

Evaluación de metodologías para la validación de requerimientos

Sonia R. Santana¹, Leandro Antonelli², Pablo Thomas³

⁽¹⁾ Facultad de Ciencias de la Administración - Universidad Nacional de Entre Ríos
sonia.santana@uner.edu.ar

⁽²⁾ Laboratorio de Investigación y Formación en Informática Avanzada (LIFIA), Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata
leandro.antonelli@lifa.info.unlp.edu.ar

⁽³⁾ Instituto de Investigación en Informática (III-LIDI). Facultad de Informática, Universidad Nacional de La Plata - Centro Asociado CIC. Buenos Aires, Argentina
pthomas@lidi.info.unlp.edu.ar

Abstract. Una de las fases más importantes en el desarrollo de un proyecto de software es la validación de los requerimientos. Los requerimientos erróneos, si no se detectan a tiempo, pueden causar problemas, como costos adicionales, incumplimiento de los objetivos esperados y retrasos en las fechas de entrega. Por estas razones, es beneficioso dedicar un esfuerzo a esta tarea. Con el fin de utilizar la metodología adecuada, en este trabajo se realizó un relevamiento de las principales tendencias de la validación de requerimientos del software desde el año 2007 hasta el año 2021. Se seleccionaron y evaluaron exhaustivamente cuatro metodologías a partir de un marco “Way-of” o “forma de” y de un modelo de referencia para revisiones técnicas.

Keywords: Ingeniería de requerimientos, validación de requerimientos, metodología para la validación de requerimientos.

1 Introducción

En el marco de la Ingeniería de Requerimientos (RE por sus siglas en inglés Requirements Engineering) la validación de los requerimientos es una tarea fundamental en cualquier proyecto de Ingeniería de Software y debe ser un proceso continuo en el ciclo de vida del desarrollo del sistema. El principal objetivo de la validación de requerimientos es confirmar que los requerimientos especificados sean representaciones de las necesidades y expectativas de los usuarios [1] [2] [3] y que además sean completos, correctos y consistentes [4] entre otras características.

Según Kotonya la validación de requerimientos se refiere a verificar la coherencia, integridad y corrección del documento de requerimientos [3], y también se establece que los requerimientos deben ser: validos, comprensibles, consistentes, trazables, íntegros, reales y verificables [5]. Según Bahill [6] el proceso de validación de requerimientos consiste en primer lugar en asegurar que un conjunto de requerimientos sean: correctos, completos y consistentes; en segundo lugar si se puede crear un modelo que cumpla con los requerimientos, y por último que se pueda construir y probar una solución de software en el mundo real para demostrar que cumple con los requerimientos de las partes interesadas.

Trabajar en la validación de requerimientos se está convirtiendo en un desafío para los equipos, clientes y usuarios. Existen diferentes causas que imponen problemas de comunicación, control, intercambio de conocimientos, confianza y retrasos en el desarrollo del software [7].

Este trabajo se enfoca en las principales tendencias de la validación de requerimientos del software y presenta una evaluación exhaustiva de cuatro metodologías para la validación de requerimientos.

El resto del artículo está organizado de la siguiente manera, en la sección 2 se realiza una revisión de la literatura para seleccionar las metodologías para la validación de requerimientos. En la sección 3 se evalúan las metodologías seleccionadas con un marco “Way-of” o “forma de” y un modelo de referencia para revisiones técnicas. En la sección 4 se analizan los resultados obtenidos. Finalmente, en la sección 5 se expresan conclusiones y trabajo futuro.

2 Revisión bibliográfica

En esta sección se realizó un proceso de tres fases: búsqueda, selección y evaluación de trabajos para una revisión bibliográfica de metodologías para la validación de requerimientos.

La pregunta a responder para el proceso de revisión es ¿Cuál es la tendencia de las prácticas relacionadas con el proceso de validación de requerimientos? Las búsquedas se realizaron en artículos publicados en las fuentes de información IEEE, Elsevier, Springer y ACM Digital Library, publicados entre 2007 y 2021.

Los criterios de inclusión y exclusión son los siguientes: a) Los artículos seleccionados deben estar directamente relacionados con el tema de validación de requerimientos en el área de RE. b) Los artículos no deben discutir la validación de requerimientos en la fase de prueba del software desarrollado o en la implementación en prueba con respecto a los requerimientos. c) Los artículos no deben utilizar términos como "Revisión sistemática de la literatura", "Revisión de la literatura", "Análisis sistemático".

Luego, se aplicaron los criterios de evaluación presentados en la Tabla 1. La lista de criterios de evaluación fue adaptada de [8] y permite seleccionar los artículos finales en base a seis criterios que se enumeran.

Tabla 1. Criterios de evaluación.

<i>Sección</i>	<i>Criterios</i>
Introducción	1. ¿La introducción proporciona una descripción general del aporte para la validación de requerimientos? 2. ¿Qué tipo de aporte es? Una metodología, enfoque, método, técnica, marco o herramienta. 3. ¿Está claramente definido el propósito / objetivo de la investigación?
Metodología	4. ¿Está claramente definida la metodología de investigación?
Resultados	5. ¿Están los hallazgos claramente establecidos? ¿Los resultados ayudan a resolver los problemas de validación de requerimientos?
Conclusión	6. ¿Existen límites o restricciones impuestas a la afirmación de conclusión?

Esta revisión bibliográfica permitió preseleccionar 38 artículos de los cuales posteriormente se seleccionaron solo aquellos que aportan una metodología para el proceso de validación de requerimientos. El resultado de la selección final se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Artículos seleccionados de la revisión bibliográfica.

<i>Ref. Bibliog.</i>	<i>Ref. Estudio</i>	<i>Año</i>	<i>Nombre</i>	<i>Dominio de aplicación</i>
[9]	M1	2007	FBCM	Empresa
[10]	M2	2009	From Informal Requirements to Property-Driven Formal Validation	Sistema con seguridad crítica.
[11]	M3	2011	CoReVDO	Sistemas distribuidos.
[12]	M4	2020	A Methodology of Requirements Validation for Aviation System Development	Sistemas de aviación civil

3 Evaluación de las metodologías

En esta sección se evalúan las metodologías seleccionadas con un marco “Way-of” o “forma de” y un modelo de referencia para revisiones técnicas para conocer sus características, necesidades de información y restricciones.

3.1 Definición del marco de referencia para evaluar las metodologías.

Existen metodologías que introducen modelos con poco conocimiento, otras metodologías ofrecen algoritmos, o al menos procedimientos explícitos para construir un modelo específico o verificarlo. Sin embargo, otras metodologías brindan sugerencias informales pero prácticas para obtener un modelo. Por tanto, es prudente distinguir entre la "forma de modelar" y la "forma de trabajar" de una metodología. La “forma de control” está en esencia relacionada con el control de tiempo, costos y calidad del proceso de desarrollo de los sistemas de información y sus productos.

Según Seligmann [13], las metodologías se pueden describir diferenciando entre una forma de modelar, una forma de trabajar y una forma de control. Sin embargo, para comprender realmente una metodología Sol [14] y Kensing [15] consideran necesario conocer su filosofía subyacente o “forma de pensar” utilizada para mirar las organizaciones y los sistemas de información. El marco “Way-of” o “forma de” que se utiliza para evaluar las metodologías con cinco aspectos diferentes, cada uno de ellos se describe con explicaciones sobre sus contribuciones para la gestión flexible del proceso de desarrollo [16]. Los cinco aspectos del marco “Way-of” o “forma de” son:

- **Forma de Pensar:** Define lineamientos de desarrollo de la metodología, por lo tanto provee una perspectiva del dominio del problema y hace explícita las suposiciones, principios y estrategias sobre la misma.
- **Forma de Modelar:** Provee información de los conceptos para el modelado. Proporciona formalismo y notación para expresar modelos de proceso de la metodología.
- **Forma de Trabajar:** Define la estructura del proceso de la metodología, las actividades, tareas y la secuencia en el que se deben llevar a cabo.
- **Forma de Controlar:** Define los medios que ofrece una metodología para determinar cómo se debe controlar y evaluar el modelo de la metodología.
- **Forma de Soportar/Apoyar:** Se refiere a las técnicas, herramientas y/o ayudas de trabajo que apoyan la ejecución del proceso de la metodología.

A partir de estos aspectos se elaboraron un conjunto de preguntas para poder evaluarlos. La Tabla 3 presenta estas preguntas.

Tabla 3: Conjunto de preguntas para evaluar los aspectos del marco “Way of’ o “forma de”

<i>Forma de</i>	<i>Preguntas de evaluación</i>
Pensar (Enmarca a la metodológica)	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la función de la metodología? • ¿Cuáles son los componentes de la metodología? • ¿Cuál es el entorno de la metodología? • ¿Cuáles son los componentes del entorno de la metodología? • ¿Cuáles son las características de la metodología y su entorno?
Modelar (Proceso operativo orientado al producto de la metodología)	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué modelo utiliza la metodología? • ¿La metodología describe los componentes y sus relaciones dentro de los modelos utilizados? • ¿La metodología describe las relaciones entre los modelos utilizados?
Trabajar (Proceso operativo orientado al proceso de la metodología)	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las actividades y tareas de la metodología? • ¿Cuáles son las responsabilidades de las actividades y tareas de la metodología?
Controlar (Proceso orientado a controlar y evaluar el modelo)	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuál es la forma de control que utiliza la metodología? • ¿Cuáles son los objetivos medidos a través de indicadores?
Soportar/Apoyar (Proceso de apoyo para la ejecución de la metodología)	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cuáles son las técnicas, herramientas y/o ayudas de trabajo que apoyan la metodología? • ¿Qué estándares utiliza la metodología?

3.2 Evaluación de las metodologías según el marco de referencia.

Esta subsección describe el análisis de cada una de las metodologías seleccionadas en la Tabla 2. El análisis consiste en responder a cada una de las preguntas de la Tabla 3. Las tablas 4, 5, 6 y 7 presentan las respuestas para cada metodología: M1, M2, M3 y M4.

Tabla 4. Evaluación de la Metodología M1

<i>Forma de</i>	<i>Metodología M1</i>
<i>Pensar</i>	<p>Función: definir y validar requerimientos comerciales que se utilizan como requerimientos funcionales de software.</p> <p>Componentes: modelos de colaboración de hechos.</p> <p>Entorno: sistemas empresariales.</p> <p>Componentes del entorno: planificación de sistema, análisis y especificación de requerimientos.</p> <p>Características: evaluar la integridad de las metas y objetivos fundamentales de la organización para el desarrollo del sistema de tecnología de la información.</p>
<i>Modelar</i>	<p>Modelo: BSC (Balanced Score Card) se utiliza para desarrollar estrategias en las empresas.</p> <p>Perspectiva: puntos de vista del objetivo estratégico- Procesos críticos – Objetivos estratégicos de la empresa – Indicador clave de rendimiento (KPI) – Relación causa-efecto entre los objetivos estratégicos.</p> <p>Relación entre los componentes: Visualizar la estrategia de BSC, adicionar objetivos por observación, analizar la estructura de estrategia, evaluar la validez de la estructura de la estrategia y extraer funciones del sistema.</p>
<i>Trabajar</i>	<p>La metodología propone un enfoque dividido en 5 pasos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Visualizar la estrategia de BSC. Generar un árbol de análisis de objetivos. 2. Adicionar objetivos por observación 3. Analizar la estructura de estrategia. Asignar KPI a cada objetivo estratégico. 4. Evaluar la validez de la estructura de la estrategia, mediante análisis estadístico de los datos de KPI. 5. Extraer resultados y refinar el árbol de análisis de objetivos.
<i>Controlar</i>	<p>Control: biblioteca de 700 KPI para que los desarrolladores elijan KPI fácilmente divididas en 4 perspectivas: financiera, del cliente, de procesos de negocio, de aprendizaje y conocimiento.</p>
<i>Soportar/ Apoyar</i>	<p>Técnicas: árbol de análisis de objetivos, tarjetas de observaciones de campo, mapa de estrategias y matriz de colaboración.</p>

Tabla 5. Evaluación de la Metodología M2

<i>Forma de</i>	<i>Metodología M2</i>
<i>Pensar</i>	<p>Función: validar una especificación de requerimientos escrita en lenguaje informal.</p> <p>Componentes: modelos formales para la validación de requerimientos.</p> <p>Entorno: sistemas complejos de seguridad crítica.</p> <p>Componentes del entorno: especificación de los requerimientos escrita en un lenguaje informal.</p> <p>Características: Formalizar los requerimientos en el uso del lenguaje de modelado unificado (UML) y en el uso de un lenguaje natural controlado (CNL), basado en un subconjunto del lenguaje de especificación de propiedades (PSL).</p>
<i>Modelar</i>	<p>Modelo: lenguaje de modelado unificado (UML), lenguaje natural controlado (CNL) y lenguaje de especificación de propiedades (PSL).</p> <p>Componentes: diagrama de clases, máquinas de estado y diagramas de secuencia.</p> <p>Relación entre los componentes: En primer lugar, la metodología prevé un análisis informal del documento de requerimientos para categorizar cada requerimiento. Luego, cada fragmento de requerimiento se formaliza según la categorización mediante diagramas UML y el uso de un Lenguaje Natural Controlado. Por último, se realiza un análisis formal automático para identificar posibles fallas en los requerimientos formalizados.</p>
<i>Trabajar</i>	<p>La metodología propone un enfoque dividido en 3 fases:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Fase de análisis de los requerimientos informales basados en inspecciones para identificar fallas. 2. Fase de formalización. Cada fragmento de requerimiento identificado en la fase de análisis informal especificando los conceptos y diagramas de UML correspondientes y / o las restricciones de CNL. Vincular los elementos UML con los requerimientos textuales. 3. Fase de validación formal. Verificar, reducir y validar los fragmentos de requerimientos formalizados.
<i>Controlar</i>	<p>Control: <i>Comprobación de vacuidad:</i> comprobar si una propiedad dada se mantiene de forma permanente. <i>Comprobación de la cobertura:</i> comprobar qué elementos del fragmento de requerimiento considerado formalizado han sido estimulados (cubiertos) por una traza generada.</p> <p>Análisis de seguridad: identificar las causas que conducen a la violación de una propiedad, es decir, identificar variables de interés que son causas de una infracción específica para que algoritmos avanzados pueden recopilar una descripción de las causas y organizarlas en forma de árbol de fallas.</p>

<i>Forma de</i>	<i>Metodología M2</i>
<i>Soportar/ Apoyar</i>	<p>Técnicas: diagrama de clases, diagrama de secuencias, máquinas de estado y lenguaje natural controlado.</p> <p>Herramientas: desarrolladas en base a estándares industriales: IBM Rational RequisitePro (RRP), interconectado con Microsoft Word, e IBM Rational Software Architect (RSA), para soportar la fase de análisis informal y la trazabilidad del vínculo entre los fragmentos de requerimientos informales y sus contrapartes.</p>

Tabla 6. Evaluación de la Metodología M3

<i>Forma de</i>	<i>Metodología M3</i>
<i>Pensar</i>	<p>Función: verificar, negociar y validar los requerimientos distribuidos mediante un conjunto de actividades.</p> <p>Componentes: múltiples puntos de vista y competencias cognitivas de las partes interesadas en un proceso distribuido y colaborativo.</p> <p>Entorno: sistemas distribuidos.</p> <p>Componentes del entorno: documento de especificación de requerimientos.</p> <p>Características: trabajar con equipos distribuidos geográficamente e incluir al cliente en el proceso de validación colaborativo.</p>
<i>Modelar</i>	<p>Modelo: Lenguaje de Modelado Unificado (UML).</p> <p>Componentes: diagrama de actividad.</p> <p>Relación entre los componentes: Presenta tres actividades principales: Organización, Verificación distribuida y Validación colaborativa.</p>
<i>Trabajar</i>	<p>La metodología propone un enfoque dividido en 3 fases:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Organizativa. Responsabilidad: Analista. Equipo de RE. 2. Verificación Requerimientos Funcionales y no Funcionales. Responsabilidad: Equipo de RE. 3. Validación colaborativa. Responsabilidad: Equipo de RE.
<i>Controlar</i>	<p>Control: tasa de motivación y compromiso entre las partes interesadas. Si la tasa es positiva, el acuerdo entre las partes es fuerte; de lo contrario, es moderado o negativo.</p> <p>Coherencia global donde un requerimiento no debe contradecir otros requerimientos establecidos después de la integración de requerimientos globales.</p>
<i>Soportar/ Apoyar</i>	<p>Técnicas: checklist, orientado al punto de vista, inspección, revisión y prototipos.</p> <p>Estándar: IEEE 830 para garantizar la calidad de los requerimientos y los entregables.</p>

Tabla 7. Evaluación de la Metodología M4

<i>Forma de</i>	<i>Metodología M4</i>
<i>Pensar</i>	<p>Función: validar una especificación de requerimientos y cumplir con la certificación ARP4754A, consideración especial del ciclo de vida de desarrollo de aeronaves y sistemas civiles.</p> <p>Componentes: modelos formales para la validación de requerimientos.</p> <p>Entorno: sistemas de aviación.</p> <p>Componentes del entorno: especificación de los requerimientos.</p> <p>Características: validar los requisitos considerando las características del diseño de aeronaves y las regulaciones de certificación durante el ciclo de vida del desarrollo del producto.</p>
<i>Modelar</i>	<p>Modelo: Modelo de proceso de validación basado en el cumplimiento de los objetos requeridos por los reguladores de certificación SAE ARP 4754A. Componentes: Plan de validación, rigor de validación, verificaciones de corrección y exactitud, matriz de validación (inicial y final) e informe de validación. Relación entre los componentes: En primer lugar, la metodología desarrolla un plan de validación, luego crea una matriz de validación donde verifica la corrección y comprueba la integridad para realizar su actualización. Por último genera un resumen para revisar las actividades de la validación.</p>
<i>Trabajar</i>	<p>La metodología propone un proceso dividido en:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Crear plan de validación. 2. Crear una matriz de validación de requerimientos. 3. Generar una lista de verificación de corrección de requerimientos. 4. Generar una lista de verificación de integridad de requerimientos. 5. Actualizar la matriz de validación de requerimientos. 6. Resumen de validación de requerimientos. 7. Revisar actividades de validación de requerimientos.
<i>Controlar</i>	<p>Control: <i>Listas de verificación</i> comprueba la exactitud e integridad de los requerimientos.</p>
<i>Soportar/ Apoyar</i>	<p>Técnicas: checklist, pruebas, inspección y revisión.</p> <p>Herramientas: Para la gestión de requisitos, ReQtest, IBM Rational Doors, Visure Requirements.</p> <p>Estándar: EIA 632 para el proceso de validación de requerimientos.</p>

La Tabla 8 resume la evaluación de las metodologías a partir de la información de las Tablas 4, 5, 6 y 7. Para cada metodología de validación se indica con el vocablo SI que la

metodología cumple con el proceso del marco de referencia para el desarrollo de metodologías.

Tabla 8. Evaluación de las metodologías según el marco de referencia.

<i>Proceso</i> \ <i>Metodologías</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	<i>M4</i>
<i>Definición (Forma de pensar)</i>	SI	SI	SI	SI
<i>Modelado (Forma de modelar)</i>	SI	SI	SI	SI
<i>Operación (Forma de trabajar)</i>	SI	SI	SI	SI
<i>Control (Forma de controlar)</i>	SI	SI	SI	SI
<i>SopORTE (Técnicas/Herramientas)</i>	SI	SI	SI	SI
<i>Dominio de aplicación</i>	Sistemas para empresas	Sistemas complejos con seguridad crítica.	Sistemas distribuidos	Sistemas de aviación civil

3.3 Identificación de procesos complementarios al marco “Way-of” a través de un modelo para la evaluación de las metodologías.

En este apartado se presenta un modelo un modelo de referencia para revisiones técnicas utilizado por Pressman [17] para identificar los procesos complementarios al marco “Way-of” en la evaluación de las metodologías.

En este modelo, las actividades son: roles de los individuos, planeación y preparación, estructura de la reunión y corrección y verificación.



Figura 3. Modelo de referencia para revisiones técnicas [17].

Cada una de las características del modelo de referencia ayuda a definir el nivel de formalidad de la revisión. La formalidad de una revisión se incrementa cuando: 1) se definen explícitamente roles distintos para los revisores, 2) hay suficiente cantidad de planificación y preparación para la revisión, 3) se define una estructura distinta para la revisión (incluso tareas y productos internos del trabajo) y 4) el seguimiento por parte de los revisores tiene lugar para cualquier corrección que se efectúe [17].

En este contexto, se pueden definir tres actividades complementarias para el proceso de validación de requerimientos:

Planificación. Actividad que permite definir con anticipación los objetivos que se obtendrán, los requerimientos que se revisarán, las personas que participarán, el procedimiento, técnicas y herramientas que se utilizarán. Si se encuentran estos elementos sugeridos se lo puede denominar plan de validación de requerimientos.

Gestión de defectos. Comprende la identificación y documentación de defectos como resultado de la aplicación del proceso de validación, pero adicionalmente se debe establecer las acciones para su corrección, lo que finalmente lleva a realizar un seguimiento y el control de estado del defecto.

Aceptación. La aceptación de requerimientos es la última actividad del proceso de validación, esta actividad es el punto donde se conecta la Ingeniería de Requerimientos con la siguiente fase del ciclo de vida del desarrollo de software. Esta actividad asegura contar

con la aceptación del cliente sobre las especificaciones, condiciones, restricciones y parámetros de calidad que se deberá verificar posteriormente en el producto de software.

3.4 Evaluación de las metodologías según las actividades complementarias del modelo de referencia.

En la Tabla 9 se presenta la evaluación de las metodologías según las actividades complementarias obtenidas del modelo de referencia, en la cual se indica con el vocablo SI que la metodología contribuye al proceso para la validación de requerimientos, mientras que el vocablo NO indica que la metodología no contribuye al proceso para la validación de requerimientos.

Tabla 9. Evaluación de las metodologías según procesos complementarios del modelo de referencia.

<i>Metodologías</i> <i>Actividad</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	<i>M4</i>
<i>Planificación</i>	NO	NO	SI	SI
<i>Gestión de defectos</i>	SI	SI	SI	SI
<i>Aceptación</i>	NO	NO	NO	SI

4. Resultados

Del análisis de los resultados obtenidos en la evaluación de las metodologías indicados en la Tabla 9 y los aspectos evaluados en las metodologías en las Tablas 4, 5, 6, y 7 se extraen diferentes características que son calificadas como puntos de evaluación para las metodologías seleccionadas. En la Tabla 10 se enumeran las características identificadas, en la cual se indica con el vocablo SI que la metodología contribuye a la característica, mientras que el vocablo NO indica que la metodología no contribuye a la característica.

Tabla 10. Evaluación de las metodologías para validación de requerimientos.

<i>Metodologías</i> <i>Característica</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>	<i>M3</i>	<i>M4</i>
Definición				
Define la función	SI	SI	SI	SI
Define los componentes	SI	SI	SI	SI
Define el entorno	SI	SI	SI	SI
Define componentes del entorno	SI	SI	SI	SI
Define características	SI	SI	SI	SI
Modelado				
Especifica el modelo	SI	SI	SI	SI
Especifica componentes del modelo	SI	SI	SI	SI
Especifica relaciones entre los componentes del modelo.	SI	SI	SI	SI
Operación				
Define una planificación.	NO	NO	SI	SI
Define fases, actividades y tareas.	SI	SI	SI	NO
Define requerimientos a validar.	SI	SI	SI	SI
Define roles de las tareas.	NO	NO	SI	SI
Define funciones y responsabilidades de los roles.	NO	NO	SI	SI
Control				
Define la forma de control.	SI	SI	SI	SI
Define indicadores de rendimiento.	SI	NO	NO	NO
Define objetivos medidos por indicadores.	SI	NO	NO	NO
Gestión de defectos				
Identifica los defectos.	SI	SI	SI	SI
Documenta los defectos.	SI	SI	SI	SI
Seguimiento de defectos	SI	SI	SI	SI
Aceptación				
Considera la aceptación del cliente sobre las especificaciones	NO	NO	SI	SI
Considera la aceptación del cliente sobre las condiciones	NO	NO	SI	SI
Considera la aceptación del cliente sobre las restricciones	NO	NO	SI	SI
Considera la aceptación del cliente sobre los parámetros de calidad.	NO	NO	SI	SI
Valida los requerimientos en el ciclo de vida del desarrollo de software	NO	NO	NO	SI

<i>Característica</i>	<i>Metodologías</i>			
	M1	M2	M3	M4
Soporte				
Define técnicas.	SI	SI	SI	SI
Define herramientas.	NO	SI	NO	SI
Utiliza estandares.	NO	NO	SI	SI
Dominio de aplicación				
Define dominio de aplicación.	SI	SI	SI	SI

Del análisis comparativo realizado entre las metodologías seleccionadas se extraen los siguientes resultados:

1. *En el proceso de definición, modelado gestión de defectos y definición de dominio de aplicación* las metodologías cumplen con todas las características propuestas.
2. *En el proceso de operación las metodologías:* M3 y M4 definen un proceso de planificación para la validación de requerimientos. M1, M2, y M3 definen una estructura compuesta por fases, actividades y tareas. Mientras que M4 solo define una estructura compuesta por actividades y tareas. M2, M3 y M4 validan los requerimientos sobre la especificación de requerimientos y M1 valida los requerimientos comerciales. M3 y M4 definen roles y responsabilidades.
3. *En el proceso de soporte las metodologías:* M1, M2, M3 y M4 definen técnicas para validación de requerimientos. Además, M2 y M4 especifican herramientas. M3 implementa el estándar IEEE830 [18] para la especificación de requerimientos y M4 el EIA632 [19] para el proceso de validación de requerimientos.
4. *En el proceso de control las metodologías:* M1, M2, M3 y M4 implementan una forma de control para la validación de requerimientos, pero solo M1 define indicadores de rendimiento y objetivos basados en dichos indicadores.
5. *En el proceso de aceptación las metodologías:* M3 y M4 consideran la aceptación del cliente sobre las especificaciones, restricciones, condiciones y parámetros de calidad. M4 valida los requerimientos en todo el ciclo de vida del desarrollo del software.

5. Conclusiones y Trabajo Futuro

Este trabajo se ha focalizado en un proceso fundamental de la Ingeniería de Requerimientos: la Validación. Se han preseleccionado 38 trabajos para posteriormente centralizarse en 4 de ellos. Para responder a las preguntas de evaluación de las cuatro metodologías seleccionadas se identificaron las contribuciones de los trabajos en el proceso de Validación de Requerimientos.

Las metodologías M1, M2, M3 y M4 proporcionan correctamente sus funciones, componentes, entornos y características, Además detallan los componentes del modelado, las relaciones entre ellos e identifican, documentan y realizan el seguimiento de los defectos.

Adicionalmente, las metodologías M3 y M4 aportan la actividad de planificación compuesta por fases, actividades y tareas, donde se definen roles y describen funciones y responsabilidades. Ambas metodologías emplean técnicas de control, incorporan el uso de estándares y reúnen la aceptación del cliente/usuario en el proceso de validación de requerimientos.

Todas las metodologías fueron desarrolladas para dominios específicos de aplicación.

Si bien las metodologías cumplen con la mayoría de las características del marco “Way of” o “forma de” y del modelo de referencia para revisiones técnicas utilizado para su

evaluación se encontraron algunos problemas que deben considerarse al momento de aplicarlas.

Las metodologías proporcionan diferencias en el enfoque de dominio para validar los requerimientos con diversos grados de éxito. Este éxito depende de la naturaleza de la organización en sí y del conocimiento profundo del negocio para adaptar la metodología a las necesidades del negocio y del usuario.

Se observa la escasa participación de los usuarios/clientes en el proceso de validación de requerimientos, integrado con la falta de enfoque por parte de las metodologías sobre la gestión del nivel de responsabilidad, el grado de toma de decisiones y el equilibrio entre usuarios y desarrolladores.

Las metodologías realizan la validación de requerimientos sobre la especificación de requerimientos, es decir, no se aplican en las diferentes etapas del ciclo de vida del desarrollo del software. Si bien la metodología M4 emplea la validación de los requerimientos en todo el ciclo de vida del sistema esto se debe al uso de estándar de aviación ARP4754A [20], donde respalda la certificación de sistemas de aeronaves, abordando "el ciclo completo de desarrollo de aeronaves, desde los requerimientos del sistema hasta la verificación de los sistemas". En el marco de la observación anterior, el cumplimiento de estándares es insuficientes en el tratamiento de las características implícitas esperadas en el desarrollo de software profesional.

Se evidencia el escaso control y seguimiento de los defectos en los requerimientos a través del uso de indicadores de rendimiento y la exigua definición de objetivos a ser evaluados por dichos indicadores.

Para fortalecer el proceso de validación de requerimientos, como trabajo futuro se propone crear una metodología en base a los problemas mencionados anteriormente. La metodología, en primer lugar, debería describir un marco de referencia para el desarrollo de la estructura y en segundo lugar establecerá un modelo para el proceso de validación de requerimientos a nivel de caja blanca en la estructura interna del diseño de los componentes del desarrollo del sistema. Esto permitiría garantizar la calidad del producto o sistema, enfocándose en las diferentes etapas del ciclo de vida del software.

Referencias

1. P. A. Laplante: Requirements Engineering for Software and Systems, CRC Press (2019).
2. B. H. C. Cheng, J. M. Atlee: Current and Future Research Directions in Requirements Engineering, Design Requirements Engineering A Ten-Year Perspective, Lecture Notes in Business Information Processing, vol. 14, pp. 11–43 (2019).
3. G. Kotonya, I. Sommerville: Requirements Engineering: Processes and Techniques, JohnWiley & Sons, England, (1998).
4. S. L. Pfleeger: Software Engineering – Theory and Practice, Prentice Hall (1998).
5. G. Kotonya, I. Sommerville, Requirements Engineering: Processes and Techniques, John Wiley & Sons, (2000).
6. A.Terry Bahill, Steven J. Henderson: Requirements development, verification, and validation exhibited in famous failures, Systems Engineering. 8. 1 - 14. 10.1002/sys.20017 (2005).
7. P. Loucopoulos, V. Karakostas: System Requirements Engineering, McGraw-Hill, London, ISBN 0-07-707843-8 (1995).

8. Mokhtar Nor Aiza, Kamalrudin Massila, Mokhtar Mohd Yusof, Safiah Sidek: A review on requirements validation for software development, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, (2018).
9. Atsushi Kokune, Masuhiro Mizuno, Kyoichi Kadoya, Shuichiro Yamamoto: FBCM: Strategy modeling method for the validation of software requirements, *Journal of Systems and Software*, Volume 80, Issue 3, Pages 314-327, (2007).
10. A. Cimatti, M. Roveri, A. Susi, S. Tonetta: From Informal Requirements to Property-Driven Formal Validation. In: Cofer D., Fantechi A. (eds) *Formal Methods for Industrial Critical Systems. FMICS 2008. Lecture Notes in Computer Science*, vol 5596. Springer, Berlin, Heidelberg, (2009).
11. M. D Sourour, N. Zarour: A methodology of Collaborative Requirements Validation in a cooperative environment, *10th International Symposium on Programming and Systems*, Algiers, Algeria, pp. 140-147, (2011).
12. X. Fei, C. Bin, Z. Siming: A Methodology of Requirements Validation for Aviation System Development, *Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, págs. 4484-4489, (2020).
13. P.S Seligmann, G.M Wijers,, H.G Sol: Analyzing the structure of IS methodologies, an alternative approach, *Proceedings of the First Dutch Conference on Information Systems*, Amersfoort, the Netherlands, (1989).
14. H.G Sol: A Feature Analysis of Information Systems Design Methodologies: Methodological Considerations, T.W. Olle, H.G. Sol, C.J. Tully (Eds.), *Information Systems Design Methodologies: A Feature Analysis*, North-Holland, Amsterdam, The Netherlands, (1983).
15. F. Kensing.: Towards Evaluation of Methods for Property Determination, The M.A. Bemelmans Ed., *Beyond Productivity: Information Systems Development for Organizational Effectiveness*, North-Holland, Amsterdam, The Netherlands, pp.325-338, (1984).
16. Wijers G.M., Heijes H.: Automated support of the modelling process: A view based on experiments with expert information engineers. Steinholtz B., Sölvberg A., Bergman L. (eds) *Advanced Information Systems Engineering. CAiSE 1990. Lecture Notes in Computer Science*, vol 436. Springer, Berlin, Heidelberg, (1990).
17. Pressman S.R.: *Ingeniería del software. Un enfoque práctico*, Séptima edición, México D.F., Mc Graw Hill, (2010).
18. *IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications*, IEEE Std 830-1998 vol., no., pp.1-40, (1998).
19. J. N. Martin: Overview of the EIA 632 standard: processes for engineering a system, *17th DASC. AIAA/IEEE/SAE. Digital Avionics Systems Conference. Proceedings (Cat. No.98CH36267)*, pp. B32-1, (1998).
20. SAE international Group. *APR4754A Guideline for Development of Civil Aircraft and Systems*. vol. 4970, (2011).