

MATRIZ DE TRAZABILIDAD EN EL LEVANTAMIENTO DE REQUISITOS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Traceability matrix in requirements gathering: a systematic review of the literature

Enrique Alexandre Kattz Villa ¹	ekattz44@gmail.com
Patricia Martínez Moreno ²	pmartinez@uv.mx
José Antonio Vergara Camacho ³	jvergara@uv.mx
Luis Antonio Morales Velázquez ⁴	luismorales04@uv.mx

^{1,2,3,4} Universidad Veracruzana.

RESUMEN

La falta de una matriz de trazabilidad estandarizada tiene varias desventajas para el proceso de desarrollo de software. En primer lugar, sin una matriz de trazabilidad estandarizada es difícil garantizar la calidad y la integridad de los requisitos. Según [5], la trazabilidad de requisitos es necesaria para garantizar que los requerimientos están completos, coherentes y no redundantes. Sin una matriz de trazabilidad estandarizada, los desarrolladores pueden perder de vista los requerimientos originales y hacer cambios no justificados o que no están en línea con los objetivos por una gestión del cambio en el proyecto. De acuerdo con [6], la trazabilidad de requerimientos es esencial para gestionar el cambio en el proyecto, ya que permite a los desarrolladores identificar qué requerimientos se ven afectados por un cambio y cómo se relacionan con otros requerimientos. Sin una matriz de trazabilidad estandarizada, los cambios pueden ser difíciles de gestionar y pueden tener un impacto negativo en el proyecto en su conjunto. Por lo anterior, se realiza la Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), se analizan las diferentes propuestas de autores o empresas sobre la Matriz de Trazabilidad de Requisitos (RTM) y se identifican los puntos débiles y fuertes de cada una, con la finalidad de proponer una RTM unificada a partir de los elementos más comunes usados por las RTM analizadas, la cual esté compuesta de fortalezas que abonen a la calidad e integridad de

los requisitos.

Palabras Clave: Requerimientos, Matriz de trazabilidad, Trazabilidad, Estandarizada, Análisis.

ABSTRACT

The lack of a standardized traceability matrix has several disadvantages for the software development process. First, without a standardized traceability matrix, it is difficult to ensure the quality and integrity of the requirements. According to [5], the traceability of requirements is necessary to ensure that these requirements are complete, consistent and not redundant. Without a standardized traceability matrix, developers may lose sight of the original requirements and make changes that are not justified or that are not in line with the goals of change management in the project. According to [6], the traceability of requirements is essential to manage change in a project, as it allows developers to identify which requirements are affected by a change and how they are related to other requirements. Without a standardized traceability matrix, changes can be difficult to manage and can have a negative impact on the project as a whole. The Systematic Literature Review (SLR) is carried out, the different proposals of authors or companies on the Requirements Traceability Matrix (RTM) are analyzed and the weaknesses and strengths

of each one are identified. All of these in order to propose a unified RTM based on the most common elements used by the RTM analyzed, which is composed of strengths that contribute to the quality and integrity of the requirements

Keywords: Literature review, slr, requirements, software engineering.

► I. Introducción

La trazabilidad es un concepto abstracto en el desarrollo de software y una herramienta de seguimiento en el ciclo de vida de los requerimientos, sin embargo, con una matriz es mucho más fácil rastrear y asegurar el éxito del proyecto, no obstante, existen matrices propuestas de diversos autores por lo que no existe una matriz estandarizada que ayude en general a los desarrolladores en diversos tipos de proyectos, esto lleva a que los desarrolladores tengan dificultades significativas en el manejo de requerimientos, la comunicación entre los equipos de trabajo no sea clara y que se pierda totalmente la evaluación del impacto de los cambios a lo largo del ciclo de vida del software. La presente investigación tiene el propósito de proponer una matriz de trazabilidad estandarizada basada en la recolección y análisis de otras matrices de trazabilidad propuestas por diferentes autores, a través de aplicar la Revisión Sistemática de Literatura. La principal razón de llevar a cabo esta investigación es que, en la ingeniería de software, los requerimientos son parte vital para lograr desarrollar un software de calidad, y en ocasiones los desarrolladores carecen de una herramienta que ayude a cumplir con el seguimiento de estos requerimientos de una manera eficiente. Lo que se espera lograr con esta investigación es que la propuesta de matriz de trazabilidad este compuesta de conceptos que son claves y precisos para el seguimiento de los requisitos, agilizando y haciendo que se produzcan productos de software de calidad.

Las fases de la Revisión Sistemática de Literatura:

1. Definición de la búsqueda. Se generaron preguntas de investigación, los criterios de inclusión y exclusión, y las cadenas de

búsqueda.

2. Ejecución de la búsqueda. En esta sección se obtuvieron los estudios primarios y se presenta una tabla con los resultados de la búsqueda por repositorio.

3. Discusión de los resultados. Apartado en el que se muestran los resultados obtenidos de la RSL, y se describe el análisis y selección hasta llegar a plantear la propuesta de RTM.

► II. Conceptualización

Según [2], en su libro *Business Process Management: Profiting from Process* define a la matriz de trazabilidad como:

“Una tabla que se utiliza para rastrear el progreso de los requisitos a medida que se implementan a través del ciclo de vida del proyecto. Permite el seguimiento de cada requisito desde su origen, a través de la implementación, hasta la aceptación y la verificación.”

A. *Importancia de implementar la matriz de trazabilidad en el levantamiento de requisitos.*

La matriz de trazabilidad es clave en la gestión del cambio, establece las relaciones entre los distintos requisitos desde una perspectiva jerárquica siendo la base de la documentación que se produce a lo largo del proceso. El uso de una matriz de trazabilidad es una gran técnica para hacer esto de manera eficiente [3].

Beneficios de implementar la RTM [8]:

- Ayuda a identificar todas las necesidades del cliente al equipo de desarrollo en cada etapa del proceso de desarrollo de software.
- Es muy fácil encontrar las características faltantes o que se pasan por alto.
- Se hace sencillo detectar los casos de prueba que necesitan ser actualizados, ya que son solicitudes de cambio.
- Asegura que todas las solicitudes se reflejan en los casos de prueba.
- Ofrece la certeza al cliente que el producto ha sido desarrollado, según sus necesidades.

De acuerdo con [1] en donde afirmaron que:

“A diferencia de productos en otras ramas de la ingeniería, un producto de software es maleable y pueden cambiar su estructura y composición en espacio y tiempo durante el proceso de desarrollo de software y es aquí donde la trazabilidad adquiere gran importancia”.

El proceso de la matriz de trazabilidad toma su importancia porque proporciona un vínculo entre los requisitos, las capas comerciales y los objetivos clave del proyecto.

De manera similar, se visualiza o rastrea durante el proceso de desarrollo del proyecto para garantizar que el producto entregado funcione según las especificaciones acordadas desde el inicio.

» III. Método

Se llevó a cabo esta investigación de enfoque cualitativo de alcance exploratorio, de tipo transversal no experimental. Este tipo de investigación cualitativa “se refiere a un conjunto de métodos y técnicas utilizados para recopilar y analizar datos no numéricos o datos que no se pueden cuantificar fácilmente” [7]. Los datos que se recopilaron fueron con base en el análisis, para después formular la propuesta propia.

A. Revisión Sistemática de la literatura (RSL).

Para la revisión de la literatura se realizó la búsqueda, selección, extracción y análisis de las diversas matrices de trazabilidad aplicadas en el levantamiento de requisitos dentro del proceso del desarrollo de un producto de software. El estudio, siguió el proceso de la Revisión Sistemática de Literatura desarrollada por [9] por su enfoque hacia la Ingeniería de Software.

Inicialmente, se definieron las preguntas de investigación (PI), cadenas de búsqueda, y las bases de datos donde se implementaron y los criterios de inclusión (CI) y criterios de exclusión (CE) correspondientes a la etapa de planificación.

Se establecieron dos PI basadas en los indicadores

que se pueden obtener con el análisis de Matrices de Trazabilidad.

PI1: ¿Qué elementos integran una matriz de trazabilidad?

PI2: ¿Por qué contar con un artefacto de matriz de trazabilidad en el levantamiento de requisitos del software?

PI1: Identificar la información base, los elementos repetitivos y/o comunes de las matrices de trazabilidad ocupadas utilizadas en el levantamiento de requisitos. Con respecto a la PI2, se establece con el propósito de conocer los temas relevantes de implementar la Matriz de Trazabilidad en el proceso de desarrollo de software, específicamente en el levantamiento de requisitos.

Posteriormente, se definieron las cadenas de búsqueda por aplicar en las Bases de Datos: Google Académico, IEEE XPLORE y ACM DIGITAL LIBRARY, llevándose a cabo durante el periodo de búsqueda de 4 meses a finales del año 2022:

Cadena 1: (“Matrix traceability”)

Cadena 2: (“Traceability matrix in requirements gathering” OR “Traceability Matrix in software project development”).

Ahora bien, para cada cadena de búsqueda aplicada, el resultado obtenido fue filtrado y revisado conforme a los CI y los CE:

- CI1: El documento está relacionado con la trazabilidad en el software.
- CI2: El título y resumen hacen referencia al seguimiento de los requisitos a través de cada una de las etapas de vida del desarrollo de software.
- CI3: El resumen trata sobre la trazabilidad de requerimientos en el desarrollo de aplicaciones web.
- CE1: El resumen del escrito no trata sobre la ingeniería de requisitos.
- CE2: El título del artículo no responde ninguna

pregunta de investigación.

- CE3: El acceso al documento requiere de pagar una membresía.

El CI1, está estrechamente ligado a la ingeniería de requisitos ya que se especifica que la trazabilidad se aplica directamente en el desarrollo del software, toda vez la trazabilidad está ligada a los requisitos de un proyecto.

El CI2, se relaciona con el título y/o resumen del artículo, siempre y cuando en este mismo se mencionara el aplicar seguimiento a los requisitos.

El CI3, es conforme a los documentos o estudios orientados al desarrollo web, esto con la finalidad de ampliar el enfoque de estudio en cuanto a las matrices presentadas.

El CE1, aquellos resúmenes no enfocados a la ingeniería de requisitos del desarrollo de software se excluyeron.

El CE2, este criterio de exclusión aplicado con base en el título como una forma de filtrar de manera rápida los resultados obtenidos de las cadenas de búsqueda, ya que ocasiones el título se enfoca a otro tipo de trazabilidad.

El CE3, son aquellos documentos de las bases de datos que requieren una cuota de pago para el acceso a los mismos, por lo que fueron descartados.

Con base en lo anterior, en la tabla I se presenta el número total de 1344 documentos recuperados de las bases de datos al utilizar la cadena 1. Se destaca la ACM DIGITAL

LIBRARY con el mayor número de hallazgos con 1102 documentos, representando el 82% del total de los documentos. En menor cantidad se encuentran IEEE XPLORE y GOOGLE ACADÉMICO con 160 y 82 documentos respectivamente. Con respecto a la cadena 2, GOOGLE ACADÉMICO arrojó 72 resultados, por arriba de IEEE XPLORE y ACM DIGITAL LIBRARY con 35 y 10 resultados de búsqueda, respectivamente. Se observa que existe una cantidad considerable de

bibliografía que hace alusión o mencionan en sus documentos la palabra “Matriz de Trazabilidad” sin embargo para efectos de esta investigación se requirió que mostrarán exactamente una matriz de trazabilidad para analizar sus elementos, por lo que al final de la RSL se trabajaron sólo con 16 documentos.

Los resultados de las cadenas de búsqueda dentro de las tres bases de datos fueron las siguientes:

Tabla I
Resultados de las cadenas de búsqueda en los repositorios Google Académico, IEEE XPLORE y ACM DIGITAL LIBRARY.

Base de datos	Resultados de Cadena 1	Seleccionados	Resultados de Cadena 2	Seleccionados
GOOGLE ACADÉMICO	82	1	72	9
IEEE XPLORE	160	6	35	4
ACM DIGITAL LIBRARY	1102	7	10	3
TOTAL	1344	14	117	16

► IV. Resultados

Los resultados obtenidos del análisis de las matrices analizadas se derivan en una propuesta de autoría propia, que para llegar al resultado se siguieron tres pasos:

1. Priorizar los elementos repetidos: requerimiento, casos de prueba y situación del requerimiento, con base en ello se decidió incluirlos en la propuesta ya que varios autores consideran importante su inclusión.
2. En segundo lugar, se hizo hincapié en el seguimiento tanto de los artefactos generados como de casos de prueba, debido a que son fundamentales en los requerimientos al aplicar un cambio e identificar de manera correcta donde se está situado.
3. Por último, se agregaron elementos basados en el estatus general del requerimiento como: prioridad, estado, situación del requisito, responsable y fecha

de entrega, esto con la finalidad que el equipo de desarrollado no pierda el panorama con respeto al tiempo del desarrollo del software.

En respuesta a los resultados obtenidos de la PI1 ¿Qué elementos integran una matriz de trazabilidad? Para [4] “cada proyecto debe diseñar su propia herramienta en función de los requisitos establecidos en las fases de diseño y de la complejidad de la ejecución de las tareas”, sin embargo, se encontró que varias matrices coincidían en una serie de elementos:

- **Identificación o ID:** Normalmente corresponde a un código o número asignado a cada requisito del proyecto.
- **Interesado o Destinatario:** La persona que realiza la solicitud o pedido. También llamada parte relacionada o stakeholder.
- **Prioridad:** No todas las solicitudes tienen la misma importancia. Los hay primarios, secundarios y terciarios, dependiendo del valor que represente el proceso global.
- **Descripción del requisito:** Describe brevemente el contenido y las características clave.
- **Versión:** La matriz debe detallar la evolución del requisito. Debido a esto, se configuran diferentes versiones hasta que se termina.
- **Complejidad:** los requisitos suelen definirse como de complejidad alta, baja o media, según los recursos, el tiempo o el trabajo necesarios para completar el requisito.
- **Estrategia de prueba:** la matriz de trazabilidad también debe establecer el método utilizado para probar diferentes versiones del requisito hasta que el requisito se ejecute y verifique por completo.

En respuesta a la segunda pregunta de investigación PI2 ¿Por qué contar con un artefacto de matriz de trazabilidad en el levantamiento de requisitos del software?, se tienen las siguientes ventajas:

- Ayuda a identificar todas las necesidades del

cliente al equipo de desarrollo en cada etapa del desarrollo de software.

- Es muy fácil encontrar las características que faltan.
- También es muy fácil detectar los casos de prueba que necesitan ser actualizados, ya que son solicitudes de cambio.
- Asegura que todas las solicitudes se reflejan en los casos de prueba.
- Aseverar al cliente que el producto ha sido desarrollado, según sus necesidades.

Para la propuesta final se tomó en cuenta los principales elementos repetidos en las matrices como, por ejemplo: Identificación o ID en este caso se decide cambiar de nombre a Requerimiento ya que es un nombre más sensato, posteriormente Casos de Prueba asociados que si bien no aparece repetidamente en los estudios analizados es un aspecto importante ya que sirve para saber desde que punto un requerimiento debe ser cambiado, en general ayuda a la gestión del cambio. Prioridad, este campo si aparece en los estudios, sin embargo, se decidió cambiar las denominaciones para que fueran más generales y entendibles (Alta, Media y Baja). Artefactos Asociados, campo que muestra los artefactos generados que son ligados al requerimiento, si bien tampoco aparece repetidamente se decidió colocar para que sea de guía en cuanto a la documentación y si esta requerir ajustarse a futuro sería más fácil rastrear lo que se debe modificar. Estado, este campo es especialmente útil en caso de contar con una cantidad grande de requisitos manipulados por una sola persona, lo que resulta benéfico al llevar un mejor control. Situación del Requerimiento asiste a los líderes de proyectos a evaluar el requerimiento y el avance de este. Responsable, este campo se decidió agregar ya que regularmente varias personas están designadas a un mismo proyecto y en ocasiones este tiene muchos requerimientos, de tal manera ayuda al desarrollador encargado en la localización rápida de los mismos. Fecha de entrega, último campo de la propuesta que controla los tiempos de entrega,

enfocado en la puntualidad y cumplimiento de los requisitos, lo que da como beneficio la satisfacción del cliente y que no se incrementen los costos por lo que se decidió agregar para que se tenga visible por todo el equipo desarrollar la fecha límite de entrega, esta fecha es la definitiva en la que el requerimiento ya está listo para ser implementado sin fallas ni detalles.

Como producto final se obtuvo la siguiente propuesta de la RTM (Figura 1), en la que se pretende que los stakeholders, el equipo de desarrollo junto con el jefe de proyecto tenga acceso, estos dos últimos con opción para editar los campos de la matriz, sin embargo, los stakeholders aseguran que su producto está en desarrollo

Nombre del proyecto							
Requerimiento	Casos de prueba asociados	Prioridad	Artefactos asociados	Estado	Situación del requerimiento	Responsable	Fecha de entrega
RF01	ID del caso de prueba y el nombre	Alta Media Baja	CU001 Iniciar sesión	Activo Inactivo Cancelado	En espera Entregado Aceptado	Persona encargada de ejecutar el requisito	Límite de entrega

Fig. 1. Matriz de trazabilidad estandarizada.

Conceptos claves que responden la PI1:

- **Requerimiento:** Es el identificador (ID), nombre con el que se identifica al requerimiento. Ejemplo: RF01. El sistema permite iniciar sesión al empleado.
 - **Casos de prueba asociados:** son los que se asocian al funcionamiento del requerimiento, se recomienda expresar el ID del caso de prueba y el nombre de este.
 - **Prioridad:** Campo ligado a tres palabras claves para valorar la atención que se le quiere dar a un requisito.
- Prioridad: Alta, media y baja, considera a cuál actividad se le dará atención inmediata en comparación a otras los que conlleva a la toma de mejores decisiones dentro del proyecto.
- **Artefactos asociados:** son aquellos artefactos que están ligados al requerimiento, pueden ser: casos

de uso, diagramas de secuencia, de comunicación, etc. Expresados con ID o clave del artefacto y un nombre corto pero descriptivo. Ejemplo: CU001 Iniciar sesión.

- **Estado:** Hace referencia al estado en el que se encuentra el requerimiento, este puede ser “Activo” siendo lo más común, pero también puede ser “inactivo” o “cancelado”, debido a que el requerimiento puede ser cancelado o cambiado por los stakeholders.
- **Situación del requerimiento:** Esto hace referencia a tres situaciones que puede estar el requerimiento: “en espera” (y puede referirse a que está en desarrollo), “entregado” (se refiere a que fue entregado al jefe de proyecto o equipo de trabajo para ser revisado) y, por último, “aceptado” (esto quiere decir que fue aprobado y está finalizado).

- **Responsable:** Es el nombre de la persona encargada de llevar a cabo todas las acciones necesarias para ejecutar el requerimiento.
- **Fecha de entrega:** Es la fecha límite que se tiene para entregar el requerimiento.

Con respecto a la PI2, fue respondida, en el apartado 1 y 2 de este trabajo.

» V. Conclusión

La matriz de trazabilidad proporciona un medio eficiente para garantizar la integridad y la consistencia de los requerimientos, lo que permite identificar cualquier brecha o superposición en los requisitos, evitar inconsistencias y ambigüedades que afecten negativamente la calidad del producto final. Al visualizar las relaciones entre los diferentes componentes se facilita la detección temprana de problemas y se mejora la comunicación entre los diferentes interesados del proyecto.

Además, la matriz de trazabilidad permite rastrear los cambios y las actualizaciones en los requerimientos a lo largo del desarrollo de un producto de software. A medida que se realizan modificaciones en los requisitos se sugiere utilizar la matriz para evaluar el impacto de estos

cambios en otros elementos del sistema, esto ayuda a gestionar de manera efectiva los cambios y minimiza el riesgo de introducir errores o inconsistencias en el proceso.

En este análisis de matrices de trazabilidad se identifica la necesidad de esta, y a pesar de ello son mínimos los equipos de desarrollo de software que la implementan como artefacto en la etapa del levantamiento de requisitos. Finalmente, al aplicar la RSL se consiguió identificar cada uno de los elementos comunes y repetitivos en las diversas matrices de trazabilidad, con los cuales, estos se unificaron de tal manera que se logró proponer una RTM estandarizada con la finalidad de aportar un artefacto confiable para la industria del software en el proceso de levantamiento de requisitos.

En definitiva, la implementación de una matriz de trazabilidad estandarizada es una inversión clave para cualquier proyecto de levantamiento de requisitos ya que permite una mejor planificación, seguimiento y control, lo que se traduce en un proyecto más eficiente, eficaz y exitoso.

► VI. Agradecimientos

A cada uno de los investigadores anónimos que fungieron como revisores de este trabajo, por sus comentarios y aportaciones para mejorarlo.

► VII. Referencias

- [1] Anaya, R., Tabares, M., & Arango, F. Una revisión de modelos y semánticas para la trazabilidad de requerimientos. *Revista EIA*, 2006.
- [2] Burlton, R. *Business Process Management: Profiting from Process*, 2001.
- [3] Carvajal, M. M. *La Trazabilidad en el Proceso de Requerimientos de Software*. Heredia, San José, Costa Rica, 2019.
- [4] García, P. Matriz de trazabilidad de requisitos (RTM), 2021. Obtenido de <https://visuresolutions.com/es/requirements-traceability-matrix>
- [5] Gotel, O., & Finkelstein, A. An Analysis of the Requirements Traceability Problem. *International Conference on Requirements Engineering*, 94-10, 1994.
- [6] Hebig, & Brinkkemper. *Improving Software Product Management Processes: a detailed view of the Product Software Knowledge Infrastructure*, 2010.
- [7] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. *Metodología de la investigación* (4ta. ed.). México D.F.: McGraw-Hill, 2003.
- [8] Hassnanin, M. A comparative study on traceability Approaches in software development. *ITEE Journal*, IV, 1-4, 2015.
- [9] Kitchenham, B., Budgen, D., Brereton, P., Turner, M., Charters, S., & Linkman, S. Large-scale software engineering questions—expert opinion or empirical evidence? *IET software*, 1(5), 161-171, 2007.

