que apoyen a su decisión. Observando la deficiencia de métricas que existen en otras fases (*Requisitos, Desarrollo, Integración, y Retiro*), podemos llegar a la conclusión de que existe la necesidad de definir nuevas métricas para la evaluación de la calidad del servicio cloud en tales fases.

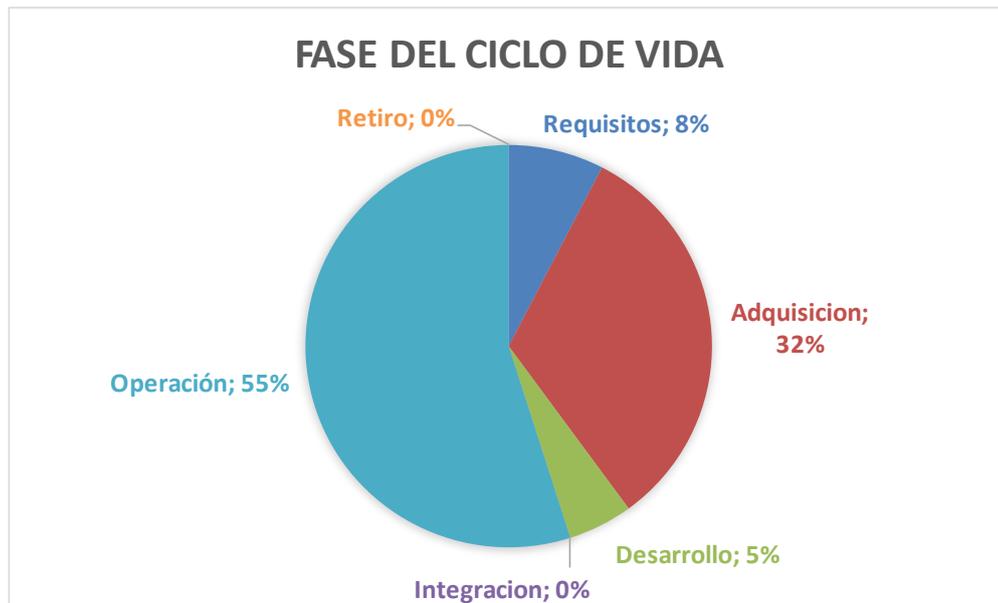


Figura 4.9. Porcentaje del número de métricas por fase del ciclo de vida en el que se aplica

4.3.1.7 Criterio 7: Punto de vista

En relación al punto de vista, los resultados presentan un 39% de las métricas bajo el punto de vista del *Proveedor del servicio* (ver Figura 4.10). Por ejemplo, la métrica de “rendimiento” propuesta por Alvares y Ledoux (2011); la “velocidad de transmisión alcanzada”, y el “retraso” propuestas por Saiz *et al.* (2014).

El punto de vista del *Consumidor del servicio*, representa un 33% de las métricas identificadas. A modo de ejemplo podemos citar: el porcentaje de tiempo en línea, la incidencia de los accidentes, la tasa de reparación de los accidentes propuestas por Zhou *et al.* (2015).

Del total del número de métricas, el 16% son bajo el punto de vista del *Cliente final*. Por ejemplo, el tiempo de respuesta del juego, y la puntuación media de opinión del juego propuestas por Wang y Dey (2012) afectan la satisfacción del cliente final.

El 7% del total del número de métricas son bajo el punto de vista del *Facilitador del servicio*. Por ejemplo, el tiempo de respuesta, el rendimiento del servicio, la disponibilidad, la escalabilidad, la tasa de utilización de los servicios, y el tiempo medio para recuperarse propuestas por Khan *et al.* (2016).

Solo el 5% de las métricas son bajo el punto de vista del *Desarrollador del servicio*. Por ejemplo, el número medio de solicitudes y la media del tiempo de respuesta propuesta por Liu *et al.* (2014).

Las métricas también pueden estar bajo más de un punto de vista. Por ejemplo, la usabilidad propuesta por Zheng *et al.* (2014) que está bajo el punto de vista del *Proveedor del servicio*, del *Cliente final* y del *Desarrollador del servicio*.

Podemos concluir que mayoritariamente las métricas son bajo los puntos de vista del *Proveedor* y del *Consumidor del servicio*. Esto se debe a que los estudios se han concentrado por una parte en evaluar la parte proveedora del servicio, para garantizar su comportamiento, y, por otro lado, en evaluar la parte consumidora del servicio que es la que será la que adquirirá el producto. Estas partes, al fin y al cabo, podrían considerarse las más interesadas en el aseguramiento de la calidad del servicio cloud.



Figura 4.10. Porcentaje del número de métricas por punto de vista

4.3.1.8 Criterio 8: Tipo de servicio

Los resultados nos muestran que la mayoría de las métricas están diseñadas para SaaS e IaaS, con un 45% y un 41%, respectivamente (ver Figura 4.11).

En el modelo de servicio SaaS, todo se gestiona por el proveedor SaaS y los usuarios no tienen forma de cambiar el servicio. Existen distintos tipos de proveedores SaaS: proveedores de conectividad, proveedor de infraestructura de aplicaciones, proveedor de procesos de negocio, proveedores de servicios de desarrollo, etc.

Para SaaS, podemos citar como ejemplo las siguientes métricas: la similitud funcional, la similitud no funcional, la cobertura de la variabilidad, la reutilización, la robustez del servicio, la cobertura de escalabilidad, la cobertura de la tolerancia a fallos, la cobertura de recuperación de fallos, la precisión del servicio, la fiabilidad, la utilización de recursos, el comportamiento temporal y la eficiencia propuestas por Lee *et al.* (2009). Pensamos que la mayoría de las métricas están orientadas al proveedor SaaS ya que este tiene y mantiene la instalación, la gestión de la plataforma, de las copias de seguridad y los procesos de recuperación de información, así como asegura el acceso permanente a los servicios.

Para IaaS, por ejemplo, aparecen las siguientes métricas: el tiempo de ejecución, el coste de ejecución, la tasa de disponibilidad, el tiempo de transferencia de datos, y el costo de almacenamiento propuestas por Bousselmi *et al.* (2016).

El 14% de las métricas propuestas son para evaluar atributos relacionados con el tipo de servicio PaaS. En este modelo de servicio, la aplicación y los datos pueden ser gestionados tanto por los proveedores como los usuarios. Algunas métricas utilizadas son: el tiempo de prueba, la tasa de auto servicio, la capacidad informática, el punto flexible, la fuerza flexible, la distancia flexible, el grado flexible, la capacidad flexible, número de acciones por minuto, número de nuevos pedidos por segundo, número de accesos por segundo, número de confirmaciones por segundo, y megabytes por segundo propuestas por Singh y Chana (2015).

Las métricas también pueden aplicarse a más de un tipo de servicio. Por ejemplo, el tiempo de respuesta, el rendimiento, la utilización, la confiabilidad de los recursos y servicios virtuales, el percentil del tiempo de respuesta, y la disponibilidad propuestas por Xiong y Chen (2015) que son usadas tanto para SaaS como para PaaS e IaaS.

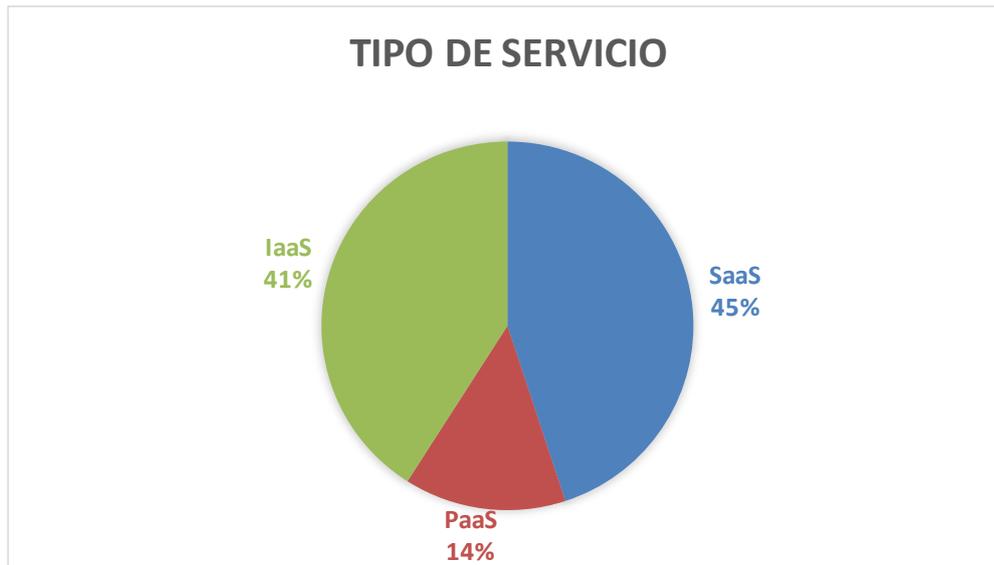


Figura 4.11. Porcentaje del número de métricas por tipo de servicio

4.3.1.9 Criterio 9: Artefacto Cloud sobre el cual se realiza la evaluación

En relación al artefacto Cloud sobre el cual se realiza la evaluación, los resultados obtenidos muestran que la mayoría (97%) de las métricas realiza la evaluación sobre el *Servicio Cloud* (ver Figura 4.12). Por ejemplo, las métricas consistencia a través de varias instancias, consistencia durante un período de tiempo, la latencia de despliegue, la normalización rendimiento-coste, el rendimiento y el coste total propuestas por Vedam y Vemulapati (2012), son todas métricas que se miden una vez que el servicio haya sido desplegado en el cloud. .

Solo el 2% de las métricas realiza la evaluación sobre el artefacto Cloud *Arquitectura del servicio*. Por ejemplo, el tiempo de iteración del bucle principal, el tiempo dedicado al motor de físicas, el tiempo dedicado al motor de renderizado de un motor de videojuegos propuestas por Hassam *et al.* (2014).

Solo el 1% de las métricas son de *Especificación de servicio Cloud*. Por ejemplo, la violación del acuerdo de nivel de servicio, la violación del tiempo de host activo del acuerdo de nivel de servicio, y la degradación del rendimiento debido a las migraciones propuestas por Ghafari *et al.* (2013).

Pensamos que la mayoría de las métricas se concentran en el *Servicio cloud*, lo que es coherente con que los estudios han estado más enfocados en el aspecto operacional del servicio cloud. Los resultados también indican que hay carencias en cuanto a métricas que puedan ser aplicadas en las fases tempranas del ciclo de vida del servicio cloud (especificación y arquitectura del servicio) y que se necesitan realizar trabajos futuros que las cubran.

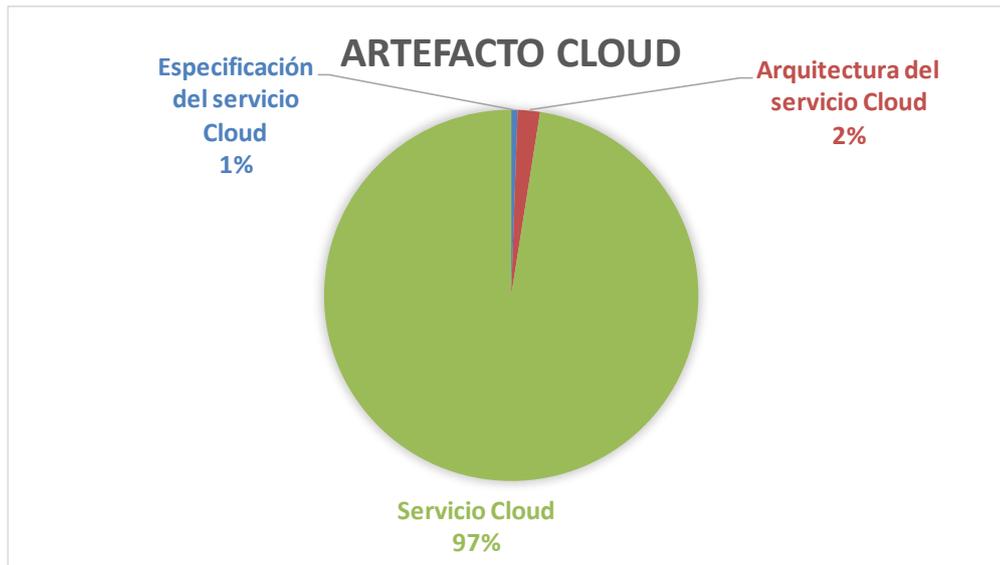


Figura 4.12. Porcentaje del número de métricas por artefacto Cloud

4.3.1.10 Criterio 10: Procedimiento de validación de la métrica

Los resultados de la revisión indican que el 99% de las métricas carecen de cualquier tipo de validación (ver *Figura 4.13*), aunque el 44% ha presentado al menos una prueba de concepto. Por ejemplo, las métricas propuestas por Zheng *et al.* (2014) no han sido validadas teórica o empíricamente pero los autores presentan un estudio que muestra como se puede medir la usabilidad, disponibilidad y fiabilidad de servicios cloud.

Apenas el 1% de las métricas han sido validadas empíricamente mediante experimentos controlados, casos de estudio o Encuestas. Por ejemplo, Hecht *et al.* (Hecht et al., 2014) presenta un estudio empírico sobre una aplicación REST desplegada en el nube, para investigar el impacto de tres patrones cloud (*Local Database Proxy*, *Local Sharding-Based Router* y *Priority Queue*) sobre la calidad del servicio (QoS) medida utilizando las métricas “tiempo de respuesta” y el “número promedio” y “máximo de solicitudes procesadas por segundo”. Los resultados del estudio muestran que estos patrones no siempre mejoran el tiempo de respuesta pero que el uso combinado de estos patrones mejoran de manera significativa tanto el tiempo de respuesta como el número de solicitudes procesadas. Por lo tanto, el estudio proporciona evidencias sobre el impacto de determinados patrones cloud en los atributos de calidad del servicio. Esta información puede ser de utilidad para el arquitecto software a la hora de diseñar la arquitectura de un servicio cloud.

Aunque existen algunos estudios empíricos, los resultados de la revisión muestran que estos estudios son muy aislados y centrados un conjunto muy reducido de métricas. Por lo tanto, existe la necesidad de estudios empíricos que proporcionan evidencia sobre la utilidad de las métricas propuestas en la literatura para la evaluación de los servicios cloud.

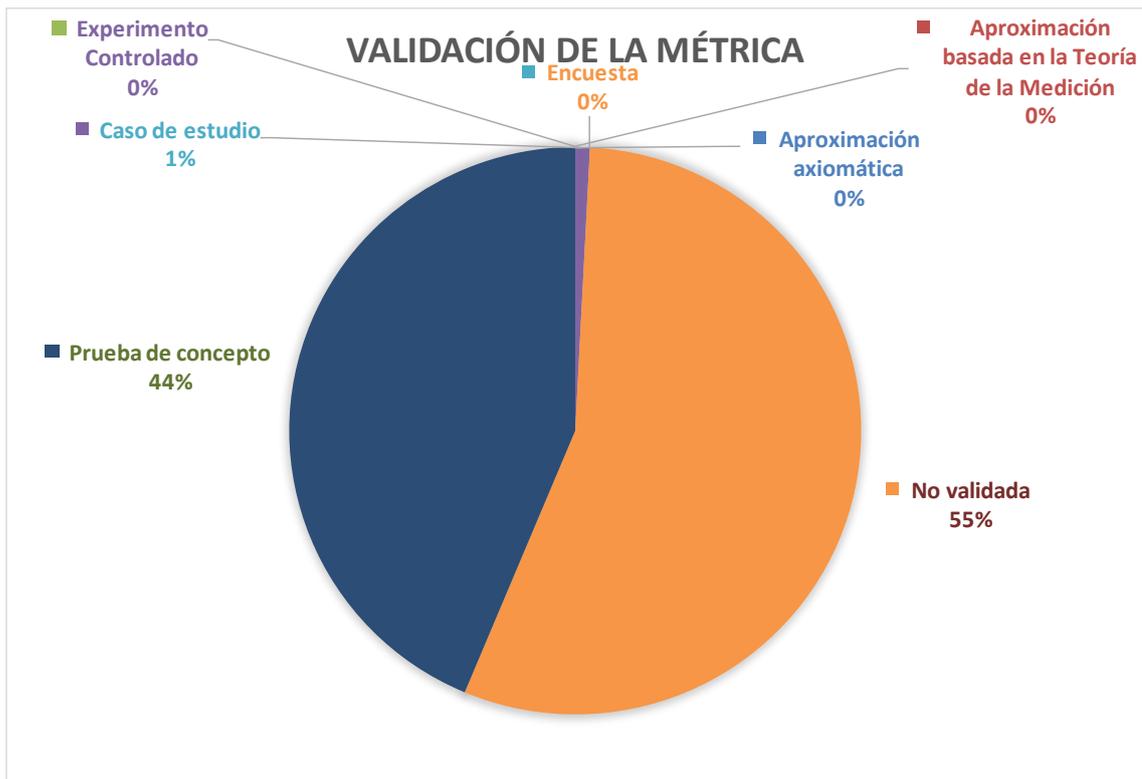


Figura 4.13. Porcentaje del número de métricas por validación de la métrica

4.3.2 Atributos para la evaluación de la calidad de los servicios Cloud

Algunos estudios que hemos identificado, proponen solamente características y atributos, y no sus métricas. Estos han sido 21 artículos, que proponen un total de 208 atributos, que servirán para enriquecer el modelo de calidad que propondremos más adelante, ya que aquí contemplamos dos criterios adicionales:

- Características/atributos específicos cloud (ver Sección 4.3.2.3) y
- Otras Característica/atributos (ver Sección 4.3.2.4).

De esta forma, podemos analizar la visión que tienen los autores sobre la calidad de los servicios cloud (relevancia de las características de calidad genéricas para ese dominio y características de calidad nuevas y específicas del cloud que no fueran contempladas en el estándar ISO/IEC 25010).

A continuación, analizaremos los criterios que hemos usado para estos atributos. En la se presenta el resumen del número de atributos y los porcentajes obtenidos para cada criterio de extracción.

Tabla 4.6. Resultados de los criterios de la extracción de datos para los atributos sin métricas

Criterios de extracción de datos	Posibles respuestas	# Atributos	Porcentaje
Criterio 1. Característica de calidad evaluada			
1.1. Característica de calidad interna/externa			
	Adecuación Funcional	7	4%
	Eficiencia de desempeño	20	13%
	Compatibilidad	3	2%
	Usabilidad	14	9%
	Fiabilidad	30	19%
	Seguridad	47	30%
	Mantenibilidad	4	3%
	Portabilidad	9	6%
1.2. Característica de calidad en uso			
	Efectividad	0	0%
	Eficiencia	0	0%
	Satisfacción	23	14%
	Ausencia de riesgo	2	1%
	Cobertura de contexto	0	0%
Criterio 2. Atributo de calidad evaluado por la métrica			
2.1. Nombre de atributo			
2.2. Tipo de atributo			
	Interno	20	10%
	Externo	158	76%
	En uso	29	14%
Criterio 11. Características/atributos específicos de Cloud			
	Sí	37	18%
	No	168	82%
Criterio 12. Otras características/atributos			
	Sí	13	7%
	No	183	93%

4.3.2.1 Criterio 1: Características de calidad

En cuanto a la característica de calidad, los resultados muestran lo siguiente (ver *Figura 4.14*): los atributos propuestos para la característica de *Seguridad* representan el 30%, la *Fiabilidad* representa el 19%, la *Satisfacción* el 13%, la *Eficiencia de desempeño* el 13%, la *Usabilidad* el 9%, la *Portabilidad* el 6%, la *Adecuación Funcional* el 4%, la *Mantenibilidad* el 3%, la *Compatibilidad* el 2%, y la *Ausencia de Riesgo* el 1%. Los resultados no nos proporcionaron atributos para la *Efectividad*, *Eficiencia*, y la *Cobertura de contexto*. Estos resultados resultan similares a lo que respecta a las características de calidad en uso obtenidas con el formulario de extracción de atributos y métricas, ya que allí tampoco se encontraron atributos relacionados con la *Efectividad* y la *Eficiencia*. Sin embargo, observamos otras discrepancias que indican que aunque los autores creen

que la seguridad es una característica muy importante para los servicios cloud, en la literatura encontramos un número reducido de métricas para evaluarla.

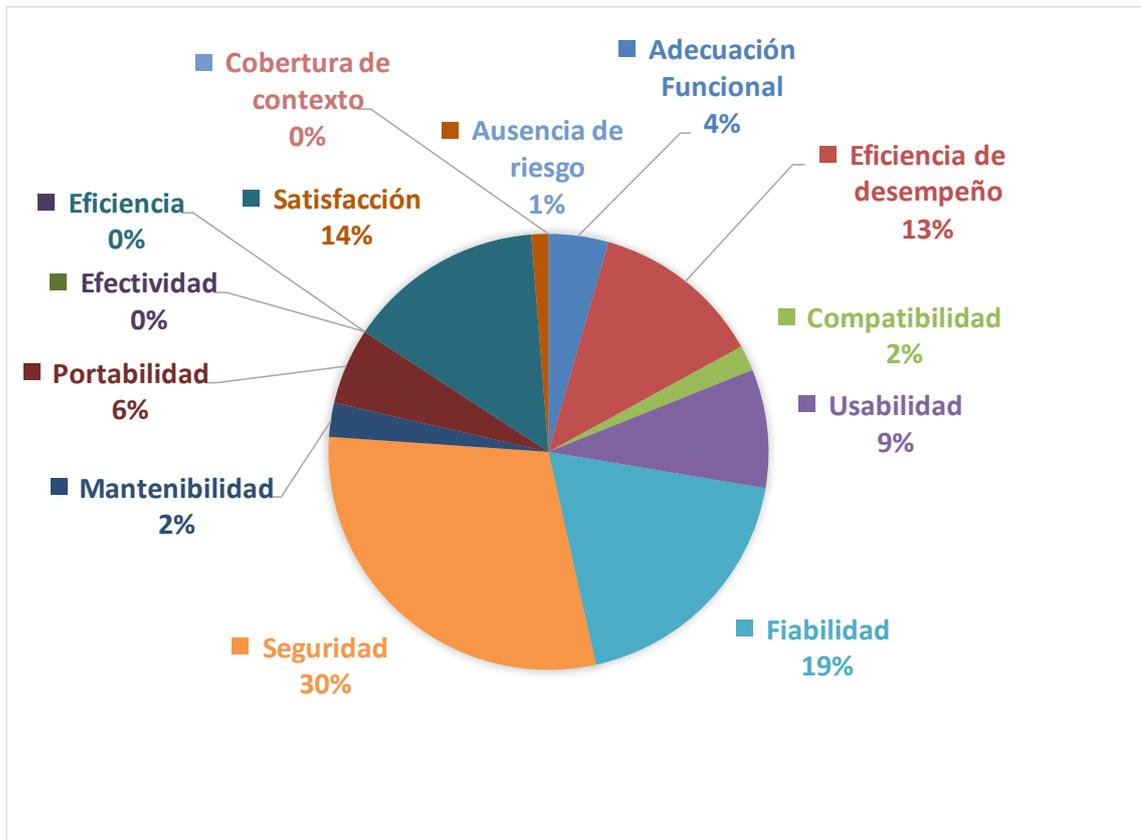


Figura 4.14. Porcentaje del número de atributos por característica de calidad evaluada

4.3.2.2 Criterio 2: Atributos de calidad

Con respecto a los atributos de calidad para servicios cloud propuestos en la literatura, tenemos los siguientes resultados:

La mayoría de estos atributos son de tipo *Externo* (76%), los de tipo *En uso* ocupan el 14% y el otro 10% son atributos de tipo *Interno* (ver Figura 4.15). Ejemplos de atributos externos son la disponibilidad, seguridad y fiabilidad propuestos por Badidi (2013). Como ejemplos de atributos de calidad en uso tenemos la “transparencia”, que la proponen Baliyan y Kumar (2013), Wen y Dong (2013), y Subramanian y Savarimuthu (2016). Ejemplos de atributos internos son el “tiempo de respuesta”, y el “rendimiento” propuestos por Salama *et al.* (2012).

Estos atributos nos servirán para complementar los atributos que recopilamos en el formulario de métricas (ver Tabla 4.7). En la Tabla 4.7 presentamos el listado de los atributos que encontramos, exceptuando los atributos que son iguales a los que recopilamos en la extracción de datos de los atributos y métricas.

Tabla 4.7. Características/atributos complementarios no repetidos

Característica	Atributo
Adecuación funcional	Aislamiento de aplicaciones
	Funcionabilidad
Eficiencia de desempeño	Desempeño
Compatibilidad	Interoperabilidad
Usabilidad	Accesibilidad
	Configuración
	Estética de la interfaz del usuario
	Interface del cliente
	Protección contra errores del usuario
	Reconocimiento apropiado
	Requisitos personales del cliente
	Accesibilidad
Fiabilidad	Configuración
	Capacidad de sensibilidad a la ubicación
	Eficacia
	Recuperabilidad
	Sistema
	Tiempo de disponibilidad
Seguridad	Tolerancia a fallos del software
	Aislamiento de datos
	Aislamiento físico de los datos
	Amenazas comunes de seguridad
	Auditabilidad
	Auditoría de datos
	Cifrado de datos
	Confidencialidad
	Control de acceso
	Cumplimiento de la seguridad de datos
	Fiabilidad de datos
	Gestión de Seguridad
	Gobernancia
	No repudio
	Plan de gestión de negocios
	Privacidad
	Privacidad de datos
	Proactiva contra amenazas y gestión de vulnerabilidades
	Pruebas de penetración
	Retención/Disposición
Seguridad ambiental	
Seguridad de cumplimiento	
Seguridad de la red	
Seguridad del host	

Característica	Atributo
	Seguridad en el ciclo de vida del desarrollo del software
	Seguridad en el punto final
	Seguridad física
	Seguridad física y ambiental
	Transmisión de datos cifrados
	Trazabilidad
Mantenibilidad	Mantenibilidad
Portabilidad	Agilidad
Satisfacción	Autoservicio
	Conformidad
	Experiencia de contratación
	Facilidad de hacer negocios
	Iniciativa
	Interacción
	Mensurabilidad
	Oportunidad
	Profesionalismo
Prueba gratis	
Ausencia de riesgo	Retorno de la inversión



Figura 4.15. Porcentaje del número de atributos por el tipo

4.3.2.3 Criterio 11: Características/atributos específicos de Cloud

En relación con las características/atributos específicos de cloud encontrados en esta revisión, hemos conseguido recopilar los siguientes (ver Figura 4.16): la elasticidad, la estabilidad del servicio, la transparencia, el multi-alquiler, la automatización de la infraestructura virtual, la cadena de suministro del proveedor, la capacidad de sensibilidad a la ubicación, la capacidad de servicio, la certificación, la certificaciones del proveedor, el contrato del proveedor/verificación del SLA, la estabilidad de la actividad del proveedor, la ética del proveedor, la evaluación del proveedor, la facilidad de soporte al cliente, la flexibilidad, la gestión del SLA, las plataformas soportadas, el proceso de pago, la propiedad, los requisitos personales del proveedor, el SLA, el soporte de sistemas operativos, el soporte del proveedor, la técnica de la virtualización, la utilidad, y el valor del servicio.

Podemos observar que la mayoría de estas características y atributos están orientadas a medir aspectos relacionados a la naturaleza dinámica de estos servicios como la elasticidad y escalabilidad y otros aspectos relacionados a la gestión del SLA. De todos estos atributos los que con más frecuencia han sido propuestos son: la elasticidad, que aparece en un 14% de los estudios, la estabilidad del servicio que aparece un 11%, la transparencia que aparece un 8% y la automatización de la infraestructura virtual que aparece un 5%.

Estas características/atributos nos permitirán enriquecer nuestro modelo de calidad para servicios cloud, ya que además de las características que propone la ISO/IEC 25010, contaremos con las características/atributos específicos que los autores proponen para los servicios cloud.

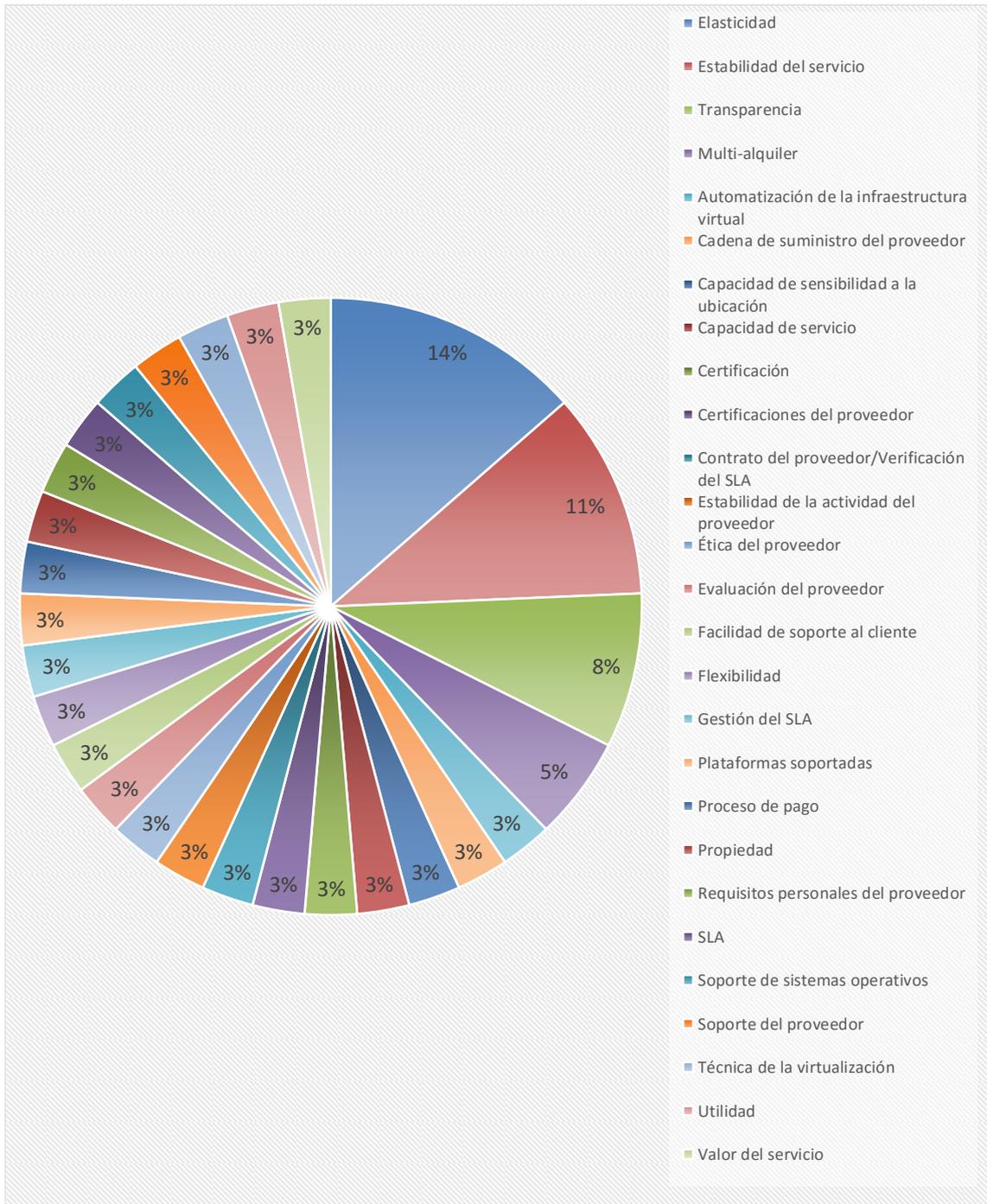


Figura 4.16. Características/atributos específicos de Cloud

4.3.2.4 Criterio 12: Otras características/atributos

A continuación, presentamos una recopilación de otras características/atributos que no son específicas para los servicios cloud, pero que tampoco se recogen en el estándar SQuaRE (ver Figura 4.17). Estos son: el costo, la sostenibilidad, la agilidad financiera, la contabilización, el costo total de la propiedad, la estructura financiera, la extensibilidad y la amigabilidad ambiental.

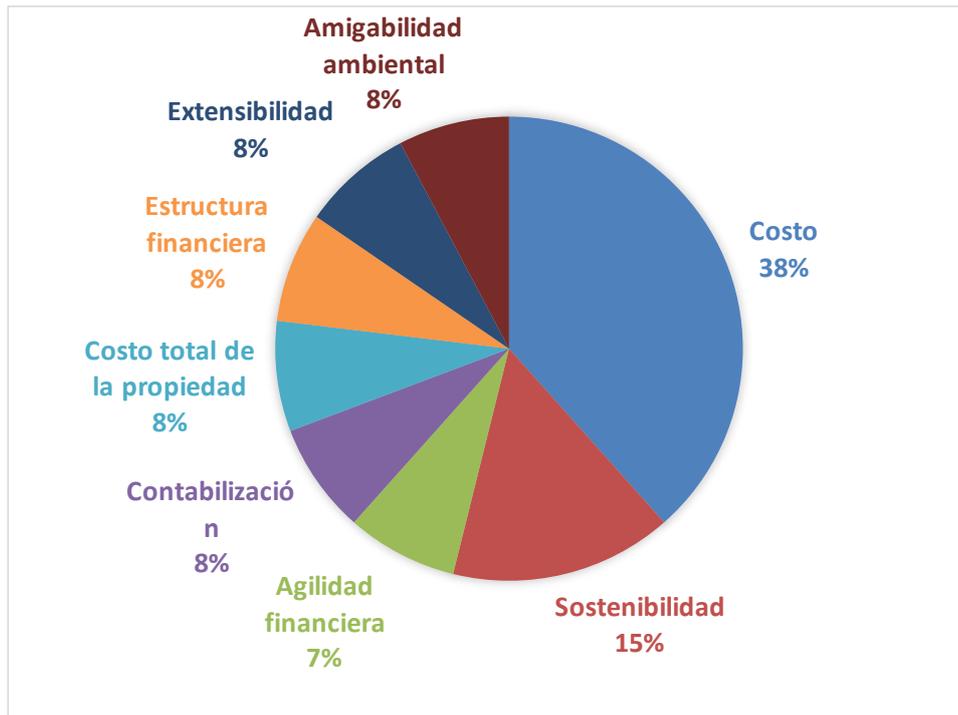


Figura 4.17. Otras características/atributos

De todos estos atributos los que con más frecuencia han sido propuestos como relevantes para el dominio cloud son: el costo, que aparece en un 38% de los estudios y la sostenibilidad que aparece un 15%. Aunque el costo es una característica ortogonal a la calidad, en el dominio cloud adquiere una relevancia ya que estos servicios se utilizan bajo demanda o pago por uso. Por lo tanto, el precio del servicio juega un rol crucial en la selección y uso del servicio por parte de los consumidores, afectando directamente a métricas de carácter económico como el “coste total del servicio”, el “coste por recurso de componente”, el “coste de un tiempo fijo” de uso del servicio, etc (Bardsiri et al. 2014).

Por otra parte, con respecto a la sostenibilidad, observamos una tendencia, cada vez más generalizada, que pone de manifiesto la necesidad de que el software que construimos, además, sea sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Muchos autores consideran cloud computing como una de las TIC más sostenibles y eficientes desde el punto de vista ambiental (por basada en un conjunto de recursos informáticos compartidos), de ahí la necesidad de contar con mecanismos que permitan medir el grado de sostenibilidad de los servicios cloud.

4.4 Discusión

En esta sección se recopilan los principales hallazgos de esta revisión sistemática y se presentan las limitaciones que podrían representar amenazas a la validez de la revisión sistemática.

4.4.1 Principales hallazgos

Se ha realizado una revisión sistemática de la literatura con el propósito de identificar y analizar información relevante sobre las métricas y atributos propuestos y/o utilizados por los investigadores en los últimos años para la evaluación de la calidad de los servicios cloud. Los atributos y métricas han sido utilizados para construir un modelo de calidad alineado con la ISO/IEC 25010. Los principales hallazgos de esta revisión son:

- En la mayoría de los artículos, las evaluaciones tienen lugar en la fase de operación (es decir, una vez que el servicio haya sido desplegado en el cloud). Además, es muy común aplicar evaluaciones solo en una única fase del ciclo de vida del servicio.
- La mayoría de las métricas están diseñadas para SaaS e IaaS.
- La mayoría de las métricas miden características y atributos relacionados con la eficiencia del y la fiabilidad y son del tipo cuantitativo.
- Los puntos de vista bajo los cuales se evalúan las métricas son en su mayoría el proveedor del servicio y el consumidor del servicio.
- Existe una escasez de herramientas que facilite el cálculo de las métricas y la evaluación de los atributos de calidad.
- La mayoría de las métricas se aplican sobre el servicio cloud (en fase de pruebas o durante la monitorización de la calidad del servicio por parte de los proveedores). Existe una escasez de métricas que sean aplicables en las primeras etapas (por ejemplo, especificaciones del servicio o la arquitectura del servicio cloud).
- Que existen varias características y atributos de calidad propios de los servicios cloud que no están reflejados en la ISO/IEC 25010 y que existe la necesidad de definir nuevas métricas para medirlos.
- Casi todas las métricas identificadas no presentan ningún tipo de validación acerca de su utilidad. Existe la necesidad de estudios empíricos que proporcione evidencia empírica sobre la utilidad de dichas métricas.
- En la actualidad, la evaluación de la calidad de las aplicaciones y servicios cloud es un tema de gran relevancia e interés creciente donde varias disciplinas están implicadas (cloud computing, computación orientada a servicios, ingeniería del software, etc.).

4.4.2 Amenazas a la validez

Las principales limitaciones que presenta esta revisión sistemática son: el sesgo de publicación, el sesgo de selección, la inexactitud en la extracción de datos, y los errores de clasificación (Kitchenham & Charters, 2007).

El sesgo de publicación se refiere a que los resultados positivos tienen más probabilidades de ser publicados que los resultados negativos, ya que estos resultados negativos tardan más en ser publicados o son menos citados en otras publicaciones. Para mitigar esta amenaza, en la medida de lo posible, se revisaron algunas actas de conferencias y revistas relevantes en el área. Sin embargo, no se ha considerado la literatura gris (tesis e informes técnicos), artículos de carácter industrial, y los trabajos en proceso. Este hecho podría afectar a la validez de los resultados obtenidos en esta revisión.

El sesgo de selección se refiere a la distorsión del análisis estadístico realizado basándonos en los criterios de selección de los artículos. Para mitigar esta amenaza, en la medida de lo posible, se han elegido fuentes bibliográficas donde los artículos que tratan sobre servicios Cloud suelen ser publicados usualmente.

La inexactitud en la extracción de datos y los errores de clasificación se refieren a la variación introducida por el revisor a la hora de llevar a cabo dichas actividades. Para mitigar esta amenaza, al menos en cierta medida, se realizó la extracción y clasificación de los documentos por tres revisores, y las discrepancias se ha resuelto por consenso.

5. Modelo de Calidad

En este capítulo, se propone un modelo de calidad específico para servicios cloud a partir de los de la revisión sistemática. Esta propuesta se ha realizado dentro del marco del estándar de calidad actual propuesto por la ISO/IEC 25010 (SQuaRE). El desarrollo del modelo de calidad propuesto consiste en las siguientes actividades: definición de objetivos, especificación de características de calidad, especificación de relaciones, y la operacionalización del modelo mediante métricas. Estas actividades son descritas a continuación.

5.1 Definición de los objetivos de calidad

En esta actividad, tratamos las características que debería cubrir la evaluación y otros temas relacionados con el modelado de la calidad tales como los objetos (artefactos) y los stakeholders (puntos de vista) que deben ser claramente definidos. Para ello, utilizamos el paradigma *Goal-Question-Metric (GQM)*, que es una técnica definida por Basili y Weiss (1984) y extendida posteriormente por Rombach (1990), para seleccionar y generar métricas tanto del proceso como de los resultados de un proyecto. Esta técnica define un objetivo, el cual se refina en preguntas y métricas que intentan dar información para responder a estas preguntas. Siguiendo esta técnica, los objetivos de nuestro modelo de calidad se resumen en la *Tabla 5.1*.

Tabla 5.1. Definición de los objetivos del modelo de calidad

	Descripción	Definición
Objeto	¿Qué artefacto(s) debe(n) ser analizado(s)?	Especificación del servicio cloud, Arquitectura del servicio cloud, Servicio cloud.
Propósito	¿Por qué debería ser el objeto analizado?	Para evaluar su calidad y proporcionar retroalimentación al diseño y al servicio.
Enfoque de la calidad	¿Qué características del objeto deben ser analizadas?	Las características definidas en el estándar de calidad SQuaRE y las propias de los servicios cloud.
Punto de vista	¿Quién utilizará la información recogida?	Proveedor del servicio cloud, Facilitador del servicio cloud, Consumidor del servicio cloud, Cliente Final del servicio cloud, Desarrollador del servicio cloud.
Contexto	¿En qué entornos se realiza el análisis?	En el contexto de los investigadores y profesionales de la industria.

Los **objetos** que deben ser analizados son todos aquellos artefactos que están implicados activamente en el desarrollo y en la puesta en marcha del servicio cloud. El modelo de calidad debe proporcionar mecanismos para cubrir la evolución de los

artefactos producidos durante todas las fases del ciclo de vida del servicio cloud (desde la especificación de los requisitos del servicio cloud hasta su retiro).

Con respecto a la especificación del servicio cloud, los artefactos son los propios de la fase de requisitos (modelo de requisitos, modelo de clases, etc.) y deben especificar los requisitos del servicio cloud, añadiendo, si procede, nuevos requisitos que conforman las características propias del servicio. Por lo tanto, el modelo debería proporcionar atributos y métricas para evaluar la calidad de la especificación del servicio cloud.

La arquitectura del servicio cloud es otro artefacto que debe evaluarse. Los errores que pudieran cometerse en la especificación de la arquitectura podrían impactar en la puesta en marcha del servicio cloud. Por este motivo la evaluación de este artefacto es muy importante.

Finalmente, el modelo de calidad debe proporcionar atributos y métricas para evaluar el servicio cloud en la fase de pruebas (calidad interna y externa) y cuando esté desplegado en la nube y siendo utilizado por los usuarios (calidad en uso). De esta forma, se puede evaluar la calidad del servicio que se está ejecutando.

El **propósito** del modelo de calidad, además de evaluar la calidad, también pretende asegurarla y ofrecer retroalimentación al diseño. Por lo tanto, el modelo de calidad debería ser utilizado como parte de un método de evaluación que asegure la calidad de los artefactos evaluados. En la retroalimentación del diseño del servicio cloud se debe indicar qué partes de la especificación, arquitectura, servicio, deben ser modificadas para garantizar los atributos de calidad deseados.

El **enfoque de la calidad** se refiere a las características que deben ser evaluadas para un dominio concreto, y estas serán descritas en un modelo que descompone el estándar SQuaRE para servicios cloud, ya que uno de los objetivos del modelo de calidad es que siga dicho estándar. Adicionalmente se pretende que el modelo recoja las características que sean propias de los servicios cloud.

El modelo de calidad se define desde los **puntos de vista** del proveedor, facilitador, consumidor, cliente final y desarrollador del servicio cloud. Estos son actores que intervienen en el ciclo de vida del servicio cloud. Uno de los objetivos es que el modelo de calidad sea comprensible y sencillo de utilizar, para que pueda ser extensamente empleado por estos actores.

El **contexto** en el cual se define el modelo de calidad es en el del grupo de investigación en Ingeniería del Software y Sistemas de Información (ISSI) bajo el marco del Proyecto del Plan Nacional y debe esperarse que pueda ser utilizado por otros investigadores y por profesionales de la industria para evaluar la calidad de sus servicios.

5.2 Especificación de las características de calidad

La especificación del modelo de calidad para servicios cloud propuesto parte de la descripción de las ocho características de calidad internas/externas y de las cinco características de calidad en uso de primer nivel del estándar de calidad SQuaRE para la evaluación del producto software (ISO/IEC 25010, 2011). Un producto software está definido en un sentido amplio como los ejecutables, código fuente, descripciones de arquitectura, documentación, etc. Como resultado, la noción de usuario se amplía tanto a operadores como a programadores, usuarios de componentes y el arquitecto software.

La ISO/IEC 25010 plantea un modelo de calidad en dos niveles: características que son descompuestas en subcaracterísticas. A partir de este modelo genérico, en este trabajo, se han incluido atributos medibles que puedan cuantificar los valores de las características. Un atributo es medible cuando es posible definir una o más métricas para cuantificarlos. Además, se han incluido las métricas para medir estos atributos.

5.2.1 Características de calidad internas/externas (QoS)

5.2.1.1 Adecuación funcional

La adecuación funcional representa la capacidad del servicio cloud para proporcionar funciones que satisfacen las necesidades declaradas e implícitas, cuando el servicio se usa en las condiciones especificadas (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011).

Esta característica se subdivide a su vez en las siguientes subcaracterísticas: *completitud funcional* (grado en que el conjunto de funcionalidades cubre todas las tareas y los objetivos de los usuarios), *corrección funcional* (capacidad del servicio para proveer resultados correctos con el nivel de precisión requerido) y *pertinencia funcional* (capacidad del servicio para proporcionar un conjunto apropiado de funciones para objetivos y tareas de los usuarios especificados).

A continuación, detallaremos en la Tabla 5.2 los atributos recopilados para esta característica, con sus respectivas métricas.

Tabla 5.2. Atributos y métricas de la característica adecuación funcional

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Capacidad computacional del recurso del servicio cloud	Se define como el grado en el que el recurso se ejecuta en el tiempo esperado.	Capacidad computacional del recurso	[S61]
Exactitud del servicio cloud	Indica cuán cerca están los valores resultantes de los esperados por el usuario.	Frecuencia de la exactitud	[S23], [S28]
		Valor de pertenencia	[S28]
		Valor de precisión	[S23]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
		Exactitud esperada	[S61]
		Complejidad total	[S61]
		Defectos por servicio cloud	[S61]
Ideonidad del servicio cloud	Es el grado en que se cumplen los requisitos de un cliente por un proveedor del servicio cloud.	Ideonidad de características no esenciales	[S23]
Consistencia del servicio cloud	Se puede definir como cualquier desviación de los valores prometidos.	Consistencia a través de varias instancias	[S66]
		Consistencia durante un período de tiempo	[S66]

5.2.1.2 Eficiencia de desempeño

Esta característica representa el desempeño relativo del servicio en relación a la cantidad de recursos utilizados bajo determinadas condiciones (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011). Esta característica se subdivide a su vez en *comportamiento temporal* (tiempo de respuesta y procesamiento y ratios de *throughput* del servicio), *utilización de recursos* (cantidades y tipos de recursos utilizados cuando se utiliza el servicio cloud) y *capacidad* (grado en que los límites máximos de un parámetro del servicio cumple con los requisitos). A continuación, detallaremos en la Tabla 5.3 los atributos recopilados para esta característica, con sus respectivas métricas.

Tabla 5.3. Atributos y métricas de la característica eficiencia de desempeño

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Ancho de banda de la arquitectura cloud	Representa los datos y recursos de comunicación disponibles o consumidos.	Ancho de banda la red	[S14]
Ancho de banda del servicio cloud	Representa los datos y recursos de comunicación disponibles o consumidos.	Ancho de banda la red	[S61]
		Disponibilidad del ancho de banda	[S03]
		Tasa de bloqueo de ancho de banda	[S03]
Capacidad del servicio cloud	Se define como el límite superior de la cantidad de solicitudes que un servicio es capaz de procesar.	Capacidad de un servicio cloud	[S28]
		Tasa de rechazo del trabajo neto	[S26]
		Media del número de trabajos	[S26]
		Base de datos de copia de seguridad	[S61]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
		para cada servicio cloud	
Capacidad del proveedor del servicio cloud	Significa la máxima cantidad de recursos que un proveedor de servicios puede proporcionar en las horas punta.	Capacidad del CPU	[S08]
		Capacidad de la memoria	[S08]
		Capacidad de almacenamiento	[S08]
		Capacidad de la red	[S08]
		Capacidad del proveedor del servicio	[S08]
Capacidad latente del servicio cloud	Representa la cantidad de capacidad computacional disponible sin necesidad de encender nuevos <i>hosts</i> .	Promedio de capacidad de la CPU libre de todos los <i>hosts</i> que se ejecutan	[S28]
Carga de procesamiento variable del servicio cloud	Se refiere al cambio en el balanceo de carga de los trabajos entre varios recursos.	Carga de procesamiento variable	[S61]
		Cambio en el equilibrio de carga	[S61]
Costo de la energía del servicio cloud	Representa el consumo de energía por cada <i>host</i> .	Costo de la energía	[S28]
Costo en curso del servicio cloud	Representa el costo a nivel computacional del servicio.	Comunicación de datos	[S23]
		Almacenamiento de datos	[S23]
		Uso computacional	[S23]
		Costo	[S74]
		Costo de almacenamiento	[S11]
		Tasa de sobrecarga del sistema	[S75]
Desempeño de la CPU del servicio cloud	Representa la calidad en tiempo real de aprovisionamiento de la CPU en entornos virtualizados.	Tiempo de no disponibilidad real de la CPU	[S46]
		Número de núcleos de la CPU	[S46]
		Coefficiente de rendimiento de la CPU	[S46]
Desempeño de la transmisión de datos del servicio cloud	Se refiere a la calidad de servicio para la transferencia de datos de un servicio a otro.	Velocidad de transmisión de datos alcanzada	[S57]
		Clasificación de los usuarios	[S67]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Desempeño de los centros de datos del servicio cloud	Considera el fracaso y la reparación de los centros de datos con el fin de obtener mediciones de calidad de servicio más realistas.	Media de la longitud de la cola	[S37]
		Disponibilidad en el tiempo	[S12]
		Probabilidad de servicio instantáneo en el tiempo	[S12]
Desempeño de los servicios Web del servicio cloud	Representa el desempeño de los servicios remotos.	Tasa de descarga de la página	[S07]
Desempeño de algoritmos de búsqueda	Tiene como objetivo determinar suscripciones coincidentes con alta prioridad.	Tiempo de finalización	[S51]
		Tiempo de brecha	[S51]
		Intervalo de tiempo	[S51]
		Tiempo de preparación	[S51]
Desempeño de la infraestructura del servicio cloud	Compara el servicio cloud en áreas específicas para averiguar cómo el servicio se está realizando.	Normalización del rendimiento-coste	[S66]
		Rendimiento	[S66]
		Coste total	[S66]
Desempeño de la máquina virtual	Proporciona una visión específica del rendimiento de la máquina virtual.	Rendimiento de la CPU	[S81]
		Rendimiento del disco (I/O)	[S81]
		Rendimiento de la memoria	[S81]
		Media del tiempo de respuesta	[S81]
		Variabilidad a través de la desviación estándar relativa	[S81]
		Tiempo de aprovisionamiento	[S81]
Desempeño de la transmisión de vídeo	Se refiere a la calidad de servicio para la transferencia de vídeo de un servicio a otro.	Puntuación de la calidad de vídeo	[S60]
		Frecuencia del cambio de calidad	[S60]
		Tiempo inicial del búfer	[S60]
		Duración media del búfer	[S60]
		Frecuencia de re-búfer	[S60]
Desempeño del servidor del servicio cloud	Representa el conjunto de cargas de trabajo a un tipo de servidor de	Número de confirmaciones por segundo	[61]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
	los centros de datos pertinentes.	MB por segundo	[61]
		Número de nuevos pedidos por segundo	[61]
		Número de acciones por minuto	[61]
		Número de accesos por segundo	[61]
Desempeño de los patrones cloud del servicio cloud	Tiene como objetivo evaluar la eficiencia de los patrones cloud.	Tiempo de respuesta	[S30]
		Promedio del número de consultas	[S30]
		Número máximo de consultas procesadas por segundo	[S30]
Eficiencia energética del servicio cloud	Se refiere a la utilización de menos energía para producir la misma cantidad de servicios.	Potencia consumida por la CPU	[S32]
		Consumo total de energía	[S32]
		Eficiencia energética a nivel de nodo para los proveedores de IaaS	[S34]
		Eficiencia energética a nivel de infraestructura para los proveedores de IaaS	[S34]
		Eficiencia energética a nivel de máquina virtual para los proveedores de IaaS	[S34]
		Eficiencia energética a nivel de servicio de los proveedores de SaaS	[S34]
Eficiencia de la respuesta	Representa la eficiencia de respuesta sobre todos los trabajos presentados durante un período de tiempo.	Eficiencia de respuesta	[S25]
		Eficiencia de respuesta de un recurso	[S45]
Eficiencia del servicio cloud	Es una medida de lo bien que un servicio utiliza los recursos.	Eficiencia de un proveedor del servicio	[S08]
		Eficiencia del sistema	[S23]
		Eficiencia global	[S41]
		Utilización de recursos	[S40]
		Comportamiento temporal	[S40]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
		Eficiencia de un servicio	[S40]
Eficiencia del tiempo de respuesta del servicio cloud	Define qué tan bien un proveedor puede proporcionar el tiempo de respuesta a un usuario.	Eficiencia del tiempo de respuesta de un proveedor de SaaS	[S41]
Finura del control de flujo del servicio cloud	Tiene como objetivo proporcionar un análisis cuantitativo de la calidad de servicio a los dispositivos de usuario final.	Energía de impacto	[S80]
		Potencia de impacto	[S80]
		Finura de multiplexación	[S80]
Fluctuación de la arquitectura cloud	Representa la variación en el tiempo entre llegadas de paquetes causadas por congestión de la red, desviación de la temporización, o cambios de ruta.	Fluctuación	[S14]
Fluctuación del servicio cloud	Representa la variación en el tiempo entre llegadas de paquetes causadas por congestión de la red, desviación de la temporización, o cambios de ruta.	Fluctuación	[S38], [S50]
		Probabilidad de la fluctuación de transcodificación	[S52]
Intervalo de tiempo del servicio cloud	Tiene como objetivo ejecutar los recursos solicitados por un cliente, que no tenga suficiente presupuesto, cuando existan segmentos de tiempo disponible por el lado del proveedor.	Función de utilidad intervalo de tiempo	[S63]
Latencia del servicio cloud	Representa el tiempo necesario para que la solicitud de un usuario pueda ser manejada por el servicio competente.	Latencia	[S28], [S61]
		Latencia de acceso del búfer	[S20]
		Retraso de las reacciones de ida y vuelta	[S73]
Número de solicitudes del servicio cloud	Se refiere al número de solicitudes que se le hacen en el sistema cuando está en espera o en ejecución.	Número medio de solicitudes	[S43]
		Radio Accesibilidad a internet	[S61]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Persistencia del servicio cloud	Se define como el número de períodos de tiempo requeridos para una determinada proporción de las incertidumbres totales en un servicio.	Persistencia	[S61]
Pérdida de paquetes del artefacto cloud	Representa el grado de los paquetes perdidos con respecto a los paquetes enviados.	Número de paquetes perdidos	[S14]
Pérdida de paquetes del servicio cloud	Representa el grado de los paquetes perdidos con respecto a los paquetes enviados.	Probabilidad de pérdida de paquetes	[S38]
Rechazo de solicitud del servicio cloud	Representa la probabilidad de rechazo de una solicitud al servicio.	Probabilidad de rechazo	[S75]
Rendimiento (<i>Throughput</i>) del servicio cloud	Representa la cantidad del trabajo completado contra el tiempo consumido.	Rendimiento del servicio	[S36]
		Rendimiento de un proveedor de servicio	[S08]
		Rendimiento total de un servicio cloud	[S23]
		Rendimiento	[S28], [S33], [S50], [S77]
Tasa de utilización del servicio cloud	Representa el grado de uso del servicio.	Tasa de utilización del servicio	[S36]
		Tasa de autoservicio del usuario	[S61]
Tiempo de ejecución del artefacto cloud	Representa el tiempo que tarda en ejecutarse una tarea.	Tiempo de iteración del bucle principal	[S29]
		Tiempo dedicado al motor de físicas	[S29]
		Tiempo dedicado al motor de renderizado	[S29]
Tiempo de ejecución del servicio cloud	Representa el tiempo que tarda en ejecutarse una tarea.	Tiempo de transferencia de datos	[S11]
		Tiempo de ejecución	[S11], [S19], [28]
		Tiempo de servicio esperado	[S12]
Tiempo de espera del servicio cloud	Representa el tiempo que se toma en procesar una solicitud.	Tiempo de espera	[S12], [S74]
Tiempo de respuesta del servicio cloud	Representa la diferencia entre el tiempo de la solicitud de servicio y el tiempo	Tiempo promedio del tiempo de respuesta	[S23], [S28], [S43]
		Tiempo de respuesta del juego	[S70]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
	cuando el servicio está disponible.	Tiempo de respuesta máximo	[S23], [S28]
		Tiempo de respuesta recomendado del servicio	[S17]
		Tiempo de respuesta	[S08], [S28], [S33], [S35], [S36], [S64], [S77]
		Tiempo esperado de finalización de la respuesta	[S75]
		Fallo en el tiempo de respuesta	[S23], [S28]
		Tiempo de respuesta en SLA	[S76]
		Percentil del tiempo de respuesta	[S77]
		Peso de acuerdo a las preferencias del usuario	[S16]
Tiempo de retraso del servicio cloud	Representa el retraso esperado entre el momento en que se envía una solicitud al servicio y al momento en que se reciben los resultados del servicio.	Tiempo de retraso	[S14], [S22], [S38], [S50], [S57]
Ubicación del centro de datos del servicio cloud	Representa la distancia entre la ubicación del centro de datos y la ubicación del servicio esperado.	Centro de datos	[S08]
		Número de centro de datos	[S08]
		Distancia	[S08]
Utilidad del desempeño del servicio cloud	Representa el nivel de satisfacción de las limitaciones de recursos provisionados.	Utilidad de desempeño por solicitud	[S74]
		Función de utilidad de desempeño	[S04]
		Utilidad de desempeño de los servicios	[S63]
Utilización de recursos del servicio cloud	Se refiere a la fracción de tamaño de recurso que está asignado para servir las peticiones de los usuarios.	Utilización del recurso	[S35]
		Utilización	[S12], [S77]
Violación del Acuerdo de Nivel de Servicio (SLA) del servicio cloud	Representa la evaluación de las violaciones del Acuerdo de Nivel de	Violación del SLA	[S24]
		Tiempo por host activo de la violación del SLA	[S24]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
	Servicio para garantizar la calidad del servicio para los clientes.	Degradación del desempeño debido a las migraciones	[S24]

5.2.1.3 Compatibilidad

La compatibilidad es la capacidad de dos o más servicios para intercambiar información y/o llevar a cabo sus funciones requeridas cuando comparten el mismo entorno hardware o software (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011).

Esta característica se subdivide a su vez en las siguientes subcaracterísticas: *coexistencia* (capacidad del servicio para coexistir con otro servicio, en un entorno común, compartiendo recursos comunes) e *interoperabilidad* (capacidad de dos o más servicios para intercambiar información y utilizar la información intercambiada). En el ámbito cloud, la interoperabilidad también se puede definir como la habilidad de usar otros servicios que puede ser del mismo o proveedores distintos.

A continuación, detallaremos en la Tabla 5.4 los atributos recopilados para esta característica, con sus respectivas métricas.

Tabla 5.4. Atributos y métricas de la característica compatibilidad

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Acceso móvil del servicio cloud	Si el servicio dispone de compatibilidad con el acceso móvil.	Puntuación dada por el usuario	[S67]
Compuestabilidad del servicio cloud	Indica cuán fácil y eficaz es la personalización del servicio a las necesidades específicas de los usuarios.	Modularidad del servicio	[S23]
		Interoperabilidad del servicio	[S23], [S48]
		Compuestabilidad	[S48]

5.2.1.4 Usabilidad

La usabilidad es la capacidad del servicio cloud para ser entendido, aprendido, usado y resultar atractivo para el usuario, cuando se usa bajo determinadas condiciones (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011).

Esta característica se subdivide a su vez en las siguientes subcaracterísticas: *capacidad para reconocer su adecuación* (capacidad del servicio que permite al usuario entender si es adecuado para sus necesidades), *capacidad de aprendizaje* (capacidad del servicio que permite al usuario aprender su utilización), *Capacidad para ser usado* (capacidad del servicio que permite al usuario operarlo y controlarlo con facilidad), *protección contra errores de usuario* (capacidad del servicio para proteger a los usuarios

de cometer errores), *estética de la interfaz de usuario* (capacidad de la interfaz de usuario de agradar y satisfacer la interacción con el usuario) y *accesibilidad* (capacidad del servicio que permite que sea utilizado por usuarios con determinadas discapacidades).

A continuación, detallaremos en la Tabla 5.5 los atributos recopilados para esta característica, con sus respectivas métricas.

Tabla 5.5. Atributos y métricas de la característica usabilidad

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Capacidad de instalación del servicio cloud	Representa el esfuerzo del usuario para instalar el servicio.	Tiempo medio experimentado por los usuarios anteriores para instalar	[S23]
Características del servicio cloud	Representa la utilidad de las características ofrecidas por el servicio.	Puntuación dada por el usuario	[S67]
Comprensibilidad del servicio cloud	Representa el esfuerzo del usuario para entender el servicio.	Tiempo medio experimentado por los usuarios anteriores de entender	[S23]
Operabilidad del servicio cloud	Representa el esfuerzo del usuario para operar el servicio.	Tiempo medio experimentado por los usuarios anteriores para operar	[S23]
Facilidad de aprendizaje del servicio cloud	Representa el esfuerzo del usuario para aprender el servicio.	Tiempo medio experimentado por los usuarios anteriores para aprender	[S23], [S61]
Tasa de éxito del servicio cloud	Representa el grado de éxito del usuario al realizar las operaciones disponibles por el servicio.	Tasa de éxito	[S61]
Usabilidad del servicio cloud	Representa la facilidad con que un servicio puede ser usado.	Usabilidad	[S82], [S83]

5.2.1.5 Fiabilidad

La fiabilidad es la capacidad de un servicio cloud para desempeñar las funciones especificadas, cuando se usa bajo unas condiciones y periodo de tiempo determinados (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011).

Esta característica se subdivide a su vez en las siguientes subcaracterísticas: *madurez* (capacidad del servicio para satisfacer las necesidades de fiabilidad en condiciones normales), *disponibilidad* (capacidad del servicio de estar operativo y accesible para su uso cuando se requiere), *tolerancia a fallos* (capacidad del servicio para operar según lo previsto en presencia de fallos hardware o software), *capacidad de recuperación* (capacidad del servicio para recuperar datos directamente afectados y reestablecer el estado deseado del servicio en caso de interrupción o fallo). A continuación, detallaremos en la Tabla 5.6 los atributos recopilados para esta característica, con sus respectivas métricas.

Tabla 5.6. Atributos y métricas de la característica fiabilidad

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Continuidad de la especificación cloud	Representa el grado en que un servicio se proporciona en todas las circunstancias, incluyendo la mitigación de los riesgos a un nivel razonable y la recuperación del negocio después de la suspensión.	Prontitud de la preparación de emergencias para las empresas claves	[S84]
Continuidad del servicio cloud	Representa el grado en que un servicio se proporciona en todas las circunstancias, incluyendo la mitigación de los riesgos a un nivel razonable y la recuperación del negocio después de la suspensión.	Tasa de reparación de accidentes	[S84]
		Prontitud de la preparación de emergencias para las empresas claves	[S84]
Confianza (<i>Dependability</i>) del servicio cloud	Representa el grado en el que el servicio cumple bien sus objetivos bajo condiciones externas no controladas.	Confianza	[S53]
Constancia del servicio cloud	Representa el grado en el que el servicio es tolerante a fallos, y que a la vez se recupera de ellos.	Tolerancia a fallos	[S48]
		Recuperación de fallas	[S48]
Complejidad servicio cloud	Representa el grado en que un servicio es compatible con todas las tareas y los	Complejidad de conjunto variante	[S48]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
	objetivos especificados por el cliente.		
Disponibilidad del servicio cloud	Representa el grado en que un servicio está disponible y accesible cuando se requiere para su uso.	Disponibilidad del servicio	[S07], [S09], [S12], [S13], [S22], [S23], [S25], [S28], [S31], [S36], [S61], [S63], [S68], [S77], [S81], [S82], [S83]
		Disponibilidad del servicio compuesto	[S09]
		Disponibilidad del recurso	[S45]
		Disponibilidad del servicio Web	[S48]
		Tiempo fuera de línea	[S13]
		Media de la longitud de cola	[S37]
		Tiempo medio entre fallos	[S61]
		Tiempo medio hasta el fallo	[S61]
		Tiempo medio para recuperar	[S36]
		Porcentaje del tiempo en línea	[S84]
		Puntuación dada por el usuario	[S16], [S67]
		Eficiencia de la disponibilidad del servicio cloud	Define qué tan bien un proveedor puede proporcionar disponibilidad a un usuario.
Eficiencia de la fiabilidad del servicio cloud	Define qué tan bien un proveedor puede proporcionar fiabilidad a un usuario.	Eficiencia de la fiabilidad de un proveedor de SaaS	[S41]
Estabilidad del servicio cloud	Representa la habilidad de que un servicio esté continuo y constantemente disponible.	Estabilidad del servicio	[S23], [S28]
Exactitud del servicio cloud	Representa el grado de respuestas correctas para la solitud de un usuario.	Exactitud del servicio	[S40], [S48]
Fiabilidad del servicio cloud	Representa el grado en que un servicio está disponible, completo,	Cobertura de recuperación de fallas	[S40]
		Cobertura de la tolerancia a fallos	[S40]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
	correcto, continuo, estable y consistente.	Duración entre fallos del funcionamiento	[S28]
		Tiempo medio entre fallos	[S08], [S61], [S83]
		Tiempo medio hasta el fallo	[S61], [S83]
		Tiempo medio para recuperar	[S61]
		Fiabilidad del servicio	[S08], [S22], [S23], [S25], [S28], [S40], [S61], [S63], [S82], [S83]
		Fiabilidad del recurso	[S45]
		Fiabilidad del servicio web	[S48]
		Puntuación dada por el usuario	[S16], [S67]
Fiabilidad del sistema del servicio cloud	Representa la probabilidad de que todos los servicios en el sistema se ejecutan correctamente.	Fiabilidad del procesador	[S21]
		Fiabilidad del servidor	[S21]
		Fiabilidad de los enlaces	[S21]
		Fiabilidad del sistema	[S21]
Flexibilidad del servicio cloud	Representa la proporción del tiempo no disponible para invocar un servicio sobre la cantidad total de los servicios operados.	Flexibilidad del servicio	[S48]
Número de máquinas físicas del servicio cloud	Representa el número de máquinas físicas que tiene el proveedor.	Número medio de máquinas físicas en modo activo	[S56]
Relación entre las máquinas virtuales disponibles del servicio cloud	Representa el grado en que las máquinas virtuales están disponibles.	Relación entre las máquinas virtuales disponibles para las solicitudes aceptadas de máquinas virtuales	[S56]
Resistencia del servicio cloud	Representa la capacidad del servicio para reaccionar ante una situación de sobrecarga.	Tiempo de degradación	[S12]
		Tiempo de recuperación	[S12]
		Pérdida de rendimiento máximo	[S12]
		Tiempo de asentamiento	[S26]
		Rebasamiento de pico o suboscilación	[S26]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
		Tiempo máximo	[S26]
		Tiempo de percentil	[S26]
Robustez del servicio cloud	Representa la probabilidad de que un servicio sea afectado por un fallo de un componente cloud.	Robustez del servicio	[S28], [S40]
Tasa de disponibilidad del servicio cloud	Representa la tasa de disponibilidad del servicio.	Tasa de disponibilidad	[S11]
Tiempo de respuesta del servicio cloud	Representa la diferencia entre el tiempo de la solicitud de servicio y el tiempo cuando el servicio está disponible.	Tiempo de respuesta	[S48]
Tolerancia a fallos del servicio cloud	Representa la relación de soportar la ocurrencia de un fallo.	Tolerancia a fallos	[S28]
Utilidad del servicio cloud	Representa el grado en que el servicio ha estado en línea.	Utilidad	[S61]

5.2.1.6 Seguridad

Esta característica es capacidad de protección de la información y los datos de manera que personas o sistemas no autorizados no puedan leerlos o modificarlos (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011).

Esta característica se subdivide a su vez en las siguientes subcaracterísticas: *confidencialidad* (capacidad de protección contra el acceso de datos e información no autorizados, ya sea accidental o deliberadamente), *integridad* (capacidad del servicio para prevenir accesos o modificaciones no autorizados a datos o aplicaciones), *no repudio* (capacidad de demostrar las acciones o eventos que han tenido lugar, de manera que dichas acciones o eventos no puedan ser repudiados posteriormente), *responsabilidad* (capacidad de rastrear de forma inequívoca las acciones de una entidad), *autenticidad* (capacidad de demostrar la identidad de un sujeto o un recurso).

A continuación, detallaremos en la Tabla 5.7 los atributos recopilados para esta característica, con sus respectivas métricas.

Tabla 5.7. Atributos y métricas de la característica seguridad

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Índice de seguridad del servicio cloud	Describe el nivel de seguridad logrado por un proveedor de	Valor del índice de seguridad	[S55]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
	servicio cloud evaluado.		
Integridad de los datos del servicio cloud	Representa la habilidad de prevención no autorizado para acceder, o modificar la información o datos del cliente.	Integridad de los datos	[S25]
		Integridad de los datos del recurso	[S45]
		Integridad del servicio	[S61]
Gestión de datos del servicio cloud	Representa la capacidad de garantizar la integridad de los datos y gestionar las cuentas y archivos de los usuarios.	Puntuación dada por el usuario	[S16]
Seguridad del servicio cloud	Representa el grado en que un servicio protege tanto a los activos del cliente y el acceso a su información y datos.	Número de alarmas falsas monitoreadas por la seguridad corporativa	[S61]
		Número de respuestas de servicio ineficaces a los problemas identificados por la Seguridad como debilidades de control	[S61]
		Número de riesgos de seguridad proactiva identificados	[S61]
		Porcentaje de recursos de datos peligrosos que residen en los sistemas	[S61]
		Seguridad del servicio	[S83]
		Costo de la seguridad	[S61]
		Puntuación dada por el usuario	[S16]

5.2.1.7 Mantenibilidad

Esta característica representa la capacidad del servicio cloud para ser modificado efectiva y eficientemente, debido a necesidades evolutivas, correctivas o perfectivas (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011).

Esta característica se subdivide a su vez en las siguientes subcaracterísticas: *modularidad* (capacidad de un servicio, compuesto de componentes discretos, que permite que un cambio en un componente tenga un impacto mínimo en los demás), *Reusabilidad* (capacidad de un servicio para ser utilizado en la construcción de otros servicios o aplicaciones), *analizabilidad* (facilidad con la que se puede evaluar el impacto de un determinado cambio sobre el resto del servicio, diagnosticar las deficiencias o causas de fallos del servicio, o identificar las partes a modificar), *capacidad para ser modificado* (capacidad del servicio que permite que sea modificado de forma efectiva y eficiente sin introducir defectos o degradar su desempeño), *capacidad para ser probado o testabilidad* (facilidad con la que se pueden establecer criterios de prueba para un servicio y con la que se pueden llevar a cabo las pruebas para determinar si se cumplen dichos criterios).

A continuación, detallaremos en la Tabla 5.8 los atributos recopilados para esta característica, con sus respectivas métricas.

Tabla 5.8. Atributos y métricas de la característica mantenibilidad

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Cambiabilidad del servicio cloud	Representa el grado de cambio que puede tener el servicio.	Tiempo medio de cambio con respecto a un servicio cloud particular	[S61]
Comunalidad funcional del servicio cloud	Representa el grado de similitud de cada característica funcional.	Comunalidad funcional	[S40]
Comunalidad no funcional del servicio cloud	Representa el grado de similitud de cada característica no funcional.	Comunalidad no funcional	[S40]
Comunalidad de características del servicio cloud	Representa el grado de similitud de cada característica funcional o no funcional del servicio.	Comunalidad de características	[S48]
Cobertura de la variabilidad del servicio cloud	Se mide teniendo en cuenta el número de puntos de variación que pueden ser personalizados por los usuarios del servicio.	Cobertura de la variabilidad	[S40], [S48]
Fiabilidad de mantenimiento del servicio cloud	Representa la capacidad de que la red puede enviar unidades de datos para el cliente a través de múltiples caminos	Fiabilidad de mantenimiento	[S42]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
	dentro de las limitaciones presupuestarias de mantenimiento y de tiempo.		
Legibilidad del servicio cloud	Representa el grado de entendimiento de la descripción que define las propiedades semánticas y sintácticas del servicio.	Comprensibilidad del servicio	[S48]
Personalización del servicio cloud	Representa el grado de personalización que se le puede realizar al servicio.	Número de cambios dinámicos en un servicio cloud con respecto a una carga de trabajo	[S61]
		Número de cambios estáticos en un servicio cloud con respecto a una carga de trabajo	[S61]
		Personalización del servicio	[S61]
		Puntuación dada por el usuario	[S67]
Publicidad del servicio cloud	Representa el grado en que un servicio puede ser encontrado.	<i>Awarability</i> del servicio	[S48]
Reusabilidad del servicio cloud	Representa el grado en el que un servicio puede ser reusable.	Reusabilidad del servicio	[S40], [S48]
Tiempo de prueba del servicio cloud	Representa el tiempo que se toma para realizar un testeo del servicio.	Tiempo de prueba	[S61]

5.2.1.8 Portabilidad

La portabilidad representa la capacidad del servicio cloud de ser transferido de forma efectiva y eficiente de un entorno hardware, software, operacional o de utilización a otro (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011).

Esta característica se subdivide a su vez en las siguientes subcaracterísticas: *adaptabilidad* (capacidad del servicio que le permite ser adaptado de forma efectiva y eficiente a diferentes entornos determinados de hardware, software, operacionales o de uso), *capacidad para ser reemplazado* (capacidad del servicio para ser utilizado en

lugar de otro servicio con el mismo propósito y en el mismo entorno). Cabe destacar que la subcaracterística *capacidad para ser instalado* no se considera en este modelo ya que los servicios cloud no requieren de instalación. Las aplicaciones están alojadas por una empresa o proveedor de servicio y puestas a disposición de los usuarios a través de una red, generalmente la Internet.

A continuación, detallaremos en la Tabla 5.9 los atributos recopilados para esta característica, con sus respectivas métricas.

Tabla 5.9. Atributos y métricas de la característica portabilidad

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Adaptabilidad del servicio cloud	Representa la capacidad del servicio de adaptarse a los cambios que requiere el usuario.	Adaptabilidad del servicio	[S23], [S48]
Complejidad del servicio cloud	Representa el grado en que un servicio es compatible con todas las tareas y los objetivos especificados por el cliente.	Complejidad de conjunto variante	[S48]
Cobertura de variabilidad del servicio cloud	Se mide teniendo en cuenta el número de puntos de variación que pueden ser personalizados por los usuarios del servicio.	Cobertura de la variabilidad	[S48]
Elasticidad del servicio cloud	Representa la habilidad de que un servicio suministre de recursos de acuerdo a las necesidades del cliente.	Bajo-aprovisionamiento	[S01]
		Sobre-aprovisionamiento	[S01]
		Reactividad de Asignación	[S01]
		Reactividad de liberación	[S01]
		Elasticidad del servicio	[S08], [S82], [S83]
		Tiempo medio necesario para expandir o contraer la capacidad de servicio	[S23]
		Capacidad máxima de servicio	[S23]
		Reactividad	[S28]
Escalabilidad del servicio cloud	Representa la habilidad del servicio de incrementar o	Cobertura de escalabilidad	[S01], [S40], [S48]
		Latencia de despliegue	[S66]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
	reducir la cantidad de servicio disponible.	Escalabilidad horizontal de cloud	[S23]
		Escalabilidad vertical de cloud	[S23]
		Escalabilidad del servicio	[S28], [S36]
		Puntuación dada por el usuario	[S16], [S67]
Portabilidad del servicio cloud	Representa la habilidad del cliente de cambiarse de un servicio a otro.	Portabilidad del servicio	[S61]

5.2.2 Características de calidad en uso (QoE)

5.2.2.1 Efectividad

Esta característica representa la precisión y completitud con que los usuarios alcanzan sus objetivos (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011). Para esta característica la revisión sistemática no ha identificado ningún atributo o métrica. Sin embargo, creemos que las métricas propuestas en el estándar ISO/IEC 25022 (2016) pueden ser útiles para evaluar la efectividad de los usuarios en la utilización de servicios cloud. Algunas métricas propuestas por este estándar son:

- Completitud de tarea: $\text{Número de tareas completadas} / \text{Número total de tareas intentadas}$
- Efectividad de la tarea: $\text{Cantidad de objetivos completados por tarea} / \text{Cantidad de objetivos planeados que realice la tarea}$
- Frecuencia de error: $\text{Número de errores cometidos por los usuarios} / \text{Número de tareas}$

5.2.2.2 Eficiencia

La eficiencia representa los recursos consumidos con relación a la precisión y completitud con que los usuarios alcanzan sus objetivos (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011). La revisión sistemática tampoco ha identificado atributos y métricas para esta característica. Sin embargo, las métricas propuestas en el estándar ISO/IEC 25022 (2016) también pueden ser útiles para evaluar la eficiencia de los usuarios en la utilización de servicios cloud. Algunos ejemplos son:

- Tiempo de la tarea: $\text{Tiempo actual} / \text{tiempo planeado}$
- Tiempo relativo de la tarea: $\text{Tempo que completa una tarea un usuario experto} / \text{Tiempo que completa una tarea un usuario}$
- Eficiencia de la tarea: $\text{Número de tareas completadas con éxito} / \text{Tiempo de la tarea}$

- Productividad económica: Número de tareas completadas con éxito / Número total de tareas

5.2.2.3 Satisfacción

Esta característica representa el grado en que las necesidades de los usuarios son satisfechas cuando un producto o sistema se utiliza en un contexto de uso especificado (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011). En la ISO/IEC 25010 se considera que otros aspectos de la experiencia del usuario como la diversión o el entretenimiento pueden contribuir a la satisfacción del usuario con el servicio.

En particular, la característica de satisfacción se ha dado una interpretación más amplia: *utilidad* (grado en que el usuario está satisfecho con el logro de sus objetivos pragmáticos, incluido los resultados y las consecuencias del uso), *confianza o satisfacción con la seguridad* (grado en que el usuario está satisfecho con que el producto o sistema se comporte según lo previsto), *placer o satisfacción emocional* (grado de satisfacción del usuario por alcanzar sus necesidades personales) y *Confort o satisfacción física* (grado en que el usuario está satisfecho con el confort físico).

A continuación, detallaremos en la Tabla 5.10 los atributos recopilados para esta característica, con sus respectivas métricas.

Tabla 5.10. Atributos y métricas de la característica satisfacción

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
API del servicio cloud	Representa si el proveedor provee de una API para interactuar con el servicio.	API del servicio	[S08]
Calidad percibida del servicio cloud	Representa la puntuación del usuario con respecto a la calidad percibida	Escala ACR	[S62]
		Puntaje medio de opinión	[S73]
Cortesía de la especificación cloud	Representa el grado en el que se proporciona un servicio en una forma educada, respetuosa y amigable.	Grado de formalización del lenguaje y la actitud del empleado	[S84]
Confiabilidad del servicio cloud	Representa la confianza de los usuarios en el uso de servicios cloud.	Utilidad de confianza para la petición	[S74]
		Seguridad	[S74]
		Fiabilidad	[S74]
		Confiabilidad de los recursos y servicios virtuales	[S77]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
		Confiabilidad del servicio	[S44], [S67]
Experiencia del usuario del servicio cloud	Representa la experiencia del usuario al usar el servicio.	Puntaje medio de opinión del videojuego	[S70]
		Experiencia de usuario	[S08]
Facilidad de uso del servicio cloud	Representa la capacidad del servicio para hacer que sea fácil de usar por el usuario.	Puntuación dada por el usuario	[S67]
Fluidez percibida del servicio cloud	Representa la fluidez de la aplicación percibida por el usuario.	Escala ACR	[S62]
Monitorización del servicio cloud	Define si el proveedor provee herramientas de monitorización.	Monitorización	[S08]
Paciencia del usuario del servicio cloud	Representa el nivel de paciencia del usuario al usar el servicio	Paciencia del usuario	[S18]
Opinión del Rendimiento del servicio cloud	Representa la opinión del usuario sobre el rendimiento del servicio.	Puntaje medio de opinión	[S60]
Opinión de la suavidad de la aplicación del servicio cloud	Representa la opinión del usuario sobre la suavidad percibida en los gráficos de las aplicaciones del servicio.	Puntaje medio de opinión	[S73]
Reputación del servicio cloud	Mide la confiabilidad de un proveedor cloud.	Reputación	[S08], [S22], [S76]
Responsividad del servicio cloud	Puede definirse como el grado en que el proveedor de servicio cloud está listo y capaz de ayudar a los clientes al proporcionar servicios oportunos prontamente.	Responsividad	[S12]
Satisfacción del servicio cloud	Representa el nivel de satisfacción del cliente con el servicio.	Nivel de confianza de los clientes cloud	[S61]
Servicio al cliente del servicio cloud	Represente el grado de satisfacción con el servicio al cliente.	Puntuación dada por el usuario	[S67]

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Visibilidad del servicio cloud	Grado en el que los clientes potenciales son conscientes del servicio cloud.	Visibilidad del servicio	[S61]

5.2.2.4 Ausencia de riesgo

Esta característica representa el grado en que el producto o el sistema reduce el riesgo potencial de una situación de riesgo económica, de vidas humanas, de salud o del entorno (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011).

A continuación, detallaremos en la Tabla 5.11 los atributos recopilados para esta característica, con sus respectivas métricas.

Tabla 5.11. Atributos y métricas de la característica ausencia de riesgo

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Costo de carbono del servicio cloud	Representa el impacto ambiental del servicio.	Costo de carbono	[S28]
Sostenibilidad del servicio cloud	Se puede definir en términos del ciclo de vida del servicio o en términos del impacto ambiental de los servicios que se utilizan.	Eficiencia de la infraestructura del centro de datos	[S23]
		Eficiencia del uso de energía	[S23]
		Desempeño del centro de datos por energía	[S23]
		Utilización de los equipos TI	[S23]
		Eficiencia energética de los equipos informáticos	[S23]
		Eficiencia de la infraestructura física	[S23]
		Penetración de las energías renovables (verde) en el sistema	[S23]
		Sostenibilidad del servicio	[S28]

5.2.2.5 Cobertura de contexto

Esta característica representa el grado de efectividad, eficiencia, seguridad en uso y satisfacción con que un producto puede ser utilizado en ambos (contextos de uso especificados y en diferentes contextos a los inicialmente previstos) (ISO/IEC JTC1 SC7, 2011).

A continuación, detallaremos en la Tabla 5.12 los atributos recopilados para esta característica, con sus respectivas métricas.

Tabla 5.12. Atributos y métricas de la característica cobertura de contexto

Atributo	Significado	Métrica	Referencias
Flexibilidad del servicio cloud	Grado para agregar o remover características predefinidas del servicio.	Punto flexible	[S61]
		Fuerza flexible	[S61]
		Distancia flexible	[S61]
		Grado flexible	[S61]
		Capacidad flexible	[S61]
Flexibilidad en el pago del servicio cloud	Representa el pago por recurso consumido.	Puntuación dada por el usuario	[S67]

5.3 Operacionalización del modelo

Hemos descompuesto el modelo de calidad genérico planteado en la ISO/IEC 25010 con atributos y métricas específicas para evaluar la calidad de los servicios cloud. El modelo preliminar es operacional, ya que cada atributo cuenta con su(s) respectiva(s) métrica(s). Sin embargo, como trabajo futuro plantearemos formas alternativas para medir una misma métrica (distintas operacionalizaciones).

También contamos con un conjunto de atributos, sin métricas, entre los cuales existen 27 atributos específicos para servicios cloud. Estos atributos se muestran en el Apéndice C, y serán utilizados en un futuro para enriquecer el modelo propuesto.

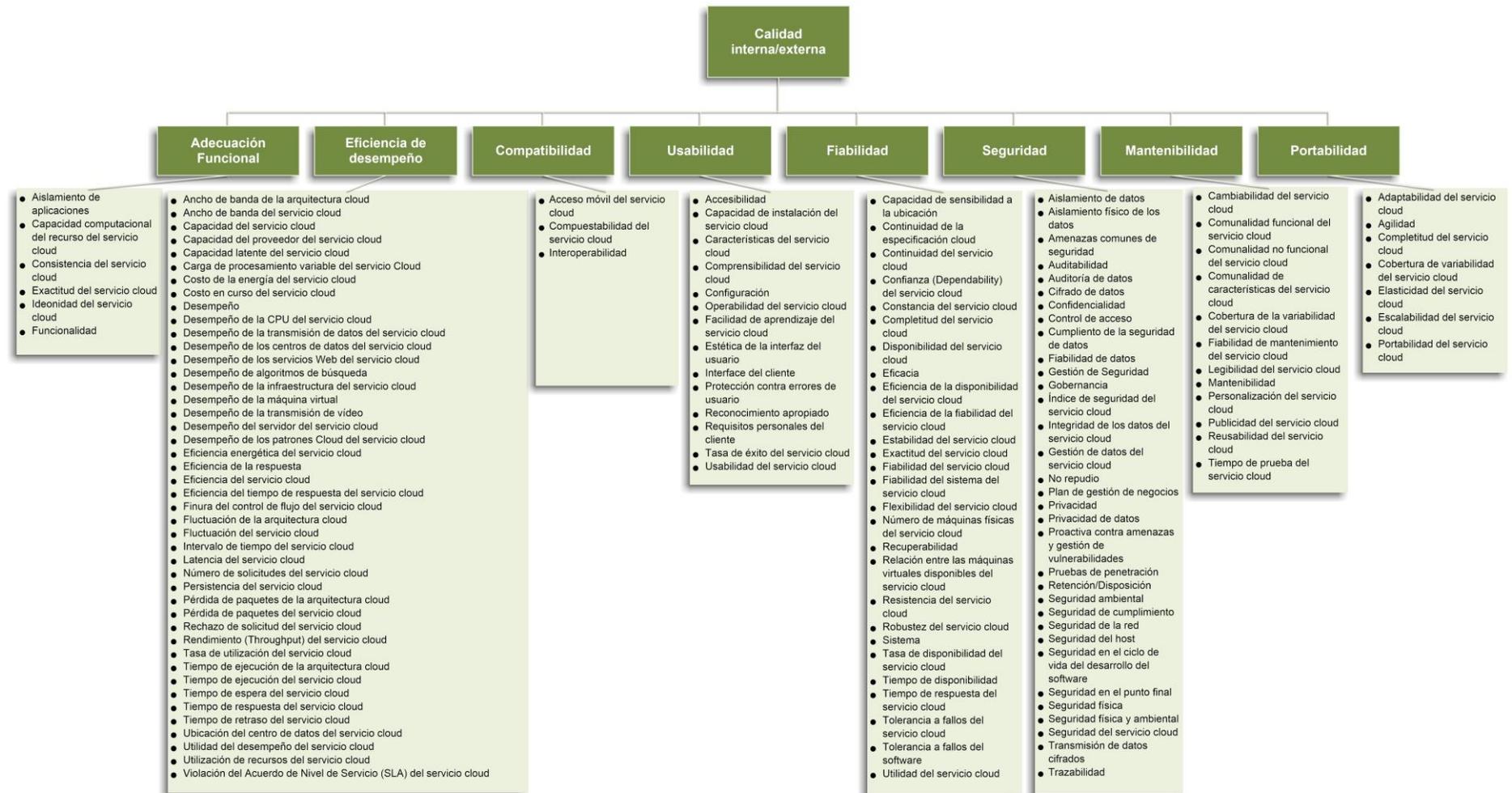


Figura 5.1. Modelo de calidad interna/externa del servicio cloud

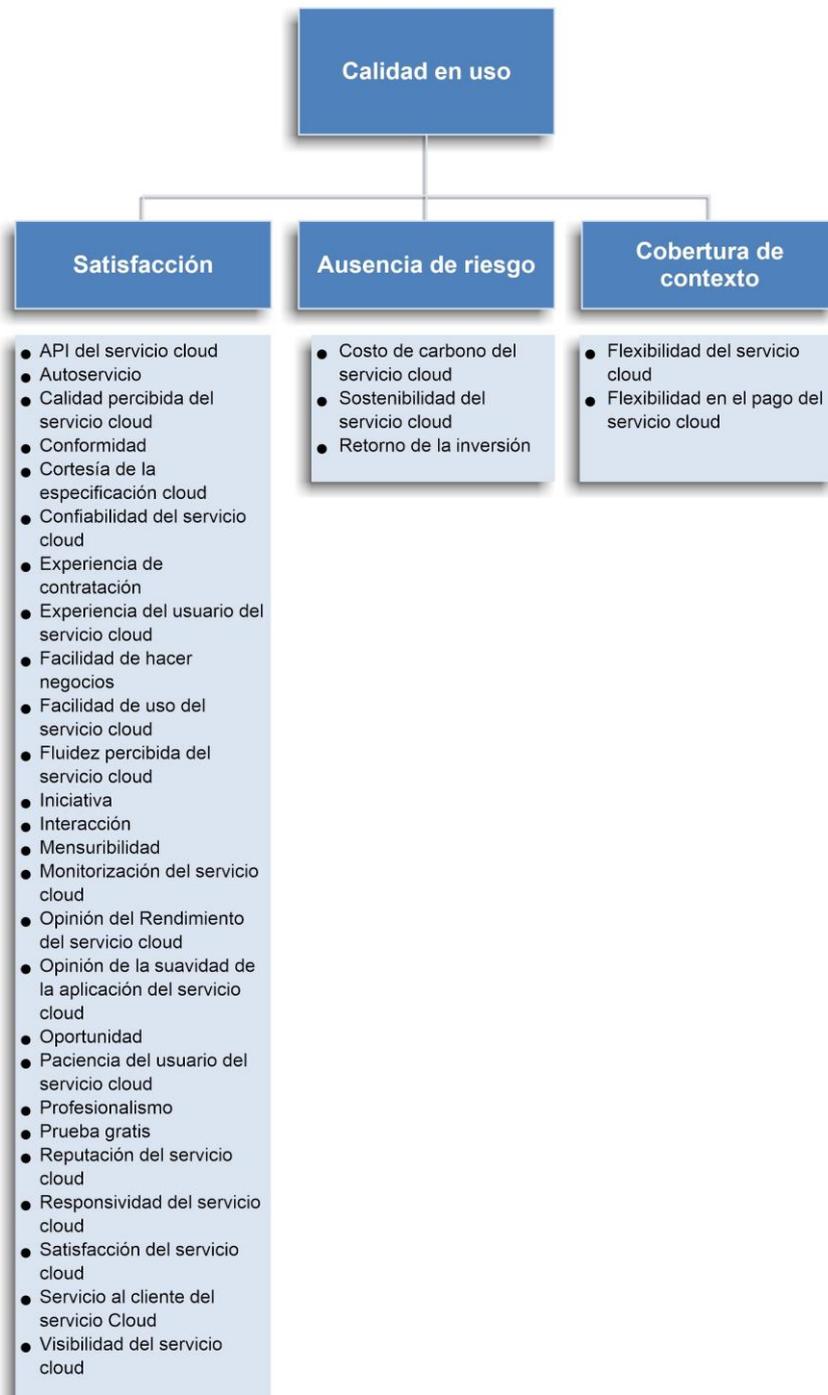


Figura 5.2. Modelo de Calidad en uso del servicio cloud

6. Conclusiones y Trabajos Futuros

En este capítulo exponemos las conclusiones generales de este trabajo de fin de máster, para lo cual se recuerdan los objetivos propuestos al principio del trabajo y se comprueba si se han cumplido y en qué grado. Además, se presentan los trabajos futuros propuestos para dejar constancia de la continuidad del trabajo de investigación.

6.1 Conclusiones

Los objetivos que hemos planteado en este trabajo son:

1. Analizar el estado del arte de los trabajos que presentan propuestas relacionadas con la evaluación de calidad de los servicios cloud.
2. Analizar los atributos de calidad que los investigadores y profesionales de la industria consideran relevantes para asegurar la calidad en los servicios cloud.
3. Analizar las métricas que han sido propuestas para evaluar la calidad de los servicios cloud.
4. Definir un Modelo de Calidad preliminar específico para los servicios cloud que recoja el estado actual, cubra las carencias encontradas en el estado del arte, y que siga los estándares de calidad más actuales.

Con respecto al primer objetivo, realizamos un análisis de los modelos de calidad de servicios cloud. Esto reveló que la mayoría de los modelos existentes se centran en ciertas características de calidad (por ejemplo, la seguridad) y que se necesitan modelos que contemplen un amplio conjunto de atributos y métricas para evaluar la calidad de los servicios cloud y que además estén alineados con los estándares actuales de calidad de productos software.

Para el segundo y tercer objetivo hemos realizado una revisión sistemática de la literatura para identificar y analizar todos los atributos y métricas que han sido propuestos para evaluar la calidad de los servicios cloud.

Ambos objetivos han supuesto un punto de partida indispensable para la consecución del cuarto objetivo. Por una parte, el conocimiento del estado del arte nos ha permitido direccionar el trabajo posterior al comprobar que no existe ningún modelo de calidad que recoja todas las características deseables para la evaluación de los servicios cloud. Por otra parte, el conocimiento de los atributos de calidad y métricas ha supuesto un punto de partida para la definición del Modelo de Calidad propuesto.

Con respecto al cuarto objetivo, se ha propuesto un modelo de calidad preliminar para evaluar los servicios cloud. La construcción de un modelo de calidad es bastante compleja, y es usual que estos modelos descompongan la calidad del producto software

jerárquicamente en una serie de características, atributos y métricas que pueden usarse como una lista de comprobación de aspectos relacionados con la calidad. Se han desarrollado varios modelos de calidad para diferentes productos y procesos software, pero ninguno de ellos es específico para los servicios cloud y a la vez está alineado con estándares actuales de calidad de productos que integran características de calidad interna, externa y en uso.

El modelo de calidad propuesto es una aproximación para la definición de requisitos y evaluación de calidad de los servicios cloud. Tiene en cuenta aspectos concretos de los servicios cloud para todas las características de calidad que son consideradas de relevancia para los productos software de acuerdo al estándar ISO/IEC 25010.

El modelo puede ser utilizado para evaluar la calidad de un servicio a nivel de especificación, arquitecturas y servicio cloud, aunque tiene que ser extendido en un futuro con nuevas métricas para medir la calidad de los servicios cloud en fases tempranas del ciclo de vida. El modelo propuesto cuenta con criterios para satisfacer las necesidades de los proveedores, facilitadores, consumidores, clientes finales y desarrolladores del servicio cloud.

El modelo de calidad para servicios cloud propuesto proporciona varios beneficios a las empresas interesadas en implantar un sistema de control de calidad del producto basada en las normas ISO/IEC 25000. Para las *empresas que desarrollan servicios cloud* puede ayudar a controlar la calidad de sus servicios, a mejorar las características del servicio, asegurar a los consumidores del servicio el nivel de calidad esperado (y acordado en el *Service Level Agreement – SLA*), a posicionar su producto en el mercado, a aumentar las ventas del producto debido a la mejora en la satisfacción de los consumidores y/o usuarios finales del servicio. Para las *empresas que adquieren el servicio* puede ayudar a conocer la calidad del servicio que compran, a comparar entre distintas alternativas, a establecer los atributos y métricas del acuerdo a nivel de servicio, etc.

Actualmente se está preparando un artículo con los resultados de la revisión sistemática de la literatura que será enviado próximamente a la revista ACM Computing Surveys.

6.2 Trabajos futuros

El trabajo presentado constituye los primeros pasos hacia un método de evaluación de calidad de servicios cloud. Sin embargo, existe la necesidad de diversos trabajos futuros para mejorar esta contribución y ponerla en práctica.

Con respecto a la revisión sistemática, pese a que los resultados obtenidos han sido bastante significativos, éstos se han extraído de artículos orientados al ámbito

académico. Por este motivo, se pretende analizar también artículos pertenecientes al sector industrial, para obtener una evidencia más real de las métricas utilizadas en evaluaciones de calidad fuera del ámbito académico.

Con respecto al modelo de calidad propuesto, éste se pretende mejorar mediante:

- El refinamiento del modelo para incorporar otras características y atributos de calidad específicos de los servicios cloud.
- La extensión del modelo para incorporar una nueva perspectiva asociada a la calidad de los datos, basándonos en la estructura del estándar SQuaRE, que permita evaluar ciertas características referentes a los datos que se manejan en los servicios cloud.
- La propuesta de nuevas métricas y adaptación de métricas existentes para ser operacionalizadas en diferentes fases del ciclo de vida, especialmente en la arquitectura del servicio cloud. Para demostrar la validez y utilidad de las nuevas métricas incorporadas, se utilizarán aproximaciones basadas en la teoría de la medición o aproximaciones basadas en propiedades para validar teóricamente las métricas, además, se realizarán experimentos controlados para validarlas empíricamente y demostrar su utilidad.
- Estudio de trade-offs entre atributos de calidad: como determinados atributos del modelo impactan positiva o negativamente a otros atributos. Esto enriquecerá el modelo de calidad propuesto.
- Estudio de mecanismos de agregación para combinar métricas.
- Definición de un proceso de evaluación que utilice el modelo de calidad propuesto para realizar evaluaciones de calidad en distintas fases del ciclo de vida del servicio cloud.

Además, el modelo propuesto es muy amplio. Como trabajo futuro, se pretende realizar una validación del modelo de calidad mediante el diseño y ejecución de una encuesta a expertos del dominio (arquitectos cloud, desarrolladores cloud, etc.) para determinar la importancia relativa de los atributos y métricas del modelo para ciertos tipos de servicios cloud. Los resultados de este estudio serán útiles para definir guías de evaluación para dominios específicos.

Referencias

- Abdeladim, A., Baina, S., & Baina, K. (2014). Elasticity and scalability centric quality model for the cloud. En *2014 Third IEEE International Colloquium in Information Science and Technology (CIST)* (pp. 135-140). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/CIST.2014.7016607>
- Abdelmaboud, A., Jawawi, D. N. A., Ghani, I., Elsafi, A., & Kitchenham, B. (2015). Quality of service approaches in cloud computing: A systematic mapping study. *Journal of Systems and Software*, *101*, 159-179. article. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jss.2014.12.015>
- Alvares de Oliveira Jr., F., & Ledoux, T. (2011). Self-management of Applications QoS for Energy Optimization in Datacenters. En *Green Computing Middleware on Proceedings of the 2Nd International Workshop* (p. 3:1--3:6). inproceedings, New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2088996.2088999>
- Ardagna, D., Casale, G., Ciavotta, M., Pérez, J. F., & Wang, W. (2014). Quality-of-service in cloud computing: modeling techniques and their applications. *Journal of Internet Services and Applications*, *5*(1), 1-17. article. <http://doi.org/10.1186/s13174-014-0011-3>
- Badidi, E. (2013). A Cloud Service Broker for SLA-based SaaS provisioning. En *Information Society (i-Society), 2013 International Conference on* (pp. 61-66). inproceedings.
- Baliyan, N., & Kumar, S. (2013). Quality Assessment of Software as a Service on Cloud Using Fuzzy Logic. En *Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM), 2013 IEEE International Conference on* (pp. 1-6). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/CCEM.2013.6684439>
- Baranwal, G., & Vidyarthi, D. P. (2014). A framework for selection of best cloud service provider using ranked voting method. En *Advance Computing Conference (IACC), 2014 IEEE International* (pp. 831-837). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/IAdCC.2014.6779430>
- Bardhan, S., & Milojevic, D. (2012). A Mechanism to Measure Quality-of-service in a Federated Cloud Environment. En *Proceedings of the 2012 Workshop on Cloud Services, Federation, and the 8th Open Cirrus Summit* (pp. 19-24). inproceedings, New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2378975.2378981>
- Basili, V. R., & Weiss, D. M. (1984). A Methodology for Collecting Valid Software Engineering Data. *IEEE Transactions on Software Engineering*, *SE-10*(6), 728-738. <http://doi.org/10.1109/TSE.1984.5010301>
- Bayramusta, M., & Nasir, V. A. (2016). A fad or future of IT?: A comprehensive literature review on the cloud computing research. *International Journal of Information Management*, *36*(4), 635-644. <http://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.04.006>
- Bousselmi, K., Brahmi, Z., & Gammoudi, M. M. (2016). QoS-Aware Scheduling of

- Workflows in Cloud Computing Environments. En *2016 IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA)* (pp. 737-745). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/AINA.2016.72>
- Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, 80(4), 571-583. <http://doi.org/10.1016/j.jss.2006.07.009>
- Briand, L., Emam, K. El, & Morasca, S. (1996). On the application of measurement theory in software engineering. *Empirical Software Engineering*, 1(1), 61-88. <http://doi.org/10.1007/BF00125812>
- Bruneo, D. (2014). A Stochastic Model to Investigate Data Center Performance and QoS in IaaS Cloud Computing Systems. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 25(3), 560-569. article. <http://doi.org/10.1109/TPDS.2013.67>
- Casas, P., & Schatz, R. (2014). Quality of Experience in Cloud services: Survey and measurements. *Computer Networks*, 68, 149-165. article. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2014.01.008>
- Cedillo, P., Gonzalez-Huerta, J., Abrahao, S., & Insfran, E. (2014). Towards Monitoring Cloud Services Using Models@ run. time. *9th Workshop on Models@run.time*, 31-40. <http://doi.org/10.13140/2.1.3001.7286>
- Cedillo, P., Gonzalez-Huerta, J., Abrahao, S., & Insfran, E. (2015). A Monitoring Infrastructure for the Quality Assessment of Cloud Services. En *24th International Conference on Information Systems Development (ISD 2015), Model-Driven Development and Concepts Track*. Harbin, China.
- Cedillo, P., Jimenez-Gomez, J., Abrahao, S., & Insfran, E. (2015). Towards a Monitoring Middleware for Cloud Services. En *12th IEEE International Conference on Services Computing (IEEE SCC 2015)* (pp. 451-458). inproceedings, New York, USA. <http://doi.org/10.1109/SCC.2015.68>
- Chen, K. T., Chang, Y. C., Hsu, H. J., Chen, D. Y., Huang, C. Y., & Hsu, C. H. (2014). On the Quality of Service of Cloud Gaming Systems. *IEEE Transactions on Multimedia*, 16(2), 480-495. article. <http://doi.org/10.1109/TMM.2013.2291532>
- Cisco. (2012). Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2011-2016, White Paper. *Middle East*. Recuperado a partir de http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns1175/Cloud_Index_White_Paper.html#wp9000816
- Costa, C. M., Leite, C. R. M., & Sousa, A. L. (2015). Service Response Time Measurement Model of Service Level Agreements in Cloud Environment. En *2015 IEEE International Conference on Smart City/SocialCom/SustainCom (SmartCity)* (pp. 969-974). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/SmartCity.2015.196>

- CSMIC. (2014). Service Measurement Index Framework Version 2.1. Recuperado 1 de agosto de 2016, a partir de http://csmic.org/downloads/SMI_Overview_TwoPointOne.pdf
- Duggan, J., Cetintemel, U., Papaemmanouil, O., & Upfal, E. (2011). Performance Prediction for Concurrent Database Workloads. En *Proceedings of the 2011 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data* (pp. 337-348). inproceedings, New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1989323.1989359>
- Feng, J., & Kong, L. (2015). A Fuzzy Multi-objective Genetic Algorithm for QoS-based Cloud Service Composition. En *2015 11th International Conference on Semantics, Knowledge and Grids (SKG)* (pp. 202-206). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/SKG.2015.23>
- Fenton, N. E. (1991). *Software metrics : a rigorous approach*.
- Fleiss, J. L. (1981). *Statistical Methods for Rates and Proportions*. (Wiley-Interscience, Ed.). New York, NY, USA.
- Garg, S. K., Versteeg, S., & Buyya, R. (2013). A framework for ranking of cloud computing services. *Future Generation Computer Systems*, 29(4), 1012-1023. article. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2012.06.006>
- Gens, F. (2008). Defining «Cloud Services» and «Cloud Computing». Recuperado 10 de agosto de 2016, a partir de <http://blogs.idc.com/ie/?p=190>
- Ghafari, S. M., Fazeli, M., Patooghy, A., & Rikhtechi, L. (2013). Bee-MMT: A load balancing method for power consumption management in cloud computing. En *Contemporary Computing (IC3), 2013 Sixth International Conference on* (pp. 76-80). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/IC3.2013.6612165>
- Guérout, T., Medjah, S., Costa, G. Da, & Monteil, T. (2014). Quality of service modeling for green scheduling in Clouds. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 4(4), 225-240. article. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.suscom.2014.08.006>
- Hassam, M., Kara, N., Belqasmi, F., & Glitho, R. (2014). Virtualized Infrastructure for Video Game Applications in Cloud Environments. En *Proceedings of the 12th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access* (pp. 109-114). inproceedings, New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2642668.2642679>
- Hecht, G., Jose-Scheidt, B., Figueiredo, C. D., Moha, N., & Khomh, F. (2014). An Empirical Study of the Impact of Cloud Patterns on Quality of Service (QoS). En *Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2014 IEEE 6th International Conference on* (pp. 278-283). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/CloudCom.2014.141>

- ISO/IEC. (2007). ISO/IEC 15939:2007 Systems and software engineering - Measurement process.
- ISO/IEC. (2008a). ISO/IEC 25012:2008 Software engineering — Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Data quality model.
- ISO/IEC. (2008b). ISO 25012. Recuperado 1 de septiembre de 2016, a partir de <http://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25012>
- ISO/IEC. (2011). ISO 25010. Recuperado 1 de agosto de 2016, a partir de <http://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000/iso-25010>
- ISO/IEC. (2014a). ISO/IEC 25000:2014 Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Guide to SQuaRE. En *Switzerland, Geneva*.
- ISO/IEC. (2014b). ISO/IEC CD 19086-2 Information technology - Cloud computing - Service level agreement (SLA) framework - Part 2: Metric Model. Recuperado a partir de http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=67546
- ISO/IEC. (2015a). ISO/IEC 27017:2015 - Information technology - Security techniques - Code of practice for information security controls based on ISO/IEC 27002 for cloud services. Recuperado a partir de http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=43757
- ISO/IEC. (2015b). Norma ISO 25000. Recuperado 1 de septiembre de 2016, a partir de <http://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000>
- ISO/IEC JTC1 SC38. (2014). ISO/IEC 17788:2014 Information technology - Cloud computing - Overview and vocabulary.
- ISO/IEC JTC1 SC7. (2011). ISO/IEC 25010:2011 Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - System and software quality models.
- Jeffery, K. G. (2012). Quality Aspects in CLOUD Computing. En *2012 Eighth International Conference on the Quality of Information and Communications Technology* (pp. 4-9). <http://doi.org/10.1109/QUATIC.2012.47>
- Khan, H. M., Chan, G. Y., & Chua, F. F. (2016). An adaptive monitoring framework for ensuring accountability and quality of services in cloud computing. En *2016 International Conference on Information Networking (ICOIN)* (pp. 249-253). *inproceedings*. <http://doi.org/10.1109/ICOIN.2016.7427071>
- Kitchenham, B. (2004). Procedures for performing systematic reviews. *Keele, UK, Keele University, 33*(TR/SE-0401), 28. <http://doi.org/10.1.1.122.3308>
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature

Reviews in Software Engineering. *Engineering*, 2, 1051.
<http://doi.org/10.1145/1134285.1134500>

Lee, C. A., & A., C. (2010). A perspective on scientific cloud computing. En *Proceedings of the 19th ACM International Symposium on High Performance Distributed Computing - HPDC '10* (p. 451). New York, New York, USA: ACM Press.
<http://doi.org/10.1145/1851476.1851542>

Lee, J. Y., Lee, J. W., Cheun, D. W., & Kim, S. D. (2009). A Quality Model for Evaluating Software-as-a-Service in Cloud Computing. En *Software Engineering Research, Management and Applications, 2009. SERA '09. 7th ACIS International Conference on* (pp. 261-266). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/SERA.2009.43>

Lehrig, S., Eikerling, H., & Becker, S. (2015). Scalability, elasticity, and efficiency in cloud computing: A systematic literature review of definitions and metrics. En *2015 11th International ACM SIGSOFT Conference on Quality of Software Architectures (QoSA)* (pp. 83-92). inproceedings. <http://doi.org/10.1145/2737182.2737185>

Li, Z., O'Brien, L., Zhang, H., & Cai, R. (2012). On a catalogue of metrics for evaluating commercial cloud services. En *Proceedings of the 2012 ACM/IEEE 13th International Conference on Grid Computing* (pp. 164-173). IEEE.
<http://doi.org/10.1109/Grid.2012.15>

Liu, M., Dou, W., Yu, S., & Zhang, Z. (2014). A clusterized firewall framework for cloud computing. En *2014 IEEE International Conference on Communications (ICC)* (pp. 3788-3793). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/ICC.2014.6883911>

Manuel, P. (2015). A trust model of cloud computing based on Quality of Service. *Annals of Operations Research*, 233(1), 281-292. article. <http://doi.org/10.1007/s10479-013-1380-x>

Mell, P., & Grance, T. (2011). Publication Moved: NIST SP 800-145, The NIST Definition of Cloud Computing, 145(September), 6028. Recuperado a partir de <http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>

Muntés-Mulero, V., Matthews, P., Omerovic, A., & Gunka, A. (2013). Eliciting Risk, Quality and Cost Aspects in Multi-cloud Environments. *CLOUD COMPUTING 2013 : The Fourth International Conference on Cloud Computing, GRIDs, and Virtualization*.

Nadanam, P., & Rajmohan, R. (2012). QoS evaluation for web services in cloud computing. En *Computing Communication Networking Technologies (ICCCNT), 2012 Third International Conference on* (pp. 1-8). inproceedings.
<http://doi.org/10.1109/ICCCNT.2012.6395991>

NIST. (2011). NIST SP500-292 - NIST Cloud Computing Reference Architecture. Recuperado a partir de https://www.nist.gov/node/597546?pub_id=909505

NIST. (2013). NIST Cloud Computing Standards Roadmap. *NIST Cloud Computing*

- Standards*. <http://doi.org/10.6028/NIST.SP.500-291r2>
- Petticrew, M., & Roberts, H. (2005). *Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide*. (Blackwell Publishing, Ed.).
- Rhoton, J., & Haukioja, R. (2013). *Cloud Computing Architected*. (British Library Cataloguing-in-Publication Data, Ed.).
- Rombach, H. D. (1990). Practical benefits of goal-oriented measurement. En Elsevier (Ed.), *Proceedings of the Annual Workshop of the Centre for Software Reliability* (pp. 217–235).
- Saiz, E., Ibarrola, E., Cristobo, L., & Taboada, I. (2014). A cloud platform for QoE evaluation: QoXcloud. En *ITU Kaleidoscope Academic Conference: Living in a converged world - Impossible without standards?, Proceedings of the 2014* (pp. 241-247). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/Kaleidoscope.2014.6858471>
- Salama, M., Shawish, A., Zeid, A., & Kouta, M. (2012). Integrated QoS Utility-Based Model for Cloud Computing Service Provider Selection. En *Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW), 2012 IEEE 36th Annual* (pp. 45-50). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/COMPSACW.2012.18>
- Samet, N., Letaïfa, A. Ben, Hamdi, M., & Tabbane, S. (2016). Real-Time User Experience Evaluation for Cloud-Based Mobile Video. En *2016 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)* (pp. 204-208). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/WAINA.2016.120>
- Schneider, S., & Sunyaev, A. (2015). CloudLive: a life cycle framework for cloud services. *Electronic Markets*, 25(4), 299-311. <http://doi.org/10.1007/s12525-015-0205-y>
- Singh, S., & Chana, I. (2015). Q-aware: Quality of service based cloud resource provisioning. *Computers & Electrical Engineering*, 47, 138-160. article. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.02.003>
- Slivar, I., Skorin-Kapov, L., & Suznjevic, M. (2016). Cloud Gaming QoE Models for Deriving Video Encoding Adaptation Strategies. En *Proceedings of the 7th International Conference on Multimedia Systems* (p. 18:1--18:12). inproceedings, New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/2910017.2910602>
- Subramanian, T., & Savarimuthu, N. (2016). Application based brokering algorithm for optimal resource provisioning in multiple heterogeneous clouds. *Vietnam Journal of Computer Science*, 3(1), 57-70. article. <http://doi.org/10.1007/s40595-015-0055-8>
- Vedam, V., & Vemulapati, J. (2012). Demystifying Cloud Benchmarking Paradigm - An in Depth View. En *2012 IEEE 36th Annual Computer Software and Applications Conference* (pp. 416-421). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/COMPSAC.2012.61>

- Viji Rajendran, V., & Swamynathan, S. (2015). Hybrid model for dynamic evaluation of trust in cloud services. *Wireless Networks*, 1-12. article. <http://doi.org/10.1007/s11276-015-1069-y>
- Wang, S., & Dey, S. (2012). Cloud Mobile Gaming: Modeling and Measuring User Experience in Mobile Wireless Networks. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 16(1), 10-21. article. <http://doi.org/10.1145/2331675.2331679>
- Wang, Z., Jiang, N., & Zhou, P. (2015). Quality Model of Maintenance Service for Cloud Computing. En *High Performance Computing and Communications (HPCC), 2015 IEEE 7th International Symposium on Cyberspace Safety and Security (CSS), 2015 IEEE 12th International Conferen on Embedded Software and Systems (ICSS), 2015 IEEE 17th International Conference on* (pp. 1460-1465). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/HPCC-CSS-ICSS.2015.136>
- Wen, P. X., & Dong, L. (2013). Quality Model for Evaluating SaaS Service. En *Emerging Intelligent Data and Web Technologies (EIDWT), 2013 Fourth International Conference on* (pp. 83-87). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/EIDWT.2013.19>
- Wen, Z. Y., & Hsiao, H. F. (2014). QoE-driven performance analysis of cloud gaming services. En *Multimedia Signal Processing (MMSP), 2014 IEEE 16th International Workshop on* (pp. 1-6). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/MMSP.2014.6958835>
- Wohlin, C. (2014). Guidelines for Snowballing in Systematic Literature Studies and a Replication in Software Engineering. *18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering (EASE 2014)*, 1-10. <http://doi.org/10.1145/2601248.2601268>
- Xia, Y., Zhou, M., Luo, X., & Zhu, Q. (2013). A comprehensive QoS determination model for Infrastructure-as-a-Service clouds. En *2013 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)* (pp. 122-127). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/CoASE.2013.6654070>
- Xiong, K., & Chen, X. (2015). Ensuring Cloud Service Guarantees via Service Level Agreement (SLA)-Based Resource Allocation. En *2015 IEEE 35th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops* (pp. 35-41). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/ICDCSW.2015.18>
- Zant, B. El, & Gagnaire, M. (2015). Towards a unified customer aware figure of merit for CSP selection. *Journal of Cloud Computing*, 4(1), 1-23. article. <http://doi.org/10.1186/s13677-015-0049-1>
- Zheng, X., Martin, P., Brohman, K., & Xu, L. D. (2014). CLOUDQUAL: A Quality Model for Cloud Services. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1527-1536. article. <http://doi.org/10.1109/TII.2014.2306329>
- Zhou, P., Wang, Z., Li, W., & Jiang, N. (2015). Quality Model of Cloud Service. En *High Performance Computing and Communications (HPCC), 2015 IEEE 7th International*

Symposium on Cyberspace Safety and Security (CSS), 2015 IEEE 12th International Conferen on Embedded Software and Systems (ICESS), 2015 IEEE 17th International Conference on (pp. 1418-1423). inproceedings. <http://doi.org/10.1109/HPCC-CSS-ICESS.2015.134>

Apéndice A

Tabla 0.1. Cadenas de búsquedas utilizadas en las bibliotecas digitales

Biblioteca digital	Cadena de búsqueda	Campos de búsqueda	Restricciones	Fecha de búsqueda	# Artículos seleccionados
IEEE Xplore	<p>((p_Title:attribute* OR p_Title:characteristic*) OR (p_Title:metric* OR p_Title:measur*)) AND (p_Title:QoS OR p_Title:"quality of service" OR p_Title:QoE OR p_Title:"quality of experience" OR p_Title:"quality model" OR p_Title:"evaluation model" OR p_Title:"assessment model" OR p_Title:"quality in cloud" OR p_Title:"quality of cloud") AND (p_Title:cloud*))</p> <p>OR</p> <p>((p_Abstract:attribute* OR p_Abstract:characteristic*) OR (p_Abstract:metric* OR p_Abstract:measur*)) AND (p_Abstract:QoS OR p_Abstract:"quality of service" OR p_Abstract:QoE OR p_Abstract:"quality of experience" OR p_Abstract:"quality model" OR p_Abstract:"evaluation model" OR p_Abstract:"assessment model" OR p_Abstract:"quality in cloud" OR p_Abstract:"quality of cloud") AND (p_Abstract:cloud*))</p> <p>OR</p> <p>((p_Author_Terms:attribute* OR p_Author_Terms:characteristic*) OR (p_Author_Terms:metric* OR p_Author_Terms:measur*)) AND (p_Author_Terms:QoS OR p_Author_Terms:"quality of service" OR p_Author_Terms:QoE OR p_Author_Terms:"quality of experience" OR p_Author_Terms:"quality model" OR p_Author_Terms:"evaluation model" OR p_Author_Terms:"assessment model" OR p_Author_Terms:"quality in cloud" OR p_Author_Terms:"quality of cloud") AND (p_Author_Terms:cloud*))</p>	Títulos, resúmenes, y palabras claves.	Content Type: Conference Publications and Journals & Magazines. Year: 2006-2016	1 de junio de 2016	391
ACM Digital Library	<p>((acmdlTitle:attribute* OR acmdlTitle:characteristic*) OR (acmdlTitle:metric* OR acmdlTitle:measur*)) AND (acmdlTitle:QoS OR acmdlTitle:"quality of service" OR acmdlTitle:QoE OR acmdlTitle:"quality of experience" OR acmdlTitle:"quality model" OR acmdlTitle:"evaluation model" OR acmdlTitle:"assessment model" OR acmdlTitle:"quality in cloud" OR acmdlTitle:"quality of cloud") AND (acmdlTitle:cloud*))</p> <p>OR</p>	Títulos, resúmenes, y palabras claves.	Published since: 2006	1 de junio de 2016	40

Biblioteca digital	Cadena de búsqueda	Campos de búsqueda	Restricciones	Fecha de búsqueda	# Artículos seleccionados
	(((recordAbstract:attribute* OR recordAbstract:characteristic*) OR (recordAbstract:metric* OR recordAbstract:measur*)) AND (recordAbstract:QoS OR recordAbstract:"quality of service" OR recordAbstract:QoE OR recordAbstract:"quality of experience" OR recordAbstract:"quality model" OR recordAbstract:"evaluation model" OR recordAbstract:"assessment model" OR recordAbstract:"quality in cloud" OR recordAbstract:"quality of cloud") AND (recordAbstract:cloud*)) OR (((keywords.author.keyword:attribute* OR keywords.author.keyword:characteristic*) OR (keywords.author.keyword:metric* OR keywords.author.keyword:measur*)) AND (keywords.author.keyword:QoS OR keywords.author.keyword:"quality of service" OR keywords.author.keyword:QoE OR keywords.author.keyword:"quality of experience" OR keywords.author.keyword:"quality model" OR keywords.author.keyword:"evaluation model" OR keywords.author.keyword:"assessment model" OR keywords.author.keyword:"quality in cloud" OR keywords.author.keyword:"quality of cloud") AND (keywords.author.keyword:cloud*))				
ScienceDirect	TITLE-ABSTR-KEY((((attribute* OR characteristic*) OR (metric* OR measur*)) AND (QoS OR {quality of service} OR QoE OR {quality of experience} OR {quality model} OR {evaluation model} OR {quality in cloud} OR {quality of cloud})) AND (cloud*))	Títulos, resúmenes, y palabras claves.	Pub-date > 2005. Content type: Journal.	1 de junio de 2016	84
SpringerLink	(((attribute* OR characteristic*) OR (metric* OR measur*)) AND (QoS OR "quality of service" OR QoE OR "quality of experience" OR "quality model" OR "evaluation model" OR "quality in cloud" OR "quality of cloud") AND (cloud*))	Texto completo	Content Type: Article. Discipline: Computer Science and Business & Management, Language: English.	1 de junio de 2016	337

Apéndice B

Estudios Primarios Seleccionados en la Revisión Sistemática

- [S01] Abdeladim, A., Baina, S., & Baina, K. (2014). Elasticity and scalability centric quality model for the cloud. In 2014 Third IEEE International Colloquium in Information Science and Technology (CIST) (pp. 135–140). <http://doi.org/10.1109/CIST.2014.7016607>. [IEEE Xplore]
- [S02] Afify, Y. M., Moawad, I. F., Badr, N. L., & Tolba, M. F. (2013). A semantic-based Software-as-a-Service (SaaS) discovery and selection system. In Computer Engineering Systems (ICCES), 2013 8th International Conference on (pp. 57–63). <http://doi.org/10.1109/ICCES.2013.6707171>. [IEEE Xplore]
- [S03] Al-Jawad, A., Trestian, R., Shah, P., & Gemikonakli, O. (2015). BaProbSDN: A probabilistic-based QoS routing mechanism for Software Defined Networks. In Network Softwarization (NetSoft), 2015 1st IEEE Conference on (pp. 1–5). <http://doi.org/10.1109/NETSOFT.2015.7116128>. [IEEE Xplore]
- [S04] de Oliveira Jr., F. A., & Ledoux, T. (2011). Self-management of Applications QoS for Energy Optimization in Datacenters. In Green Computing Middleware on Proceedings of the 2Nd International Workshop (pp. 3:1–3:6). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2088996.2088999. [ACM]
- [S05] Badidi, E. (2013). A Cloud Service Broker for SLA-based SaaS provisioning. In Information Society (i-Society), 2013 International Conference on (pp. 61–66).. [IEEE Xplore]
- [S06] Baliyan, N., & Kumar, S. (2013). Quality Assessment of Software as a Service on Cloud Using Fuzzy Logic. In Cloud Computing in Emerging Markets (CCEM), 2013 IEEE International Conference on (pp. 1–6). <http://doi.org/10.1109/CCEM.2013.6684439>. [IEEE Xplore]
- [S07] Bao, D., Xiao, Z., Sun, Y., & Zhao, J. (2010). A method and framework for quality of cloud services measurement. In 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering(ICACTION) (Vol. 5, pp. V5–358–V5–362). <http://doi.org/10.1109/ICACTION.2010.5579535>. [IEEE Xplore]
- [S08] Baranwal, G., & Vidyarthi, D. P. (2014). A framework for selection of best cloud service provider using ranked voting method. In Advance Computing Conference (IACC), 2014 IEEE International (pp. 831–837). <http://doi.org/10.1109/IAdCC.2014.6779430>. [IEEE Xplore]
- [S09] Bardhan, S., & Milojevic, D. (2012). A Mechanism to Measure Quality-of-service in a Federated Cloud Environment. In Proceedings of the 2012 Workshop on Cloud Services, Federation, and the 8th Open Cirrus Summit (pp. 19–24). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2378975.2378981. [ACM]
- [S10] Benedetti, M. D., DURso, F., Messina, F., Pappalardo, G., & Santoro, C. (2015). A Hybrid Model for Ranking Cloud Services. In 2015 10th International

- Conference on P2P, Parallel, Grid, Cloud and Internet Computing (3PGCIC) (pp. 504–509). <http://doi.org/10.1109/3PGCIC.2015.28>. [IEEE Xplore]
- [S11] Bouselmi, K., Brahmi, Z., & Gammoudi, M. M. (2016). QoS-Aware Scheduling of Workflows in Cloud Computing Environments. In 2016 IEEE 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA) (pp. 737–745). <http://doi.org/10.1109/AINA.2016.72>. [IEEE Xplore]
- [S12] Bruneo, D. (2014). A Stochastic Model to Investigate Data Center Performance and QoS in IaaS Cloud Computing Systems. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 25(3), 560–569. <http://doi.org/10.1109/TPDS.2013.67>. [IEEE Xplore]
- [S13] Cedillo, P., Jimenez-Gomez, J., Abrahao, S., & Insfran, E. (2015). Towards a Monitoring Middleware for Cloud Services. In *Services Computing (SCC)*, 2015 IEEE International Conference on (pp. 451–458). <http://doi.org/10.1109/SCC.2015.68>. [IEEE Xplore]
- [S14] Cervino, J., Rodriguez, P., Trajkovska, I., Mozo, A., & Salvachua, J. (2011). Testing a Cloud Provider Network for Hybrid P2P and Cloud Streaming Architectures. In *Cloud Computing (CLOUD)*, 2011 IEEE International Conference on (pp. 356–363). <http://doi.org/10.1109/CLOUD.2011.52>. [IEEE Xplore]
- [S15] Chen, K. T., Chang, Y. C., Hsu, H. J., Chen, D. Y., Huang, C. Y., & Hsu, C. H. (2014). On the Quality of Service of Cloud Gaming Systems. *IEEE Transactions on Multimedia*, 16(2), 480–495. <http://doi.org/10.1109/TMM.2013.2291532>. [IEEE Xplore]
- [S16] Choi, C.-R., & Jeong, H.-Y. (2014). Quality evaluation and best service choice for cloud computing based on user preference and weights of attributes using the analytic network process. *Electronic Commerce Research*, 14(3), 245–270. <http://doi.org/10.1007/s10660-014-9156-1>. [SpringerLink]
- [S17] Costa, C. M., Leite, C. R. M., & Sousa, A. L. (2015). Service Response Time Measurement Model of Service Level Agreements in Cloud Environment. In 2015 IEEE International Conference on Smart City/SocialCom/SustainCom (SmartCity) (pp. 969–974). <http://doi.org/10.1109/SmartCity.2015.196>. [IEEE Xplore]
- [S18] de Assunção, M. D., Cardonha, C. H., Netto, M. A. S., & Cunha, R. L. F. (2016). Impact of user patience on auto-scaling resource capacity for cloud services. *Future Generation Computer Systems*, 55, 41–50. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2015.09.001>. [ScienceDirect]
- [S19] Dou, W., Xu, X., Meng, S., & Yu, S. (2015). An Energy-Aware QoS Enhanced Method for Service Computing across Clouds and Data Centers. In 2015 Third

- International Conference on Advanced Cloud and Big Data (pp. 80–87).
<http://doi.org/10.1109/CBD.2015.23>. [IEEE Xplore]
- [S20] Duggan, J., Cetintemel, U., Papaemmanouil, O., & Upfal, E. (2011). Performance Prediction for Concurrent Database Workloads. In Proceedings of the 2011 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data (pp. 337–348). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/1989323.1989359. [ACM]
- [S21] Faragardi, H. R., Shojaee, R., Tabani, H., & Rajabi, A. (2013). An analytical model to evaluate reliability of cloud computing systems in the presence of QoS requirements. In Computer and Information Science (ICIS), 2013 IEEE/ACIS 12th International Conference on (pp. 315–321).
<http://doi.org/10.1109/ICIS.2013.6607860>. [IEEE Xplore]
- [S22] Feng, J., & Kong, L. (2015). A Fuzzy Multi-objective Genetic Algorithm for QoS-based Cloud Service Composition. In 2015 11th International Conference on Semantics, Knowledge and Grids (SKG) (pp. 202–206).
<http://doi.org/10.1109/SKG.2015.23>. [IEEE Xplore]
- [S23] Garg, S. K., Versteeg, S., & Buyya, R. (2013). A framework for ranking of cloud computing services. *Future Generation Computer Systems*, 29(4), 1012–1023. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2012.06.006>. [ScienceDirect]
- [S24] Ghafari, S. M., Fazeli, M., Patooghy, A., & Rikhtechi, L. (2013). Bee-MMT: A load balancing method for power consumption management in cloud computing. In Contemporary Computing (IC3), 2013 Sixth International Conference on (pp. 76–80). <http://doi.org/10.1109/IC3.2013.6612165>. [IEEE Xplore]
- [S25] Gholami, A., & Arani, M. G. (2015). A trust model for resource selection in cloud computing environment. In 2015 2nd International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation (KBEI) (pp. 144–151).
<http://doi.org/10.1109/KBEI.2015.7436036>. [IEEE Xplore]
- [S26] Ghosh, R., Longo, F., Naik, V. K., & Trivedi, K. S. (2010). Quantifying Resiliency of IaaS Cloud. In Reliable Distributed Systems, 2010 29th IEEE Symposium on (pp. 343–347). <http://doi.org/10.1109/SRDS.2010.49>. [IEEE Xplore]
- [S27] Goiri, Í., Julià, F., Fitó, J. O., Macías, M., & Guitart, J. (2012). Supporting CPU-based guarantees in cloud SLAs via resource-level QoS metrics. *Future Generation Computer Systems*, 28(8), 1295–1302. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2011.11.004>. [ScienceDirect]
- [S28] Guérout, T., Medjiah, S., Costa, G. Da, & Monteil, T. (2014). Quality of service modeling for green scheduling in Clouds. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 4(4), 225–240.

<http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.suscom.2014.08.006>.

[ScienceDirect]

- [S29] Hassam, M., Kara, N., Belqasmi, F., & Glitho, R. (2014). Virtualized Infrastructure for Video Game Applications in Cloud Environments. In Proceedings of the 12th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access (pp. 109–114). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2642668.2642679. [ACM]
- [S30] Hecht, G., Jose-Scheidt, B., Figueiredo, C. D., Moha, N., & Khomh, F. (2014). An Empirical Study of the Impact of Cloud Patterns on Quality of Service (QoS). In Cloud Computing Technology and Science (CloudCom), 2014 IEEE 6th International Conference on (pp. 278–283). <http://doi.org/10.1109/CloudCom.2014.141>. [IEEE Xplore]
- [S31] Heidari, P., Boucheneb, H., & Shami, A. (2015). A Formal Approach for QoS Assurance in the Cloud. In 2015 IEEE 7th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom) (pp. 629–634). <http://doi.org/10.1109/CloudCom.2015.36>. [IEEE Xplore]
- [S32] Joy, N., Chandrasekaran, K., & Binu, A. (2015). A study on energy efficient cloud computing. In 2015 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC) (pp. 1–6). <http://doi.org/10.1109/ICIC.2015.7435661>. [IEEE Xplore]
- [S33] Karim, R., Ding, C., & Miri, A. (2015). End-to-End Performance Prediction for Selecting Cloud Services Solutions. In Service-Oriented System Engineering (SOSE), 2015 IEEE Symposium on (pp. 69–77). <http://doi.org/10.1109/SOSE.2015.11>. [IEEE Xplore]
- [S34] Katsaros, G., Subirats, J., Fitó, J. O., Guitart, J., Gilet, P., & Espling, D. (2013). A service framework for energy-aware monitoring and VM management in Clouds. *Future Generation Computer Systems*, 29(8), 2077–2091. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2012.12.006>. [ScienceDirect]
- [S35] Kaur, P. D., & Chana, I. (2014). A resource elasticity framework for QoS-aware execution of cloud applications. *Future Generation Computer Systems*, 37, 14–25. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2014.02.018>. [ScienceDirect]
- [S36] Khan, H. M., Chan, G. Y., & Chua, F. F. (2016). An adaptive monitoring framework for ensuring accountability and quality of services in cloud computing. In 2016 International Conference on Information Networking (ICOIN) (pp. 249–253). <http://doi.org/10.1109/ICOIN.2016.7427071>. [IEEE Xplore]
- [S37] Kirsal, Y., Ever, Y. K., Mostarda, L., & Gemikonakli, O. (2015). Analytical Modelling and Performability Analysis for Cloud Computing Using Queuing

- System. In 2015 IEEE/ACM 8th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC) (pp. 643–647). <http://doi.org/10.1109/UCC.2015.115>. [IEEE Xplore]
- [S38] Klymash, M., Beshley, M., Strykhalyuk, B., & Maksymyuk, T. (2014). Research and development the methods of quality of service provision in Mobile Cloud systems. In Communications and Networking (BlackSeaCom), 2014 IEEE International Black Sea Conference on (pp. 160–164). <http://doi.org/10.1109/BlackSeaCom.2014.6849030>. [IEEE Xplore]
- [S39] Kumar, S., Pandey, M. K., Nath, A., Subbiah, K., & Singh, M. K. (2015). Comparative study on machine learning techniques in predicting the QoS-values for web-services recommendations. In Computing, Communication Automation (ICCCA), 2015 International Conference on (pp. 161–167). <http://doi.org/10.1109/CCAA.2015.7148398>. [IEEE Xplore]
- [S40] Lee, J. Y., Lee, J. W., Cheun, D. W., & Kim, S. D. (2009). A Quality Model for Evaluating Software-as-a-Service in Cloud Computing. In Software Engineering Research, Management and Applications, 2009. SERA '09. 7th ACIS International Conference on (pp. 261–266). <http://doi.org/10.1109/SERA.2009.43>. [IEEE Xplore]
- [S41] Lim, E., & Thiran, P. (2014). Communication of Technical QoS among Cloud Brokers. In Cloud Engineering (IC2E), 2014 IEEE International Conference on (pp. 403–409). <http://doi.org/10.1109/IC2E.2014.92>. [IEEE Xplore]
- [S42] Lin, Y.-K., & Chang, P.-C. (2011). Maintenance reliability estimation for a cloud computing network with nodes failure. *Expert Systems with Applications*, 38(11), 14185–14189. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.230>. [ScienceDirect]
- [S43] Liu, M., Dou, W., Yu, S., & Zhang, Z. (2014). A clusterized firewall framework for cloud computing. In 2014 IEEE International Conference on Communications (ICC) (pp. 3788–3793). <http://doi.org/10.1109/ICC.2014.6883911>. [IEEE Xplore]
- [S44] Ma, H., Hu, Z., Yang, L., & Song, T. (2014). User feature-aware trustworthiness measurement of cloud services via evidence synthesis for potential users. *Journal of Visual Languages & Computing*, 25(6), 791–799. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.jvlc.2014.10.006>. [ScienceDirect]
- [S45] Manuel, P. (2015). A trust model of cloud computing based on Quality of Service. *Annals of Operations Research*, 233(1), 281–292. <http://doi.org/10.1007/s10479-013-1380-x>. [SpringerLink]
- [S46] Mastelic, T., Brandic, I., & Jaarevic, J. (2014). CPU Performance Coefficient (CPU-PC): A Novel Performance Metric Based on Real-Time CPU Resource Provisioning in Time-Shared Cloud Environments. In Cloud Computing

- Technology and Science (CloudCom), 2014 IEEE 6th International Conference on (pp. 408–415). <http://doi.org/10.1109/CloudCom.2014.13>. [IEEE Xplore]
- [S47] Mohamed, M. F. (2016). Service replication taxonomy in distributed environments. *Service Oriented Computing and Applications*, 1–20. <http://doi.org/10.1007/s11761-015-0189-7>. [SpringerLink]
- [S48] Nadanam, P., & Rajmohan, R. (2012). QoS evaluation for web services in cloud computing. In *Computing Communication Networking Technologies (ICCCNT), 2012 Third International Conference on* (pp. 1–8). <http://doi.org/10.1109/ICCCNT.2012.6395991>. [IEEE Xplore]
- [S49] Palomares, D., Migault, D., Hendrik, H., Laurent, M., & Pujolle, G. (2014). Elastic Virtual Private Cloud. In *Proceedings of the 10th ACM Symposium on QoS and Security for Wireless and Mobile Networks* (pp. 127–131). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2642687.2642704. [ACM]
- [S50] Pedersen, J. M., Riaz, M. T., Junior, J. C., Dubalski, B., Ledzinski, D., & Patel, A. (2011). Assessing Measurements of QoS for Global Cloud Computing Services. In *Dependable, Autonomic and Secure Computing (DASC), 2011 IEEE Ninth International Conference on* (pp. 682–689). <http://doi.org/10.1109/DASC.2011.120>. [IEEE Xplore]
- [S51] Qian, S., Cao, J., Le Mouël, F., Li, M., & Wang, J. (2015). Towards Prioritized Event Matching in a Content-based Publish/Subscribe System. In *Proceedings of the 9th ACM International Conference on Distributed Event-Based Systems* (pp. 116–127). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2675743.2771823. [ACM]
- [S52] Ran, Y., Shi, Y., Yang, E., Chen, S., & Yang, J. (2014). Dynamic resource allocation for video transcoding with QoS guaranteeing in cloud-based DASH system. In *2014 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)* (pp. 144–149). <http://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2014.7063421>. [IEEE Xplore]
- [S53] Ravindran, K. (2013). Self-Assessment and Reconfiguration Methods for Autonomous Cloud-based Network Systems. In *Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT), 2013 IEEE/ACM 17th International Symposium on* (pp. 87–94). <http://doi.org/10.1109/DS-RT.2013.37>. [IEEE Xplore]
- [S54] Ravindran, K., & Adiththan, A. (2014). Verification of Non-functional Properties of Cloud-based Distributed System Services. In *Proceedings of the 9th International Workshop on Automation of Software Test* (pp. 43–49). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2593501.2593508. [ACM]
- [S55] Rizvi, S., Ryoo, J., Kissell, J., & Aiken, B. (2015). A Stakeholder-oriented Assessment Index for Cloud Security Auditing. In *Proceedings of the 9th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication* (pp. 55:1–55:7). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2701126.2701226. [ACM]

- [S56] Roohitavaf, M., Entezari-Maleki, R., & Movaghar, A. (2013). Availability Modeling and Evaluation of Cloud Virtual Data Centers. In *Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2013 International Conference on* (pp. 675–680). <http://doi.org/10.1109/ICPADS.2013.120>. [IEEE Xplore]
- [S57] Saiz, E., Ibarrola, E., Cristobo, L., & Taboada, I. (2014). A cloud platform for QoE evaluation: QoXcloud. In *ITU Kaleidoscope Academic Conference: Living in a converged world - Impossible without standards?*, Proceedings of the 2014 (pp. 241–247). <http://doi.org/10.1109/Kaleidoscope.2014.6858471>. [IEEE Xplore]
- [S58] Salama, M., & Bahsoon, R. (2015). Quality-Driven Architectural Patterns for Self-Aware Cloud-Based Software. In *2015 IEEE 8th International Conference on Cloud Computing* (pp. 844–851). <http://doi.org/10.1109/CLOUD.2015.116>. [IEEE Xplore]
- [S59] Salama, M., Shawish, A., Zeid, A., & Kouta, M. (2012). Integrated QoS Utility-Based Model for Cloud Computing Service Provider Selection. In *Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW), 2012 IEEE 36th Annual* (pp. 45–50). <http://doi.org/10.1109/COMPSACW.2012.18>. [IEEE Xplore]
- [S60] Samet, N., Letaifa, A. Ben, Hamdi, M., & Tabbane, S. (2016). Real-Time User Experience Evaluation for Cloud-Based Mobile Video. In *2016 30th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA)* (pp. 204–208). <http://doi.org/10.1109/WAINA.2016.120>. [IEEE Xplore]
- [S61] Singh, S., & Chana, I. (2015). Q-aware: Quality of service based cloud resource provisioning. *Computers & Electrical Engineering*, 47, 138–160. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.compeleceng.2015.02.003>. [ScienceDirect]
- [S62] Slivar, I., Skorin-Kapov, L., & Suznjevic, M. (2016). Cloud Gaming QoE Models for Deriving Video Encoding Adaptation Strategies. In *Proceedings of the 7th International Conference on Multimedia Systems* (pp. 18:1–18:12). New York, NY, USA: ACM. doi:10.1145/2910017.2910602. [ACM]
- [S63] Son, S., & Sim, K. M. (2015). Adaptive and similarity-based tradeoff algorithms in a price-timeslot-QoS negotiation system to establish cloud SLAs. *Information Systems Frontiers*, 17(3), 565–589. <http://doi.org/10.1007/s10796-013-9432-y>. [SpringerLink]
- [S64] Sousa, F. R. C., & Machado, J. C. (2012). Towards Elastic Multi-Tenant Database Replication with Quality of Service. In *Utility and Cloud Computing (UCC), 2012 IEEE Fifth International Conference on* (pp. 168–175). <http://doi.org/10.1109/UCC.2012.36>. [IEEE Xplore]
- [S65] Subramanian, T., & Savarimuthu, N. (2016). Application based brokering algorithm for optimal resource provisioning in multiple heterogeneous

- clouds. *Vietnam Journal of Computer Science*, 3(1), 57–70. <http://doi.org/10.1007/s40595-015-0055-8>. [SpringerLink]
- [S66] Vedam, V., & Vemulapati, J. (2012). Demystifying Cloud Benchmarking Paradigm - An in Depth View. In 2012 IEEE 36th Annual Computer Software and Applications Conference (pp. 416–421). <http://doi.org/10.1109/COMPSAC.2012.61>. [IEEE Xplore]
- [S67] Viji Rajendran, V., & Swamynathan, S. (2015). Hybrid model for dynamic evaluation of trust in cloud services. *Wireless Networks*, 1–12. <http://doi.org/10.1007/s11276-015-1069-y>. [SpringerLink]
- [S68] Wagle, S. S., Guzek, M., Bouvry, P., & Bisdorff, R. (2015). An Evaluation Model for Selecting Cloud Services from Commercially Available Cloud Providers. In 2015 IEEE 7th International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom) (pp. 107–114). <http://doi.org/10.1109/CloudCom.2015.94>. [IEEE Xplore]
- [S69] Wang, G., Wang, H., Arroyo, S., Rencher, R., & Tjelle, J. (2012). Compositional QoS Modeling and Analysis of Cloud-based Federated Ecosystems. In Enterprise Distributed Object Computing Conference (EDOC), 2012 IEEE 16th International (pp. 173–182). <http://doi.org/10.1109/EDOC.2012.28>. [IEEE Xplore]
- [S70] Wang, S., & Dey, S. (2012). Cloud Mobile Gaming: Modeling and Measuring User Experience in Mobile Wireless Networks. *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, 16(1), 10–21. doi:10.1145/2331675.2331679. [ACM]
- [S71] Wang, Z., Jiang, N., & Zhou, P. (2015). Quality Model of Maintenance Service for Cloud Computing. In High Performance Computing and Communications (HPCC), 2015 IEEE 7th International Symposium on Cyberspace Safety and Security (CSS), 2015 IEEE 12th International Conference on Embedded Software and Systems (ICSS), 2015 IEEE 17th International Conference on (pp. 1460–1465). <http://doi.org/10.1109/HPCC-CSS-ICSS.2015.136>. [IEEE Xplore]
- [S72] Wen, P. X., & Dong, L. (2013). Quality Model for Evaluating SaaS Service. In Emerging Intelligent Data and Web Technologies (EIDWT), 2013 Fourth International Conference on (pp. 83–87). <http://doi.org/10.1109/EIDWT.2013.19>. [IEEE Xplore]
- [S73] Wen, Z. Y., & Hsiao, H. F. (2014). QoE-driven performance analysis of cloud gaming services. In Multimedia Signal Processing (MMSP), 2014 IEEE 16th International Workshop on (pp. 1–6). <http://doi.org/10.1109/MMSP.2014.6958835>. [IEEE Xplore]
- [S74] Wu, X., Liu, G., & Xu, J. (2015). A QoS-constrained scheduling for access requests in cloud storage. In Industrial Electronics and Applications (ICIEA),

- 2015 IEEE 10th Conference on (pp. 155–160). <http://doi.org/10.1109/ICIEA.2015.7334102>. [IEEE Xplore]
- [S75] Xia, Y., Zhou, M., Luo, X., Zhu, Q., Li, J., & Huang, Y. (2015). Stochastic Modeling and Quality Evaluation of Infrastructure-as-a-Service Clouds. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 12(1), 162–170. <http://doi.org/10.1109/TASE.2013.2276477>. [IEEE Xplore]
- [S76] Xiao, Y., Lin, C., Jiang, Y., Chu, X., & Shen, X. (2010). Reputation-Based QoS Provisioning in Cloud Computing via Dirichlet Multinomial Model. In *Communications (ICC), 2010 IEEE International Conference on* (pp. 1–5). <http://doi.org/10.1109/ICC.2010.5502407>. [IEEE Xplore]
- [S77] Xiong, K., & Chen, X. (2015). Ensuring Cloud Service Guarantees via Service Level Agreement (SLA)-Based Resource Allocation. In *2015 IEEE 35th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops* (pp. 35–41). <http://doi.org/10.1109/ICDCSW.2015.18>. [IEEE Xplore]
- [S78] Xu, J., Gong, W., & Wang, Y. (2012). A cloud service discovery approach based on FCA. In *2012 IEEE 2nd International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems (Vol. 03, pp. 1357–1361)*. <http://doi.org/10.1109/CCIS.2012.6664607>. [IEEE Xplore]
- [S79] Yataghene, L., Amziani, M., Ioualalen, M., & Tata, S. (2014). A Queuing Model for Business Processes Elasticity Evaluation. In *Advanced Information Systems for Enterprises (IWAISE), 2014 International Workshop on* (pp. 22–28). <http://doi.org/10.1109/IWAISE.2014.12>. [IEEE Xplore]
- [S80] Yu, N., Gu, F., Guo, X., & He, Z. (2015). A Fine-grained Flow Control Model for Cloud-assisted Data Broadcasting. In *Proceedings of the 18th Symposium on Communications & Networking* (pp. 24–31). San Diego, CA, USA: Society for Computer Simulation International. Retrieved from <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2872550.2872554>. [ACM]
- [S81] Zant, B. El, & Gagnaire, M. (2015). Towards a unified customer aware figure of merit for CSP selection. *Journal of Cloud Computing*, 4(1), 1–23. <http://doi.org/10.1186/s13677-015-0049-1>. [JoCCASA]
- [S82] Zheng, X., Martin, P., & Brohman, K. (2013). Cloud Service Negotiation: A Research Roadmap. In *Services Computing (SCC), 2013 IEEE International Conference on* (pp. 627–634). <http://doi.org/10.1109/SCC.2013.93>. [IEEE Xplore]
- [S83] Zheng, X., Martin, P., Brohman, K., & Xu, L. D. (2014). CLOUDQUAL: A Quality Model for Cloud Services. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(2), 1527–1536. <http://doi.org/10.1109/TII.2014.2306329>. [IEEE Xplore]
- [S84] Zhou, P., Wang, Z., Li, W., & Jiang, N. (2015). Quality Model of Cloud Service. In *High Performance Computing and Communications (HPCC), 2015 IEEE 7th International Symposium on Cyberspace Safety and Security (CSS), 2015 IEEE 12th International Conference on Embedded Software and Systems*

- (ICISS), 2015 IEEE 17th International Conference on (pp. 1418–1423). <http://doi.org/10.1109/HPCC-CSS-ICISS.2015.134>. [IEEE Xplore]
- [S85] Zhu, F., Li, H., & Lu, J. (2012). A service level agreement framework of cloud computing based on the Cloud Bank model. In Computer Science and Automation Engineering (CSAE), 2012 IEEE International Conference on (Vol. 1, pp. 255–259). <http://doi.org/10.1109/CSAE.2012.6272592>. [IEEE Xplore]

Apéndice C

Atributos específicos para servicios cloud

	Atributo	Referencia
1	Elasticidad	[S49], [S64], [S79], [S84], [S65]
2	Estabilidad del servicio	[S65], [S54], [S71], [S84]
3	Transparencia	[S06], [S72], [S65]
4	Multi-alquiler	[S64], [S72]
5	Automatización de la infraestructura virtual	[S10]
6	Cadena de suministro del proveedor	[S65]
7	Capacidad de sensibilidad a la ubicación	[S72]
8	Capacidad de servicio	[S72]
9	Certificación	[S08]
10	Certificaciones del proveedor	[S65]
11	Contrato del proveedor/Verificación del SLA	[S65]
12	Estabilidad de la actividad del proveedor	[S65]
13	Ética del proveedor	[S65]
14	Evaluación del proveedor	[S72]
15	Facilidad de soporte al cliente	[S08]
16	Flexibilidad	[S65]
17	Gestión del SLA	[S72]
18	Plataformas soportadas	[S08]
19	Proceso de pago	[S65]
20	Propiedad	[S65]
21	Requisitos personales del proveedor	[S65]
22	SLA	[S72]
23	Soporte de sistemas operativos	[S08]
24	Soporte del proveedor	[S08]
25	Técnica de la virtualización	[S08]
26	Utilidad	[S65]
27	Valor del servicio	[S59]