

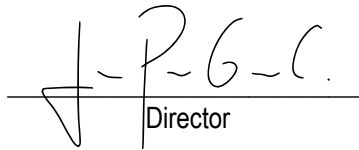
Artefacto para evaluar la madurez del proceso de pruebas de software basado en el Modelo TMMI

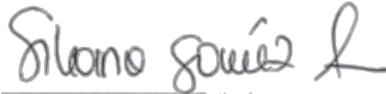
Elizabeth Urbano Guevara

Diana Marcela Valencia García

Nota de Aceptación

Certificamos que el presente Trabajo de Grado Satisface, en alcances y calidad, todos los requisitos que demanda un Trabajo de Grado de Maestría.


Director



Liliana Gómez Arenas



Juan Carlos Martínez Arias

Aprobado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Pontificia Universidad Javeriana Cali, para optar el título de Magister en Ingeniería de Software.


HERNÁN CAMILO ROCHA NIÑO Ph. D.
Decano Facultad de Ingeniería y Ciencias



JUAN CARLOS MARTÍNEZ ARIAS
Director Posgrados de Ingeniería y Ciencias



Acta de Correcciones al Documento de Trabajo de Grado

Santiago de Cali, 20 de octubre de 2023

Autor: Elizabeth Urbano Guevara – Diana Marcela Valencia García

Título del Trabajo de Grado: “Artefacto para evaluar la madurez del proceso de pruebas de software basado en el Modelo TMMI”

Director: Juan Pablo García

Como indica el artículo 2.13 de las Directrices para Trabajo de Grado de Maestría, he verificado que el estudiante indicado arriba ha implementado todas las correcciones que los Jurados del Proyecto de Trabajo de Grado definieron que se efectuaran, como consta en el Acta de Evaluación correspondiente.

Firma del Director del Trabajo de Grado

Santiago de Cali, 20 de septiembre de 2023

Ingeniero:
Juan Carlos Martínez Arias
Director Posgrados de Ingeniería
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Pontificia Universidad Javeriana - Cali

Con el fin de cumplir con los requisitos exigidos por la Universidad para llevar a cabo el Trabajo de Grado y posteriormente optar por el título de Magíster en Ingeniería de Software, nos permitimos presentar a su consideración el proyecto de Trabajo de Grado denominado "ARTEFACTO PARA EVALUAR LA MADUREZ DEL PROCESO DE PRUEBAS DE SOFTWARE BASADO EN EL MODELO TMMI", el cual será realizado por las estudiante Elizabeth Urbano con código 8949303 y Diana Marcela Valencia García con código 8955530 perteneciente al énfasis en Software, bajo la dirección del profesor Juan Pablo García.

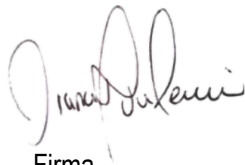
El suscrito director del Trabajo de Grado autoriza para que se proceda a hacer la evaluación de este Proyecto ante el Tribunal que para el efecto se designe, toda vez que ha revisado cuidadosamente el documento y avala que ya se encuentra listo para ser presentado oficialmente.

Atentamente,



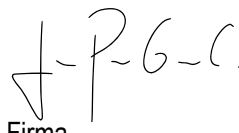
Firma

Elizabeth Urbano
C.C. 38603344 de Cali



Firma

Diana Marcela Valencia
C.C. 1144132064 de Cali



Firma

Juan Pablo García
C.C. 1112759052 de Cali

FICHA RESUMEN
TRABAJO DE GRADO DE MAESTRÍA

TITULO: “ARTEFACTO PARA EVALUAR LA MADUREZ DEL PROCESO DE PRUEBAS DE SOFTWARE BASADO EN EL MODELO TMMI”

1. ÉNFASIS: Ingeniería de Software
2. TIPO DE PROYECTO: Aplicado
3. ÁREA DE TRABAJO: Pruebas de Software
4. ESTUDIANTE (S): Elizabeth Urbano Guevara
5. CORREO ELECTRÓNICO: eurbano@javerianacali.edu.co
6. DIRECCIÓN Y TELÉFONO: Cra. 83 No. 13ª1-22, 3176576906
7. ESTUDIANTE (S): Diana Marcela Valencia García
8. CORREO ELECTRÓNICO: dianamarcelavalencia@javerianacali.edu.co
9. DIRECCIÓN Y TELÉFONO: Cra. 22 No. 72B-112, 3153494927
10. DIRECTOR: Juan Pablo García
11. VINCULACIÓN DEL DIRECTOR (en la universidad): Planta
12. CORREO ELECTRÓNICO DEL DIRECTOR: jpgarcia@javerianacali.edu.co
13. PALABRAS CLAVE (al menos 5): Modelo de Madurez, Nivel de Madurez, TMMI, CMMI, ISTQB, Pruebas de Software.
14. FECHA DE INICIO (Desarrollo del proyecto): 1/02/2023
15. RESUMEN (máximo 400 palabras):

El proceso de pruebas de software es fundamental para garantizar la calidad y confiabilidad de los productos de software en la era de la transformación digital. No obstante, adoptar prácticas de pruebas efectivas y mejorar la madurez de los procesos en la industria plantea desafíos significativos. En respuesta a esta necesidad, este trabajo presenta un enfoque basado en el modelo Test Maturity Model Integration (TMMI) para evaluar la madurez del proceso de pruebas y a partir de conocer el nivel de madurez actual puedan iniciar un plan de mejora. En el transcurso de este proyecto, se diseñó y desarrolló un artefacto que les permite a las organizaciones realizar una autoevaluación de la madurez de sus procesos de pruebas. Una vez que el usuario completa la evaluación, el artefacto presenta los resultados obtenidos junto con un conjunto de recomendaciones sugeridas como parte de una hoja de ruta que, de ser implementadas, pueden contribuir a mejorar el proceso de pruebas de la organización. Este prototipo se aplicó en cinco empresas con la participación de 3 roles para cada una de ellas que representaban diversas organizaciones cuyo negocio es el desarrollo de software a la medida o empresas que desarrollan su propio software. Sin embargo, se logró contar con más empresas y en total 37 profesionales participaron en la evaluación del proceso de madurez de su empresa y del artefacto. Los resultados obtenidos demostraron que el 83% de los usuarios consideran que el artefacto desarrollado es una herramienta fácil de usar, el 61% consideran que la hoja de ruta brindada es útil y 39% muy útil.

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Facultad de Ingeniería.
Ingeniería de Sistemas y Computación.
Proyecto de Grado.

Artefacto para evaluar la madurez del proceso de pruebas de software basado en el Modelo TMMI

Elizabeth Urbano Guevara
Diana Marcela Valencia García

Director: MBA Juan Pablo García

15 de Septiembre de 2023



0.1. Resumen

El proceso de pruebas de software es fundamental para garantizar la calidad y confiabilidad de los productos de software en la era de la transformación digital. No obstante, adoptar prácticas de pruebas efectivas y mejorar la madurez de los procesos en la industria plantea desafíos significativos. En respuesta a esta necesidad, este trabajo presenta un enfoque basado en el modelo Test Maturity Model Integration (TMMI) para evaluar la madurez del proceso de pruebas y a partir de conocer el nivel de madurez actual puedan iniciar un plan de mejora.

En el transcurso de este proyecto, se diseñó y desarrolló un artefacto que les permite a las organizaciones realizar una autoevaluación de la madurez de sus procesos de pruebas. Una vez que el usuario completa la evaluación, el artefacto presenta los resultados obtenidos junto con un conjunto de recomendaciones sugeridas como parte de una hoja de ruta que, de ser implementadas, pueden contribuir a mejorar el proceso de pruebas de la organización.

Este prototipo se aplicó en cinco empresas con la participación de 3 roles para cada una de ellas que representaban diversas organizaciones cuyo negocio es el desarrollo de software a la medida o empresas que desarrollan su propio software. Sin embargo, se logró contar con más empresas y en total 37 profesionales participaron en la evaluación del proceso de madurez de su empresa y del artefacto. Los resultados obtenidos demostraron que el 83 % de los usuarios consideran que el artefacto desarrollado es una herramienta fácil de usar, el 61 % consideran que la hoja de ruta brindada es útil y 39 % muy útil.

Palabras Clave: Modelo de Madurez, Nivel de Madurez, TMMI, CMMI, ISTQB, Pruebas de Software.

0.2. Abstract

The software testing process is crucial to ensure the quality and reliability of software products in the era of digital transformation. However, adopting effective testing practices and improving process maturity in the industry presents significant challenges. In response to this need, this work presents an approach based on the Test Maturity Model Integration (TMMI) to assess the maturity of the testing process and, based on understanding the current maturity level, initiate an improvement plan.

Throughout this project, a tool was designed and developed to allow organizations to self-assess the maturity of their testing processes. Once the user completes the assessment, the tool presents the results along with a set of recommended actions as part of a roadmap that, if implemented, can contribute to improving the organization's testing process.

This prototype was applied in five companies with the participation of three roles for each of

them, representing various organizations involved in custom software development or companies that develop their own software. However, more companies were involved, and a total of 37 professionals participated in the assessment of their company's maturity process and the tool. The results obtained demonstrated that 83% of the users consider the developed tool easy to use, 61% find the provided roadmap useful, and 39% find it very useful.

Keywords: Maturity Model, Maturity Level, TMMI, CMMI, ISTQB, Software Testing.

Índice general

0.1. Resumen	2
0.2. Abstract	2
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Formulación	2
1.1.2. Sistematización	3
1.2. Objetivos del proyecto	3
1.2.1. Objetivo General	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Justificación	4
1.4. Delimitaciones y Alcances	8
1.5. Resultados esperados	10
2. Marco de referencia	11
2.1. Bases teóricas	11
2.1.1. Proceso de Pruebas	11
2.1.2. Modelo de Madurez	12
2.1.3. Testing Maturity Model Integrated - TMMI	12
2.1.4. Test Process Improvement Model - TPI	17
2.1.5. Capability Maturity Model Integration - CMMI	19
2.1.6. Software Process Improvement and Capability Determination - SPICE	20
2.1.7. Aspectos clave para la evaluación de la madurez de un proceso	21
2.2. Estado del arte	24
3. Diseño del Artefacto de Evaluación	27
3.1. Fase 1: Definiendo los Criterios de Evaluación a partir del modelo de referencia TMMI	28
3.2. Fase 2: Identificando dependencias entre los criterios	40
3.3. Fase 3: Definiendo el Método de Evaluación	42
3.3.1. Escala de calificación	42
3.3.2. Peso de los Criterios de Evaluación	43
3.3.3. Peso de las áreas de proceso	47
3.3.4. Cálculo del Nivel de Madurez	48
3.3.5. Ejemplo evaluación de madurez del proceso de pruebas	50

4. Hoja de Ruta para Mejoramiento del Proceso de Pruebas	55
4.1. Diseño de la Hoja de Ruta	55
4.1.1. Iniciación	56
4.1.2. Diagnóstico	57
4.1.3. Estabilización	59
4.1.4. Implementación de las Mejoras	61
4.1.5. Aprendizaje	62
5. Implementación del Prototipo Funcional	63
5.1. Requisitos del Prototipo	63
5.2. Diseño de la implementación	64
5.2.1. Planificación del diseño	64
5.2.2. Decisiones de Diseño	65
5.2.3. Tecnologías Utilizadas	65
5.2.4. Diagrama de Casos de Uso	66
5.2.5. Diseño de la Base de Datos	67
5.2.6. Interfaz Gráfica del Prototipo	68
6. Aplicación del Prototipo Funcional	74
6.1. Selección de Empresas	74
6.1.1. Criterios de Selección	74
6.1.2. Proceso de Selección	74
6.1.3. Empresas Participantes	75
6.2. Metodología de Aplicación	79
6.3. Resultados	81
6.3.1. Análisis de los resultados obtenidos	81
6.3.2. Análisis de los resultados empresa ABC2	85
6.3.3. Evaluación de los Usuarios Sobre el Prototipo	86
7. Conclusiones	91
7.1. Conclusiones	91
7.2. Lecciones Aprendidas	92
7.3. Trabajos Futuros	93
A. Modelo <i>IDEAL</i>	95
B. Recursos de Apoyo a la implementación de prácticas	97
C. Encuesta De Percepción Respecto al Uso Del Artefacto	103
Bibliografía	105

Índice de figuras

1.1. Niveles de madurez de acuerdo a TMMI dentro del alcance del proyecto.	9
2.1. Modelo de Madurez de Pruebas TMMI	13
2.2. Estructura Modelo TMMI	17
2.3. Matriz del modelo <i>Test Process Improvement - TPI</i>	18
2.4. Niveles de madurez del modelo <i>CMMI</i>	19
2.5. Niveles de madurez y atributos de <i>SPICE</i>	20
5.1. Plataforma de desarrollo prototipo funcional EDTest	65
5.2. Diagrama de Casos de Uso EDTest	67
5.3. Esquema de la base de datos prototipo EDTest	68
5.4. Página de Bienvenida	69
5.5. Página de Registro	69
5.6. Formulario de Evaluación	70
5.7. Detalle Criterios Evaluación	70
5.8. Resultados Criterios Evaluación	71
5.9. Hoja de Ruta	72
5.10. Hoja de Ruta	73
5.11. Hoja de Ruta	73
6.1. Nivel de madurez obtenido por empresa y tipo de usuario	84
6.2. Resultados por área de proceso empresa ABC2	85
6.3. Respuestas obtenidas a la pregunta: ¿Qué tan fácil te resultó usar la herramienta?	88
6.4. Respuestas obtenidas a la pregunta: ¿Qué tan útil consideras la hoja de ruta proporcionada?	88
6.5. Respuestas obtenidas a la pregunta: ¿Qué tan viable consideras que es implementar las recomendaciones entregadas en la hoja de ruta?	89
6.6. Respuestas obtenidas a la pregunta: beneficios que consideras que se pueden obtener aplicando las recomendaciones de la hoja de ruta.	89
A.1. Modelo <i>IDEAL</i>	95

Índice de tablas

1.1. Comparativo Modelos de Mejora para El Proceso de Pruebas	6
1.1. Comparativo Modelos de Mejora para El Proceso de Pruebas	7
2.1. Resumen Niveles de Madurez de Prueba TMMI	14
2.2. Resumen de Áreas de Proceso Nivel 2 - Gestionado	15
2.3. Resumen de Áreas de Proceso Nivel 3 - Definido	15
2.3. Resumen de Áreas de Proceso Nivel 3 - Definido	16
2.4. Requisitos del método de evaluación de la madurez de procesos.	23
2.4. Requisitos del método de evaluación de la madurez de procesos.	24
3.1. Criterios de Evaluación Área de Proceso Política y Estrategia de Pruebas	29
3.2. Criterios de Evaluación Área de Proceso Planeación de Pruebas	29
3.2. Criterios de Evaluación Área de Proceso Planeación de Pruebas	30
3.3. Criterios de Evaluación Área de Proceso Monitoreo y Control de Pruebas	31
3.4. Criterios de Evaluación Área de Proceso diseño y ejecución de pruebas	32
3.4. Criterios de Evaluación Área de Proceso diseño y ejecución de pruebas	33
3.5. Criterios de Evaluación Área de Proceso Ambientes de Prueba	33
3.5. Criterios de Evaluación Área de Proceso Ambientes de Prueba	34
3.6. Criterios de Evaluación Área Proceso Establecer una Organización de Pruebas	34
3.6. Criterios de Evaluación Área Proceso Establecer una Organización de Pruebas	35
3.6. Criterios de Evaluación Área Proceso Establecer una Organización de Pruebas	36
3.7. Criterios de Evaluación Área de Proceso Programa de entrenamiento de pruebas	36
3.8. Criterios de Evaluación Área de Proceso Ciclo de vida del proceso de pruebas e integración	37
3.8. Criterios de Evaluación Área de Proceso Ciclo de vida del proceso de pruebas e integración	38
3.9. Criterios de Evaluación Área de Proceso Pruebas No Funcionales	38
3.9. Criterios de Evaluación Área de Proceso Pruebas No Funcionales	39
3.10. Criterios de Evaluación Área de Proceso Revisiones de Pares	39
3.10. Criterios de Evaluación Área de Proceso Revisiones de Pares	40
3.11. Dependencias entre criterios de evaluación	41
3.11. Dependencias entre criterios de evaluación	42
3.12. Escala de Calificación ISO 33001:2015	43
3.13. Ejemplo del Cálculo del Peso para Criterios Clasificados en el Caso 1.	44
3.14. Ejemplo del Cálculo del Peso para Criterios Clasificados en el Caso 2.	45
3.15. Peso de los Criterios de Evaluación	45
3.15. Peso de los Criterios de Evaluación	46

3.15. Peso de los Criterios de Evaluación	47
3.17. Peso de las áreas de proceso.	48
3.18. Cálculo del % de cumplimiento para el Área de Proceso 2.1 Política y Estrategia de Pruebas (PEP)	50
3.19. Cálculo del % de cumplimiento para el Área de Proceso 2.2 Planeación y Estrategia de Pruebas (PP)	51
3.20. Cálculo del % de cumplimiento para el Nivel de Madurez 2-Gestionado	51
3.21. Evaluación Madurez Empresa "ABC"	52
3.21. Evaluación Madurez Empresa "ABC"	53
3.21. Evaluación Madurez Empresa "ABC"	54
4.1. Actividades Dentro de la Fase de Iniciación del Proceso de Mejora.	56
4.1. Actividades Dentro de la Fase de Iniciación del Proceso de Mejora.	57
4.2. Actividades Dentro de la Fase de Diagnóstico del Proceso de Mejora.	57
4.2. Actividades Dentro de la Fase de Diagnóstico del Proceso de Mejora.	58
4.3. Actividades Dentro de la Fase de Estabilización del Proceso de Mejora.	59
4.3. Actividades Dentro de la Fase de Estabilización del Proceso de Mejora.	60
4.4. Actividades Dentro de la Fase de implementar las Mejora del proceso.	61
4.4. Actividades Dentro de la Fase de implementar las Mejora del proceso.	62
4.5. Actividades Dentro de la Fase de Aprendizaje de la Implementación de las Mejora del proceso.	62
6.1. Descripción de empresas participantes en la evaluación de madurez del proceso de pruebas.	75
6.1. Descripción de empresas participantes en la evaluación de madurez del proceso de pruebas.	76
6.1. Descripción de empresas participantes en la evaluación de madurez del proceso de pruebas.	77
6.1. Descripción de empresas participantes en la evaluación de madurez del proceso de pruebas.	78
6.2. Nivel de madurez obtenido para cada organización por usuario	81
6.2. Nivel de madurez obtenido para cada organización por usuario	82
A.1. Fases Modelo <i>IDEAL</i>	96
B.1. Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 2 de madurez	97
B.1. Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 2 de madurez	98
B.1. Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 2 de madurez	99
B.1. Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 2 de madurez	100
B.2. Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 3 de madurez	101
B.2. Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 3 de madurez	102

Introducción

1.1. Planteamiento del problema

El proceso de pruebas es una forma de evaluar la calidad del software y reducir el riesgo de falla del software en funcionamiento (Friedenberg et al., 2018). Esto quiere decir que el proceso de pruebas no garantiza que el software no tenga fallos. El *International Software Testing Qualifications Board* o *ISTQB* por sus siglas en inglés, es una organización líder a nivel mundial que certifica los conocimientos de los profesionales en pruebas de software con base en las mejores prácticas¹. De acuerdo con el *ISTQB* uno de los Siete Principios de las Pruebas es que realizar pruebas exhaustivas no es posible. Probar todas las combinaciones de entradas y condiciones previas solo es viable en casos triviales. En lugar de esto, se deben enfocar esfuerzos en analizar riesgos, utilizar técnicas de prueba y definir prioridades (Friedenberg et al., 2018).

A lo largo de la evolución de la industria del software se han definido estándares y modelos de madurez que buscan que a partir de la aplicación de los lineamientos y prácticas que éstos proponen, mejore la calidad del software. Modelos de madurez como *Capability Maturity Model Integration* o *CMMI* y *Test Maturity Model Integration* o *TMMI* por sus siglas en inglés se encuentran entre los más populares (García-Mireles et al., 2012). En *CMMI* el proceso de pruebas de software no tiene relevancia a pesar del hecho de que las pruebas frecuentemente representan el 30 %-40 % del costo total de los proyectos. Por esta razón surge *TMMI* como modelo de mejora para el proceso de pruebas en donde un proceso evoluciona de un estado inicial caótico (Nivel 1), a un estado en que se gestiona, controla y optimiza el proceso (Nivel 5) (van Veenendaal et al., 2018).

De acuerdo con una investigación realizada por *Queen's University Belfast*, existen 58 modelos de madurez diferentes. Indican que esta cantidad se podría deber a que no existe un único modelo que se adapte a todas las necesidades de mejora del proceso de pruebas en la industria, algunos modelos que provienen de la academia, al parecer no se han basado en necesidades reales de la industria o no se revisa completamente el estado del arte para tomar en cuenta las mejores prácticas ya existentes. También se destacó en este mismo estudio que el modelo *TMMI* es uno de los más populares (Garousi et al., 2017). La popularidad de *TMMI* se fundamenta principalmente en que está alineado con el programa de estudios y la terminología de la *ISTQB* lo que significa una ventaja para alrededor de 700.000 profesionales de pruebas certificados en el mundo, es un modelo genérico lo que permite su adopción en diferentes contextos mientras que otros están diseñados para

¹<https://www.istqb.org/about-us/who-we-are>

propósitos específicos. Hay beneficios demostrados de *TMMI*, por ejemplo, permite incrementar el porcentaje de detección de defectos en un 10 %, 20 % y 22 % de acuerdo con una encuesta realizada en tres empresas de Nivel 3 de madurez. (Garousi and van Veenendaal, 2022).

Las compañías de desarrollo de software o las entidades que desarrollan su propio software no necesariamente aplican estándares o modelos de madurez en su proceso de desarrollo y pruebas, contrario a esto, la industria muestra que opta por definir prácticas *ad hoc* y éstas prácticas inmaduras conducen a resultados negativos, por ejemplo, ineficacia en detectar los defectos del software y sobrecostos en las actividades que implica el proceso de pruebas (Garousi et al., 2017). Aunque existen estándares y modelos de madurez para apoyar la mejora tanto de los procesos de desarrollo como de pruebas y por consiguiente contribuir para mejorar la calidad del software, es un desafío adoptar las prácticas propuestas por el modelo de madurez de pruebas debido a las siguientes causas:

- Para una organización que esté interesada en iniciar un proceso de mejora no es fácil realizar una evaluación del nivel de madurez de forma autónoma (Becker et al., 2009) porque esto requiere seleccionar un modelo de mejora, definir criterios de comparación y establecer cómo medir (Garousi et al., 2017).
- *TMMI* pone a disposición un marco de trabajo “*TMMI Assessment Method Application Requirements*” o *TAMAR* por sus siglas en inglés, para que los interesados puedan desarrollar un método de evaluación (TMMi Foundation, 2014) sin embargo, las organizaciones dependen directamente de consultores que puedan acompañar el proceso de preparación y desarrollo de esta evaluación.
- No se encuentran acciones concretas que las empresas de desarrollo de software y sus líderes del proceso de desarrollo y pruebas deban seguir para madurar en el nivel actual y posteriormente continuar a un siguiente nivel de madurez. El modelo *TMMI* describe buenas prácticas para mejorar el proceso pero no indica cómo aplicarlas.

Diseñar e implementar un artefacto para la evaluación del nivel de madurez del proceso de pruebas de software y sugerir acciones que permitan madurar en el nivel actual y avanzar al siguiente nivel de madurez tomando como referencia el modelo *TMMI* es el objetivo de este proyecto, permitiendo el proceso de evaluación a través del uso de una herramienta que brinde a las empresas los resultados de dicha evaluación y las actividades sugeridas que sirvan como hoja de ruta para avanzar de un nivel de madurez a otro cuando la empresa se encuentre en los niveles 1-Inicial, 2-Gestionado o iniciando en el nivel 3-Definido.

1.1.1. Formulación

El proyecto presentado busca abordar y responder principalmente a la siguiente pregunta de investigación:

- ¿Cómo evaluar la madurez del proceso de pruebas de software tomando como referencia el modelo *TMMI*?

1.1.2. Sistematización

- ¿Cuáles son los criterios que permiten evaluar la madurez del proceso de pruebas tomando como referencia el modelo *TMMI*?
- ¿Qué acciones se pueden sugerir para que una organización mejore el estado actual del proceso de pruebas y así pueda continuar madurando a través de los siguientes niveles?
- ¿Cómo permitir a las organizaciones realizar una evaluación del nivel de madurez del proceso de pruebas tomando como referencia el modelo *TMMI*?

1.2. Objetivos del proyecto

1.2.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un artefacto para la evaluación del nivel de madurez y sugerir acciones que permitan avanzar al siguiente nivel de madurez basado en el modelo *TMMI*.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Construir un artefacto que integren los criterios que permitan evaluar el nivel de madurez del proceso de pruebas actual de la empresa basado en el modelo *TMMI*.
2. Definir acciones que permitan pasar de un nivel a otro en el modelo de madurez de pruebas propuesto por *TMMI*.
3. Implementar un prototipo funcional que permita la aplicación del artefacto diseñado.
4. Aplicar el artefacto diseñado, mediante el prototipo, en cinco empresas que desarrollen software.

1.3. Justificación

El aseguramiento de la calidad de software cada vez ha cobrado más relevancia y actualmente los CIOs valoran más que antes las pruebas de software. Como parte de los procesos de transformación digital asegurar la experiencia del cliente y la calidad del software es de suma importancia, tal como lo menciona Capgemini en el *World Quality Report 2021-22* en su decimotercera edición (Fullen et al., 2021). Este reporte examina las tendencias y desarrollos relacionados con control de calidad y pruebas, encuestando a 1750 altos ejecutivos a nivel mundial en múltiples sectores y en 32 países. Este reporte muestra los aspectos que los encuestados consideran más relevantes dentro de su estrategia de TI:

- Mejorar experiencia del cliente (puntuado alto por el 63 % de los encuestados)
- Mejorar la seguridad (62 %)
- Mayor capacidad de respuesta a los negocios (61 %)
- Mayor calidad de las soluciones de software (también 61 %).

Estos resultados muestran que las organizaciones están interesadas en realizar esfuerzos para mejorar sus procesos de pruebas. La implementación de un modelo de mejora como *TMMI* es una opción probada en la industria que ha demostrado brindar beneficios a las empresas que lo adoptan, pequeñas, medianas y grandes empresas. De acuerdo con la encuesta *World-Wide User Survey 2020-2021* que realizó la Fundación *TMMI* en la que participaron aproximadamente 129 empresas que han implementado el modelo, donde el 84 % del total de organizaciones tienen más de 100 empleados y el 16 % de los usuarios son organizaciones con menos de 100 empleados. (TMMI-Foundation, 2022) mostró que dentro de las principales razones por las cuales adoptaron *TMMI* están

- Mejorar la calidad del software (73 %)
- Aumentar la productividad de las pruebas (71 %)
- Reducir el riesgo del producto(68 %)

Esta misma encuesta permite evidenciar los beneficios que estas empresas han logrado con *TMMI*. Dichos beneficios han sido clasificados en seis categorías:

- Calidad del producto. Un 88 % de los usuarios están experimentando beneficios en cuanto a la calidad del producto (por ejemplo, reducción de riesgos del producto y/o reducción del número de defectos).
- Eficiencia de las pruebas (77 %), incremento de la productividad de las pruebas.
- Cumplimiento (84 %), que se ve relacionado con que el proceso es capaz de obtener certificaciones de pruebas y/o cumplir con estándares.

- Personas (77%), que mejoran la disciplina de ingeniería de pruebas y/o mantienen la motivación del equipo.
- Predictibilidad de las pruebas, 38 % de los usuarios están experimentando beneficios relacionados con este aspecto tales como planificación adecuada, expectativas realistas y toma de decisiones informadas basadas en los resultados esperados de las pruebas.
- Mejoras en la alineación con el negocio (39%).

Además de *TMMI*, existen otros modelos de mejora probados en la industria. En la tabla 3.21 se presentan los principales. De acuerdo al comparativo entre los principales modelos que se pueden implementar, se identifica que tienen ventajas y desventajas similares, sin embargo, se puede resaltar que *TMMI* es un modelo que ha sido desarrollado utilizando fuentes tales como (Garousi and van Veenendaal, 2022):

- El modelo de mejora de procesos *CMMI*. La estructura del *TMMI* se basa en gran medida en la estructura de la versión 1.3 del *CMMI*. Esto representa una ventaja debido a que muchas personas y organizaciones ya están familiarizadas con la estructura del *CMMI*. La estructura del *CMMI* establece una clara distinción entre los componentes que son requeridos (objetivos) o recomendados (prácticas específicas, ejemplos de productos de trabajo, etc.) para implementar. Este aspecto también está incluido en el *TMMI* (TMMi Foundation, 2014).
- Estándares internacionales de pruebas, como los de la *ISO*. *TMMI* adicionalmente tiene un documento guía donde se especifican los requisitos que deben cumplir los métodos de evaluación que se realicen bajo este modelo de referencia. Estos requisitos están de conformidad con la ISO/IEC 15504-2 (TMMi Foundation, 2014). La norma ISO/IEC 15504-2² (también conocida como ISO 15504) es parte de la serie de normas ISO/IEC 15504, que establece un marco para la evaluación de procesos de software. La norma ISO/IEC 15504-2 se enfoca específicamente en los requisitos para realizar una evaluación de los procesos de software.
- El vocabulario de pruebas utilizado que se deriva del estándar *ISTQB* de términos utilizados en Pruebas de Software. La Fundación *TMMi* ha decidido no introducir terminología nueva o propia, sino que reutiliza la terminología de *ISTQB*. Esto es una ventaja para todos los profesionales de pruebas que cuentan con certificación *ISTQB* (aproximadamente 700,000 en todo el mundo para el año 2021) (Garousi and van Veenendaal, 2022).

²<https://www.iso.org/standard>

Tabla 1.1: Comparativo Modelos de Mejora para El Proceso de Pruebas

Modelo	Entidad	Enfoque	Ventajas	Desventajas
<i>TPI</i>	Sogeti	Procesos de pruebas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Enfoque específico en pruebas de software. ▪ Proporciona un marco estructurado y detallado para mejorar los procesos de pruebas. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere una implementación y adopción efectivas para obtener beneficios significativos.
<i>CMMI</i>	Instituto de Ingeniería de Software (SEI)	Procesos en general	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Amplio alcance y aplicabilidad en diversos campos de desarrollo de software y gestión. ▪ Enfoque de mejora de procesos en general. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proporcionan solo algunos criterios de evaluación y mejora a nivel general para las pruebas de software y, por lo tanto, tienen un uso limitado para la mejora del proceso de pruebas. ▪ Puede resultar complejo y requerir recursos significativos para su implementación. ▪ Puede resultar difícil de adaptar a las necesidades específicas de cada organización.

Tabla 1.1: Comparativo Modelos de Mejora para El Proceso de Pruebas

Modelo	Entidad	Enfoque	Ventajas	Desventajas
<i>TMMI</i>	<i>TMMI Foundation</i>	Procesos de pruebas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Enfoque específico en pruebas de software. ▪ Proporciona un marco estructurado y detallado para mejorar los procesos de pruebas. ▪ Desarrollado considerando importantes fuentes tales como el modelo de mejora de procesos <i>CMMI</i>, Estándares internacionales: <i>ISO</i>, e <i>ISTQB</i>. ▪ Ampliamente utilizado en la industria. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere una implementación y adopción efectivas para obtener beneficios significativos.
<i>SPICE</i>	<i>ISO/IEC</i>	Procesos de pruebas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Enfoque integral que abarca todos los aspectos del desarrollo de software. ▪ Proporciona una evaluación detallada de la capacidad de los procesos de desarrollo de software 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requiere una comprensión profunda y un esfuerzo significativo para su implementación. ▪ Llevar a cabo evaluaciones de capacidad puede requerir recursos significativos, como tiempo, personal capacitado y herramientas especializadas. Esto puede ser un desafío para organizaciones con limitaciones de recursos.

Un artefacto que permita evaluar el nivel de madurez del proceso de pruebas tomando como referencia el modelo *TMMI* aporta al mejoramiento de la calidad del software producido por estas

empresas puesto que a través del uso del artefacto, líderes, ingenieros de desarrollo e ingenieros de prueba que participan en el proceso pueden realizar una verificación rápida de cuál es el estado actual del proceso y a partir de este punto, pueden obtener una hoja de ruta con las acciones que permitan iniciar las mejoras en el proceso de pruebas de acuerdo a las áreas en las que se haya identificado que existen debilidades (Becker et al., 2009).

El artefacto desarrollado como parte de este trabajo, permite que:

1. La organización se familiarice con la estructura del modelo de mejora *TMMI*.
2. Pueda realizar una verificación rápida del nivel de madurez actual de la organización.
3. Pueda implementar mejoras siguiendo una metodología.
4. Establezcan las bases para que la organización posteriormente pueda avanzar hacia los niveles 4 y 5 de madurez del modelo *TMMI* si así lo requieren.
5. Puedan iniciar una evaluación formal ante la organización *TMMI*.

1.4. Delimitaciones y Alcances

El objetivo de este trabajo de grado fue diseñar e implementar un artefacto que permite a las empresas que desarrollan software realizar una evaluación rápida de la madurez de su proceso de pruebas actual utilizando el modelo *TMMI* como referencia.

En primer lugar, se establecieron cada uno de los criterios por área de proceso que deben ser evaluados por la organización. Estos criterios abarcan prácticas y objetivos específicos del modelo *TMMI* bajo el contexto de metodologías de desarrollo Ágiles (*TMMi Foundation, 2019*). La limitación del alcance a las metodologías de desarrollo ágil se debe a que de acuerdo con *World-Wide User Survey 2020-2021* realizada por la fundación *TMMI*, 78% de las organizaciones usando *TMMI* están trabajando con el ciclo de vida de desarrollo ágil.

Como se muestra en la imagen 1.1 dentro del alcance de este trabajo se incluyeron los niveles de madurez 1-Iniciado, 2-Gestionado y 3-Definido donde se requieren más esfuerzos y por lo tanto el aporte de este proyecto se considera significativo. Para los niveles 4-Medido y 5-Optimizado que corresponde a niveles altos de madurez, el aporte de este proyecto no es significativo puesto que las empresas que se encuentran en estos niveles ya siguen planes de mejora continua para sus procesos, por lo tanto está por fuera del alcance sugerir acciones para dichos niveles.

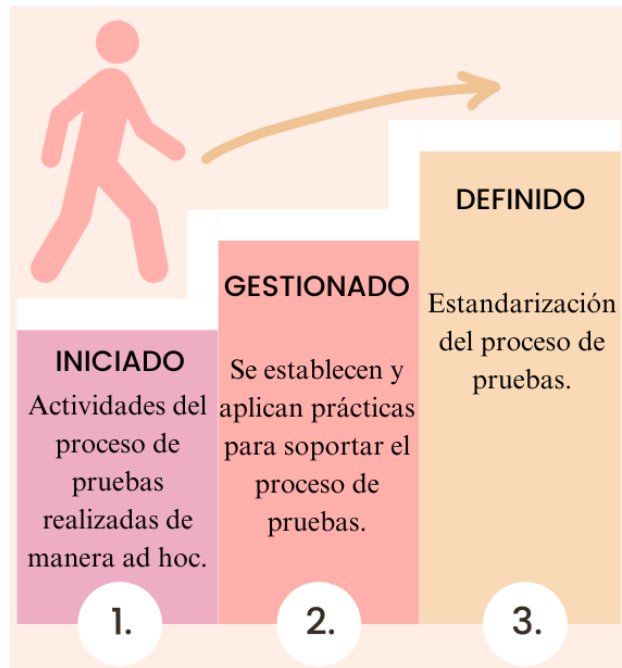


Figura 1.1: Niveles de madurez de acuerdo a TMMI dentro del alcance del proyecto.

En el nivel 1 de madurez del modelo TMMI, no se establecen áreas de proceso ni prácticas específicas. Esto implica que la evaluación para determinar el nivel de madurez se basará en las prácticas implementadas de los niveles 2-Gestionado y 3-Definido establecidos por TMMI. Una organización que no implemente ninguna de estas prácticas es clasificada como nivel 1 de madurez. Por lo tanto, dentro del alcance de este proyecto se incluirá la validación de las áreas de proceso y sus prácticas correspondientes de los niveles 2 y 3.

Una vez definidos los criterios para las diez(10) áreas de proceso incluidas en el alcance de este trabajo, se desarrolló el método para evaluar el nivel de madurez en el que se encuentra cada empresa. Este método permite evaluar las diez(10) áreas de procesos asociadas a los niveles 2 y 3 de madurez de acuerdo al modelo TMMI. Con base en los resultados obtenidos, se calcula el nivel de madurez actual del proceso de pruebas.

Como parte del proceso de evaluación, la empresa debe identificar aquellos criterios que cumple y aquellos que aún no está cumpliendo. Para aquellos criterios que aún no se cumplen, se sugieren recomendaciones que pueden aplicar para continuar madurando en cada área evaluada. Con las recomendaciones sugeridas se estructura una hoja de ruta con la cual las empresas pueden orientar sus esfuerzos hacia la mejora de su proceso de pruebas.

Es importante resaltar que el modelo de madurez TMMI utilizado como referencia solamente proporciona una lista de mejores prácticas y una descripción de un proceso de madurez de pruebas.

TMMI no proporciona una evaluación lista para ser usada y tampoco ofrece un enfoque estándar para implementar mejoras en la organización. Por esta razón como parte de la hoja de ruta se proporcionan las actividades que la organización debe tomar en cuenta para implementar las mejoras siguiendo el modelo de mejora de procesos IDEAL.

Por último, se desarrolló un prototipo funcional que permite a los usuarios interactuar con la evaluación, obtener el nivel de madurez actual y obtener la hoja de ruta con las acciones sugeridas a seguir de acuerdo a los resultados de la evaluación. Para evaluar la aplicabilidad del artefacto, se llevó a cabo la aplicación del artefacto en cinco empresas dedicadas al desarrollo de software. En cada empresa, participaron tres profesionales de las áreas de desarrollo y pruebas de software, quienes fueron responsables de utilizar el artefacto generado en este trabajo. Los resultados de este estudio permitieron obtener conclusiones y lecciones aprendidas que contribuirán al mejoramiento continuo del artefacto como trabajo futuro.

1.5. Resultados esperados

- Artefacto para diagnosticar el nivel de madurez del proceso de pruebas en las empresas de desarrollo de software basado en el modelo *TMMI*.
- Conjunto de recomendaciones que sirvan como hoja de ruta para mejorar el estado actual del proceso de pruebas y avanzar hacia los siguientes niveles, 2-Gestionado ó 3-Definido.
- Prototipo funcional que permita la aplicación del artefacto diseñado.
- Resultado de la evaluación en cinco empresas que desarrollen software por medio del artefacto diseñado.

Marco de referencia

En este capítulo se presentan las bases teóricas y los trabajos previos que sirven como base para la realización del proyecto.

2.1. Bases teóricas

2.1.1. Proceso de Pruebas

De acuerdo con la *ISTQB* no hay un único proceso de pruebas de software, pero si existen conjuntos comunes de actividades de prueba sin las cuales es menos probable que las pruebas logren los objetivos establecidos. Estos conjuntos de actividades de pruebas son un proceso de prueba. Un proceso de pruebas consiste de los siguientes grupos de actividades principales:

- **Planeación:** La planeación de las pruebas implica actividades que definen los objetivos de las pruebas y el enfoque para cumplir con dichos objetivos dentro de las restricciones impuestas por el contexto.
- **Monitoreo y Control:** El monitoreo implica la comparación continua del progreso real con el progreso planificado usando cualquier métrica de monitoreo definida en el plan de pruebas. El control implica las acciones necesarias para cumplir con los objetivos del plan de pruebas.
- **Análisis:** Durante el análisis de las pruebas, se deben identificar las características que deben ser probadas así como definir las condiciones de pruebas asociadas. El análisis permite determinar qué probar en términos de criterios de cobertura medibles.
- **Diseño:** El diseño responde a la pregunta de cómo se debe probar aquello que se determinó que debe ser probado en la etapa de análisis.
- **Implementación:** Durante la implementación, los artefactos necesarios para la ejecución de pruebas son creados o completados. Mientras el análisis de las pruebas responde a la pregunta de ¿qué probar?, el diseño ¿cómo probar?, la implementación responde a la pregunta ¿se cuenta con todo lo necesario para ejecutar las pruebas?. Las tareas de diseño e implementación frecuentemente son combinadas.
- **Ejecución:** Durante la ejecución, las pruebas son ejecutadas y se incluyen algunas de las siguientes actividades:
 - Ejecutar las pruebas manualmente o con herramientas de pruebas.

- Comparar los resultados obtenidos con los resultados esperados.
 - Analizar las anomalías para establecer su posible causa.
 - Reportar los defectos correspondientes a las fallas observadas.
- **Cierre:** Durante las actividades de cierre, se recolecta datos de las actividades de pruebas completadas, para consolidar experiencia, artefactos y otra información relevante. Algunas de las actividades que se incluyen en este grupo son:
- Verificar si todos los defectos reportados han sido cerrados.
 - Analizar lecciones aprendidas de las actividades de pruebas completadas para identificar cambios requeridos en las siguientes iteraciones, entregas o proyectos.
 - Usar la información recolectada para mejorar la madurez del proceso de pruebas.

2.1.2. Modelo de Madurez

Un modelo de madurez es una colección estructurada de elementos que describen las características de procesos o productos efectivos. En general, los modelos de madurez tienen las siguientes propiedades (Khoshgoftar and Osman, 2009):

- Se describe con un número limitado de niveles de madurez (generalmente de cuatro a seis).
- Los niveles se caracterizan por ciertos requisitos que la entidad tiene que cumplir en ese nivel.
- Los niveles están ordenados secuencialmente, desde un nivel inicial hasta un nivel final (este último es el nivel de perfección).

2.1.3. Testing Maturity Model Integrated - TMMI

El modelo de madurez de pruebas TMMI es un marco de trabajo para la mejora del proceso de pruebas en el cual se usa el concepto de niveles de madurez para la evaluación y mejora (Garousi and van Veenendaal, 2022). Las fuentes utilizadas para el desarrollo de este modelo de madurez son el modelo de pruebas evolutivas de Gelperin y Hetzel publicado en 1988, el *Test Maturity Model* o *TMM* por sus siglas en inglés que fue desarrollado por el Instituto de Tecnología de Illinois en 1993, el *Capability Maturity Model Integration (CMMI)* y el *ISTQB* del cual usa el mismo glosario de términos de pruebas (van Veenendaal et al., 2018). TMMI surgió debido a que en el modelo *CMMI* ampliamente usado para la mejora del proceso de desarrollo de software no se consideraba el proceso de pruebas con el detalle requerido, por esta razón profesionales expertos en el área de pruebas formaron la fundación TMMI¹ y desarrollaron la primera versión del modelo publicada en el año 2012 (Garousi and van Veenendaal, 2022). Las versiones recientes del modelo TMMI corresponden a la versión para el contexto ágil publicada en el año 2019 y la versión 1.3 liberada en el año 2022. El modelo de madurez TMMI está compuesto por los siguientes elementos de acuerdo con la versión 1.3 (van Veenendaal et al., 2022):

¹<https://www.tmmi.org/>

- Nivel de Madurez:** Corresponde al grado de calidad del proceso de pruebas en la organización. Existen cinco niveles como se muestra en la Figura 2.1 y cada uno define qué implementar para alcanzar el nivel dado. Para alcanzar un nivel de madurez en particular, una organización debe satisfacer los objetivos específicos y genéricos apropiados de las áreas de procesos del nivel específico y también las de los niveles anteriores.

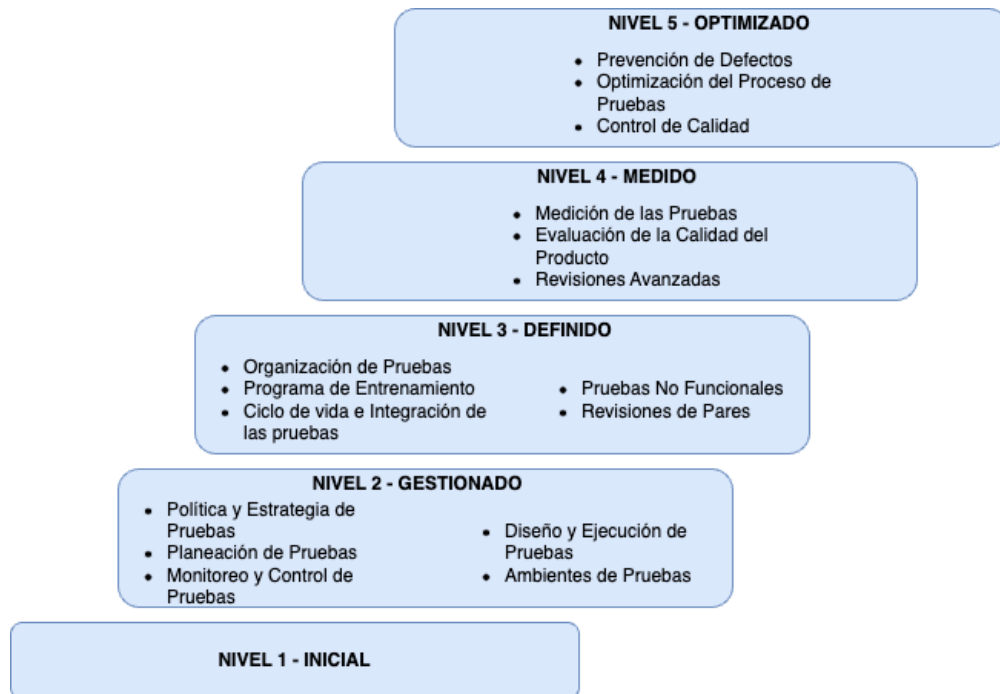


Figura 2.1: Modelo de Madurez de Pruebas TMMI

Todas las organizaciones como mínimo se encuentran en el Inicial (Nivel 1) donde no hay definición de objetivos para cumplir. En la tabla 2.1 se muestra la descripción general de los niveles incluidos en el alcance de este trabajo de grado.

Tabla 2.1: Resumen Niveles de Madurez de Prueba TMMI

Niveles de Madurez Modelo TMMI	
1 - Inicial	Las pruebas suelen ser un proceso caótico e indefinido. El objetivo en este nivel de pruebas es demostrar que el software se ejecuta sin fallos importantes. La falta de herramientas y personal debidamente capacitado es evidente. Las organizaciones a menudo se caracterizan por comprometerse en exceso, abandonar procesos en momentos de crisis y no poder replicar sus éxitos. Además, los productos tienden a no ser lanzados a tiempo, los presupuestos se exceden y la calidad entregada no se ajusta a las expectativas.
2 - Gestionado	El objetivo principal de las pruebas en este nivel es verificar que el producto cumpla con los requisitos especificados. La disciplina del proceso, reflejada por el nivel de madurez 2, ayuda a garantizar que las prácticas probadas se mantengan durante períodos de estrés. Se establece una estrategia de pruebas a nivel de toda la empresa o del programa, y se desarrollan planes de pruebas. Las pruebas se monitorean y controlan. Muchos problemas de calidad en este nivel ocurren debido a que las pruebas se realizan tarde en el ciclo de vida del desarrollo, lo que permite que los defectos se propaguen desde los requisitos y el diseño hasta el código. Hasta el momento, no existen programas de revisiones formales para abordar este problema importante.
3 - Definido	En este nivel, la planificación de pruebas se lleva a cabo en una etapa temprana del proyecto, por ejemplo, durante la fase de requisitos, y se documenta en un plan maestro de pruebas. Se establece y mejora con el tiempo un conjunto de procesos de prueba estándar de la organización, que sirve como base para alcanzar el nivel de madurez 3. Además, existe una organización de pruebas y se implementa un programa de capacitación específico en pruebas. La mejora del proceso de pruebas se ha institucionalizado por completo como parte de las prácticas aceptadas de la organización de pruebas.

- Áreas de Procesos:** Excepto por el Nivel Inicial, cada nivel de madurez se compone de áreas de procesos que identifican un conjunto de actividades relacionadas con el proceso de pruebas. En TMMI, solo se identifican las áreas que se consideran clave para determinar la capacidad del proceso de pruebas. Puedes encontrar un resumen del propósito de cada una de las áreas de proceso en la tabla 2.2 para el Nivel 2-Gestionado y en la tabla 2.3 para el Nivel 3-Definido.

Tabla 2.2: Resumen de Áreas de Proceso Nivel 2 - Gestionado

Nivel 2 - Gestionado	
Área de Proceso	Propósito
Política y Estrategia de Pruebas	Determinar los lineamientos que regirán el proceso de pruebas buscando lograr una dinámica colaborativa que permita obtener productos de alta calidad que cumplen las especificaciones del negocio, optimizar recursos, aprender y mejorar de experiencias anteriores.
Planeación de Pruebas	Definir un enfoque de pruebas basado en los riesgos identificados y la estrategia de pruebas definida, así como establecer y mantener planes para gestionar las actividades de prueba.
Monitoreo y Control de Pruebas	Revisar constantemente el progreso y los resultados de las pruebas, adaptando el plan y enfoque según corresponda.
Diseño y Ejecución de pruebas	Mejorar la capacidad del proceso de pruebas durante el diseño y la ejecución de pruebas mediante el establecimiento de especificaciones de diseño de prueba, la realización de un proceso de ejecución de pruebas estructurado y la gestión de los incidentes de prueba hasta su resolución.
Ambientes de Prueba	Establecer y mantener un entorno adecuado, que incluya datos de prueba, en el cual sea posible ejecutar las pruebas de manera controlada y repetible.

Tabla 2.3: Resumen de Áreas de Proceso Nivel 3 - Definido

Nivel 3 - Definido	
Área de Proceso	Propósito
Organización de Pruebas	Identificar y organizar un grupo altamente capacitado para llevar a cabo pruebas, así como mejorar el proceso y los activos de pruebas de la organización.

Tabla 2.3: Resumen de Áreas de Proceso Nivel 3 - Definido

Nivel 3 - Definido	
Programa de Entrenamiento en Pruebas	Establecer y mantener un programa de entrenamiento que permita mejorar las habilidades y competencias de todos los miembros del equipo de pruebas. El plan de entrenamiento tiene como objetivo asegurar que el equipo esté debidamente capacitado para realizar las tareas de manera efectiva y eficiente, lo que a su vez puede mejorar la calidad del software producido y reducir los costos asociados con errores de pruebas.
Ciclo de Vida e Integración de Pruebas	El propósito del Ciclo de Vida e Integración de Pruebas es definir un enfoque coherente de pruebas en múltiples niveles de pruebas, basado en los riesgos identificados y la estrategia de pruebas definida.
Pruebas No Funcionales	Mejorar la capacidad del proceso de pruebas para incluir pruebas no funcionales durante la planificación, el diseño y la ejecución de las pruebas.
Revisiones de Pares	Realizar la revisión oportuna de los productos de trabajo, de manera que se puedan detectar y corregir errores de manera temprana en el proceso, lo que reduce el costo y el riesgo de introducir defectos en la fase de pruebas.

- **Objetivos y Prácticas Específicas:** Cada objetivo específico indica una sola característica que debe estar presente para satisfacer el proceso correspondiente de cada área. Un objetivo específico se divide en prácticas específicas que describen qué actividades son importantes y se pueden realizar para lograr el objetivo (Camargo et al., 2013).
- **Subprácticas:** Una subpráctica es una descripción detallada que proporciona una guía para interpretar e implementar una práctica específica. Las subprácticas no son una receta a seguir sino que proporcionan ideas que pueden ser útiles para la mejora del proceso de prueba.
- **Objetivos y Prácticas Genéricas:** Los objetivos genéricos están relacionados con más de un área de proceso y describen características que se pueden utilizar para institucionalizar el proceso de pruebas (Camargo et al., 2013).

En la Figura 2.2 se muestra la estructura general del modelo TMMI. En la versión 1.3, el modelo está conformado por 5 niveles de madurez, 16 áreas de procesos, 50 objetivos específicos, 173 prácticas específicas, 2 objetivos genéricos y 12 prácticas genéricas.

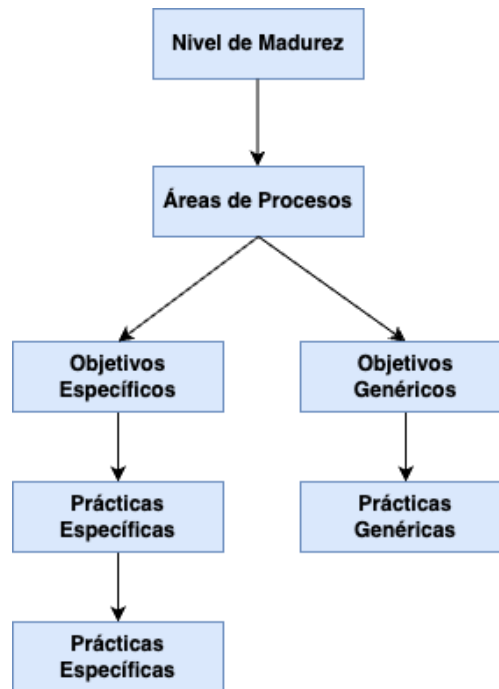


Figura 2.2: Estructura Modelo TMMI

2.1.4. Test Process Improvement Model - TPI

El modelo *TPI* fue desarrollado por Sogeti a finales de la década de los 90 y se actualizó en el año 2009, dando lugar a la versión *TPI NEXT*. Este modelo tiene como objetivo evaluar el nivel de madurez del proceso de pruebas en una organización. Ofrece un camino de mejora que incluye un conjunto de prácticas diseñadas para optimizar el proceso y lograr el nivel de madurez deseado, como se detalla en (O'Regan, 2019).

La meta principal de *TPI* es identificar las fortalezas y debilidades de los procesos de pruebas en una organización y proporcionar un conjunto de las mejores prácticas en esta área para su mejora (Sudarsanam, 2014). La implementación de estas prácticas permite a las organizaciones alcanzar un nivel de madurez más alto en sus procesos de pruebas, alineándolos con sus objetivos de negocio. Esto, a su vez, conlleva a una mayor eficiencia, agilidad, productividad y calidad del software, al tiempo que se reduce el riesgo asociado (Sogeti España, 2023).

De acuerdo con O'Regan (2019), la estructura del modelo *TPI* comprende:

- Niveles de madurez: *TPI* establece cuatro niveles de madurez: A - Iniciado, B - Controlado, C - Eficiente y D - Optimizado. Estos niveles representan el grado de madurez de los procesos de pruebas en una organización, desde el nivel más bajo, A, hasta el más alto, D.

- Áreas clave: el modelo *TPI* identifica y abarca 16 áreas clave que son fundamentales para evaluar y mejorar los procesos de pruebas.
- Puntos de control: cada área clave se compone de puntos de control específicos que permiten evaluar el nivel de madurez correspondiente. Estos puntos de control son los criterios utilizados para determinar en qué medida se cumplen los requisitos de cada nivel de madurez.
- Sugerencias de mejora: se proporcionan sugerencias para la implementación de prácticas en cada nivel de madurez por área clave, con el propósito de impulsar la mejora continua del proceso de pruebas y alcanzar niveles superiores de madurez.

El modelo *TPI* se basa en cuatro pilares fundamentales: ciclo de vida, técnicas, infraestructura y herramientas, y organización. Cada uno de estos pilares agrupa diversas áreas de proceso. Cada área clave abarca los diferentes niveles de madurez, que a su vez incluyen un conjunto de puntos de control. Estos puntos de control permiten evaluar el estado de madurez del proceso y ofrecen los pasos necesarios para alcanzar el siguiente nivel, como se detalla en (Heiskanen et al., 2012). La Figura 2.3 presenta la matriz de madurez del modelo *TPI*, donde se muestran las 16 áreas de proceso que conforman el modelo.

Áreas claves	Sugerencias de mejora										Habilitadores	
	Niveles de Madurez											
	Iniciado	Controlado			Eficiente			Optimizado				
1. Compromiso de las partes interesadas		A	B	B	C	F	H	H	K	M	M	
2. Grado de involucramiento		A	B	C	E	H	H	J	L	L		
3. Estrategia de prueba		A	A	B	E	F	F	H	K	L		
4. Organización de pruebas		A	D	D	E	I	I	J	J	K	L	L
5. Comunicación		B	C	C	D	F	F	J	M	M		
6. Informes		A		C	C	F	G	G	K	K		
7. Gestión de procesos de prueba		A	A	B	B	G	H	J	K	M		
8. Estimación y planificación		B	B	C	C	G	H	I	I	K	L	L
9. Métrica		C	C	D	G	H	H	I	K	K		
10. Gestión de defectos		A	A	B	D	F	F	H	J	K	L	L
11. Gestión de pruebas		B	B	D	E	I	I	J	L	L	L	
12. Práctica de la metodología		C	D	E	F	H	J	J	M	M		
13. Profesionalidad del probador		D	D	E	E	G	G	I	I	K	K	M
14. Diseño de caso de prueba		A	A	E	F	I	I	J	K	K	M	
15. Herramientas de prueba		E	E	E	F	G	G	I	L	M	M	
16. Entorno de prueba		C	D	D	E	G	H	J	J	L	M	M
		Puntos de Control										

Figura 2.3: Matriz del modelo *Test Process Improvement - TPI*

Heiskanen et al. (2012) indica que las principales fortalezas del modelo son:

- Brinda un enfoque integral, abordando diversos aspectos claves del proceso de pruebas como la estrategia de pruebas, infraestructura, métodos de pruebas, entre otros.
- El marco de evaluación propuesto por el modelo permite identificar las diferentes áreas que requieren mejora dentro del proceso de pruebas.
- Permite implementar mejoras de forma incremental al proceso de pruebas, adaptándose a las capacidades y necesidades particulares de cada organización.

Una de las desventajas del modelo es que no aborda la optimización del proceso de prueba en áreas que sí son contempladas por el Modelo de Madurez en Pruebas *TMMI* (Heiskanen et al., 2012).

2.1.5. Capability Maturity Model Integration - CMMI

CMMI, por sus siglas en inglés, significa *Capability Maturity Model Integration*. Este es un marco de referencia desarrollado por el Instituto de Ingeniería de Software (SEI) de la Universidad *Carnegie Mellon*, que proporciona un conjunto de buenas prácticas para mejorar los procesos de desarrollo y gestión de organizaciones.

CMMI se utiliza para evaluar y mejorar la capacidad de una organización en áreas como el desarrollo de software, la gestión de proyectos, la gestión de procesos y otros campos relacionados. Proporciona un conjunto de mejores prácticas y criterios que permiten a las organizaciones medir su madurez y capacidad en diferentes áreas clave.

El modelo CMMI se basa en niveles de madurez, que van desde el nivel 1 (inicial) hasta el nivel 5 (optimizado). Cada nivel de madurez tiene criterios y objetivos específicos que una organización debe cumplir para alcanzar ese nivel. A medida que una organización avanza en los niveles de madurez, se espera que sus procesos sean más eficientes, predecibles y optimizados. En la Figura 2.4 se presentan los niveles de madurez de CMMI.



Figura 2.4: Niveles de madurez del modelo *CMMI*

CMMI está conformado por múltiples áreas de proceso. Una área de proceso está compuesta por un conjunto de actividades relacionadas. En su totalidad, CMMI consta de 22 áreas de proceso (Ehsan et al., 2010).

CMMI ha sido ampliamente adoptado en la industria para mejorar la calidad y la eficiencia de los procesos de desarrollo de software y gestión de proyectos. Ayuda a las organizaciones a identificar áreas de mejora, establecer objetivos alcanzables y medir su progreso en la implementación de mejores prácticas (Isaca, 2023).

2.1.6. Software Process Improvement and Capability Determination - SPICE

SPICE, de acuerdo con Ehsan et al. (2010), es un “marco para la evaluación de procesos. Este marco desarrollado por ISO e IEC. Es un estándar internacional para la evaluación y mejora de los procesos de desarrollo de software que permite la comparación de los resultados de la evaluación”.

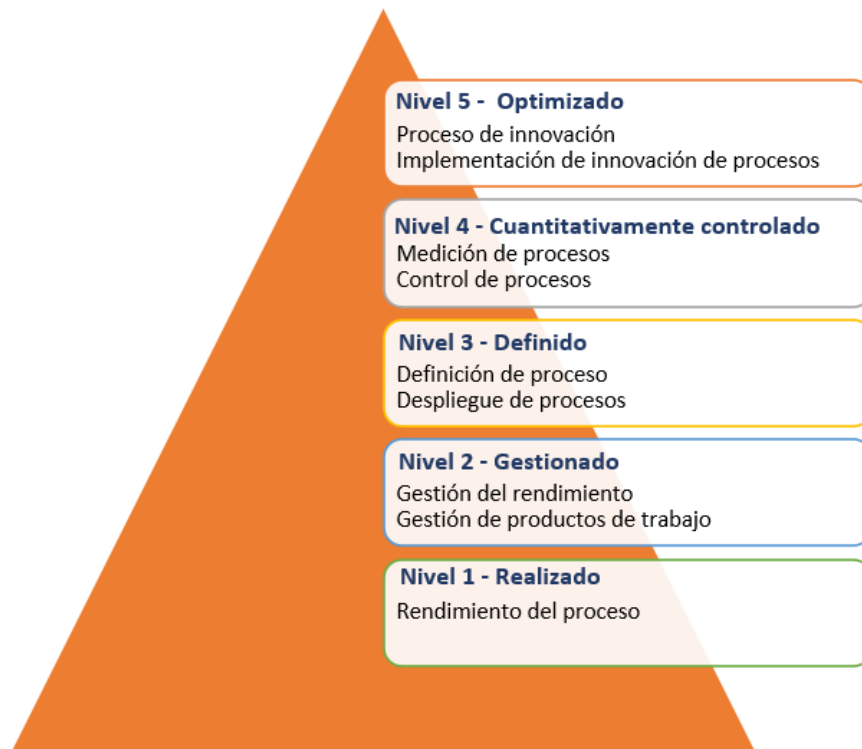


Figura 2.5: Niveles de madurez y atributos de *SPICE*

A continuación, se realizará una descripción del modelo *SPICE* basada en las pautas establecidas por ISO/IEC 33003 Parte 2 *International Organization for Standardization* (2015c). El modelo se basa en dos dimensiones principales: la dimensión del proceso y la dimensión de la capacidad.

La dimensión del proceso se refiere a la estructura y clasificación de los procesos dentro de la organización. El modelo *SPICE* utiliza el Modelo de Referencia de Procesos (*PRM*) para propor-

cionar un conjunto de procesos estándar. Estos procesos se agrupan en categorías de procesos, que incluyen:

- Procesos primarios del ciclo de vida: procesos relacionados con el desarrollo y la entrega del software. Incluyen actividades como la gestión de requisitos, el diseño del sistema, la implementación y las pruebas.
- Procesos organizacionales del ciclo de vida: procesos relacionados a la gestión en el desarrollo de software. Incluyen actividades como la gestión de configuración, de proyectos, de riesgos y de la calidad.
- Procesos de soporte del ciclo de vida: brindan soporte a los procesos primarios y organizacionales. Incluyen actividades como la capacitación del personal, la gestión de la infraestructura y la gestión de la mejora de procesos.

Por otra parte, la dimensión de la capacidad se refiere a las características medibles de los procesos. En esta dimensión, se definen atributos de proceso agrupados en niveles de capacidad como se puede observar en la figura 2.5. Estos atributos proporcionan criterios objetivos para evaluar la capacidad de los procesos. Los niveles de capacidad representan diferentes niveles de madurez en la ejecución de los procesos.

El modelo *SPICE* se basa en las dimensiones del proceso y la capacidad para evaluar y mejorar los procesos de software en una organización. Proporciona un conjunto de procesos estándar, categorías de procesos, atributos de proceso y niveles de capacidad para medir la madurez de los procesos.

2.1.7. Aspectos clave para la evaluación de la madurez de un proceso

2.1.7.1. Criterio de Evaluación

Un criterio, según la definición de [International Organization for Standardization \(2015a\)](#), se refiere a “reglas sobre las cuales se puede basar un juicio o decisión, o mediante las cuales se puede evaluar un producto, servicio, resultado o proceso”. De manera similar, [Project Management Institute \(2017\)](#) proporciona una definición afirmando que los criterios son “Estándares, reglas o pruebas en las que se puede basar un juicio o decisión o por medio de las cuales se puede evaluar un producto, servicio, resultado o proceso”.

Por otro lado, es relevante introducir la definición del término evaluación, que según la [International Organization for Standardization \(2014a\)](#) es la “determinación sistemática de la medida en que una entidad cumple sus criterios especificados”.

Existen varios tipos de criterios, como el criterio de aprobación, de aceptación y de decisión. A continuación, se presenta la definición formal otorgada por la ISO para cada uno de ellos

- Criterio de aprobación: según [International Organization for Standardization \(2014b\)](#), se refiere a “Reglas de decisión utilizadas para determinar si un elemento de software o una función de software pasa o no pasa una prueba”.
- Criterio de aceptación: de acuerdo con [International Organization for Standardization \(2017b\)](#) son los “criterios que un sistema o componente debe cumplir para ser aceptado por un usuario, cliente u otra entidad autorizada”, por otro lado para [Project Management Institute \(2017\)](#) es “un conjunto de condiciones que se requiere cumplir antes de que los entregables sean aceptados”.
- Criterio de decisión: [International Organization for Standardization \(2017a\)](#) lo define como “umbrales, objetivos o patrones utilizados para determinar la necesidad de tomar medidas o realizar investigaciones adicionales, o para describir el nivel de confianza en un resultado dado”.

De acuerdo a las definiciones anteriores, dentro del marco de trabajo de este proyecto, se entiende que un criterio de evaluación permite determinar si un elemento cumple con los estándares o un conjunto de características establecidas, proporcionando así una base sólida para realizar juicios o tomar decisiones relacionadas con productos, servicios, resultados o procesos.

2.1.7.2. Método de evaluación

Un método de evaluación se refiere a un conjunto de pasos y herramientas específicas que están predefinidas y se utilizan para evaluar un determinado objeto, sistema o proceso. Estos procesos, procedimientos y herramientas están diseñados para llevar a cabo las evaluaciones de acuerdo con un enfoque estandarizado y consistente. Es un marco metodológico establecido que proporciona la estructura y los recursos necesarios para realizar una evaluación de manera efectiva y uniforme ([TMMi Foundation, 2014](#)).

[International Organization for Standardization \(2015b\)](#) indica que el método de evaluación debe definir cómo determinar la calificación de los atributos del proceso, por lo tanto, el método debe:

- Definir una escala de medición para los atributos.
- Identificar un método de medición que asigne un valor a cada atributo del proceso de forma objetiva.

La calificación de los atributos del proceso puede fundamentarse en evaluaciones formales, auto-reportes, encuestas (incluyendo cuestionarios y entrevistas), observaciones u otros métodos empíricos. Es importante asegurar que la escala de medición sea coherente con el tipo de evaluación llevada a cabo ([International Organization for Standardization, 2015b](#)).

2.1.7.3. Evaluación de madurez

La evaluación de madurez es medir el estado actual de un aspecto específico, permitiendo la identificación clara de sus fortalezas y debilidades. La evaluación proporciona una visión objetiva del estado de la situación, destacando los puntos fuertes que pueden ser aprovechados y las áreas de mejora que requieren atención (Proença, 2016).

La evaluación de la madurez de un proceso se lleva a cabo mediante la aplicación de modelos de madurez. Los modelos de madurez para Becker et al. (2009) “permiten la evaluación de la situación actual de una empresa, así como la identificación de medidas de mejora razonables”.

Estos modelos proporcionan un marco estructurado para medir y valorar el grado de desarrollo y eficacia de un proceso específico. Al utilizar estos modelos, se establecen criterios y etapas discretas que permiten determinar el nivel de madurez. La etapa inicial representa un estado con pocas capacidades, mientras que la etapa final representa la madurez total. Avanzar en el camino de evolución implica una progresión continua en las capacidades u desempeño. El modelo sirve como una escala para evaluar la posición en el camino de evolución y proporciona criterios y características que deben cumplirse para alcanzar un nivel de madurez específico. Durante una evaluación de madurez, se analizan las características de la organización y se determina su nivel de madurez. Los modelos de madurez pueden ser respaldados por procedimientos como cuestionarios. Con base en los resultados, se pueden hacer recomendaciones para mejorar y alcanzar niveles de madurez más altos (Becker et al., 2009).

La evaluación de madurez a partir de un modelo, busca evaluar el nivel de cumplimiento de cada uno de los criterios y prácticas que componen los diferentes niveles de madurez, esta evaluación se realiza a través de un método de evaluación definido, el cual debe cumplir un conjunto de requisitos establecidos como los propuestos por el estándar ISO/IEC 33003 (TMMi Foundation, 2014). Los requisitos se detallan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Requisitos del método de evaluación de la madurez de procesos.

Requisito	Descripción
Planeación	<p>Elaborar un plan de evaluación, el cual debe contener el propósito, alcance, restricciones, método de evaluación y competencia de los evaluadores. Es un documento formal aprobado por los interesados que incluye actividades, recursos, cronogramas, responsabilidades, criterios de éxito y descripción de los resultados esperados de la evaluación.</p> <p>Designar al organizador de la evaluación, perteneciente a la organización evaluada, se encargará de gestionar la evaluación siguiendo el plan establecido.</p>

Tabla 2.4: Requisitos del método de evaluación de la madurez de procesos.

Requisito	Descripción
Gestión de datos	<p>Recopilar datos de manera confidencial, sin atribuirlos a ningún individuo. Las diferentes formas de recopilación de datos incluyen la presentación de documentos, entrevistas confidenciales, distribución de cuestionarios y encuestas a clientes. Se debe registrar el origen de la evidencia recopilada para su verificación posterior.</p> <p>Validar datos: todos los datos recopilados deben poder ser verificados como evidencia objetiva. Deben ser suficientes y representativos para los fines de la evaluación, cumpliendo con los requisitos mínimos definidos. Los datos deben ser examinados para verificar su consistencia, tanto entre diferentes fuentes de datos como en conjunto, como evidencia de la implementación de cada práctica.</p>
Calificación	La calificación que determina el grado de cumplimiento de los componentes del modelo se generará a partir de la aplicación del método de evaluación definido. En el método de evaluación se establece el proceso para evaluar cada componente y cómo debe otorgarse la calificación en base a un conjunto de reglas y una escala definida.
Informe y resultados	Los resultados de la evaluación deben estar disponibles para la organización evaluada. El informe de salida de la evaluación debe incluir la fecha de la evaluación, la lista de los insumos de la evaluación recopilados durante la etapa de planificación, la evidencia objetiva recopilada durante la etapa de recopilación de datos, los detalles del método de evaluación utilizado y, para las evaluaciones formales, una calificación general de la evaluación.

2.2. Estado del arte

A partir de la revisión de estudios previamente realizados relacionados con el objetivo de adoptar TMMI para evaluar el proceso de pruebas y sugerir acciones de mejora, se encontraron los siguientes trabajos. En el paper titulado “*A Framework for Maturity Assessment in Software Testing for Small and Medium-Sized Enterprises*” por Araújo et al. (2015) describe la creación de un framework para evaluar la madurez del proceso de pruebas de software en pequeñas y medianas empresas. Este framework incluye un cuestionario de evaluación basado en las subprácticas de TMMI, herramientas de apoyo con ejemplos de artefactos requeridos para asegurar que el cuestionario se realice completamente y una herramienta automatizada de apoyo para su aplicación, posibilitando que las PYMES puedan llevar a cabo la autoevaluación. Sin embargo, mencionan que el principal obstáculo es que las empresas deben responder 261 preguntas. Por otro lado, no mencionan las

acciones que las empresas pueden seguir para pasar a un nivel superior de madurez.

En el trabajo de [Jang et al. \(2016\)](#), titulado “*Visualization for the Assessment Model of a Simplified Test Maturity Model (TMM)*”, se presenta una propuesta simplificada del modelo de madurez de pruebas con el objetivo de aplicarlo en pequeñas y medianas empresas. Esta propuesta considera las particularidades de este tipo de empresas, ya que el modelo original puede contener elementos que no son aplicables en su totalidad. La propuesta esta enfocada en los niveles 2 y 3 de madurez, dejando como trabajo futuro los niveles 4 y 5. El estudio llevado a cabo incluye una evaluación que permite identificar las actividades y objetivos que no se están cumpliendo en el modelo simplificado propuesto, ofreciendo una guía para lograr niveles superiores en el modelo de madurez de pruebas. Sin embargo, una posible desventaja que se puede observar en este trabajo es que requiere que el usuario indique si cumple o no con todas las prácticas agrupadas en los diferentes subobjetivos que conforman cada nivel de madurez.

Otro trabajo relacionado, es el “*TMM Appraisal Assistant Tool*” por [Tayamanon et al. \(2011\)](#) propone una herramienta de apoyo basada en el método de evaluación del modelo de madurez de pruebas antecesor de TMMI desarrollado por el Carnegie Mellon Institute. Esta herramienta permite a cada empresa realizar su propia evaluación del proceso de pruebas. Para su construcción fue necesario el análisis de cada pregunta del cuestionario propuesto por el método de evaluación del TMM así como de todos los productos de trabajo basados en los estándares IEEE 730 y 829, los cuales serían necesarios para responder a cada pregunta. La evaluación se lleva a cabo comparando el producto de trabajo del estándar con el producido por la organización. Un inconveniente de este método de evaluación es que las organizaciones no siempre cuentan con documentos o productos de trabajo, pues actualmente no se requiere mucha documentación en marcos de trabajo ágil. Por lo general, en pruebas ágiles, el equipo del proyecto no sigue un proceso para crear un documento de plan de pruebas y un documento de finalización de pruebas ([Sinha and Das, 2021](#)). TMMI cuenta con la versión 1.4 que describe el uso del modelo en el contexto ágil.

Por otro lado, dentro del artículo “*Towards Agile Implementation of Test Maturity Model Integration (TMMI) Level 2 using Scrum Practices*” por [Farid et al. \(2015\)](#) se describe que el objetivo de la investigación fue estudiar cómo se podría usar el modelo TMMI para evaluar las prácticas de Scrum y ayudar a las empresas certificadas por TMMI a cambiar hacia la agilidad. El enfoque se desarrolló en un modelo de 3 fases. La primera fase fue descubrir un posible mapeo teórico apropiado entre las prácticas de TMMI y Scrum. La segunda fase fue verificar la aplicabilidad de este mapeo. Se realizó un estudio empírico y el mapeo se aplicó a una muestra de empresas certificadas por TMMI para asegurarse de que era posible fusionar los procesos de TMMI y Scrum dentro de esas organizaciones. La Tercera fase se llevó a cabo para evaluar los resultados de dicha fusión. Aunque este trabajo no se enfoca en la evaluación de la madurez del proceso de pruebas y la adopción del modelo puesto que se aplicó en compañías certificadas TMMI, es una aproximación útil para considerar la versión del modelo TMMI en el contexto ágil.

A partir de la revisión de estos antecedentes, es posible identificar que son acercamientos válidos para evaluar la madurez del proceso de pruebas basados en modelos como TMMI y TMM en el caso de los tres primeros trabajos. Sin embargo, se evidencian dificultades para conducir dichas evaluaciones. En el primer caso “*A Framework for Maturity Assessment in Software Testing for Small and Medium-Sized Enterprises*”, se deben responder 261 preguntas que se convierte en un desafío cuando los involucrados en los procesos requieren agilidad y eficiencia. En el segundo caso “*Visualization for the Assessment Model of a Simplified Test Maturity Model (TMM)*”, para completar la evaluación, se requiere que el usuario indique si cumple o no con cada una de las prácticas correspondientes a los subobjetivos. Esta metodología de evaluación puede resultar extensa y aumentar el riesgo de no aplicabilidad. En el tercer caso “*TMM Appraisal Assistant Tool*” la evaluación considera documentación y productos de trabajo que no necesariamente se realizan en marcos de trabajo ágil. Con respecto al último trabajo expuesto en esta sección, aunque no consiste en evaluar la madurez del proceso de pruebas, brinda un enfoque interesante de cómo las prácticas de TMMI se pueden ajustar al contexto ágil. Este es un estudio del año 2015 y en el año 2019 la Fundación TMMI liberó “*TMMI in the Agile World*” donde se explica cómo la combinación de un enfoque ágil para el desarrollo de software con el modelo TMMI es una ruta posible para lograr mejoras en el proceso de pruebas bajo estos marcos de trabajo ágiles (TMMi Foundation, 2019).

Diseño del Artefacto de Evaluación

Un proceso de pruebas definido y ejecutado por una organización conduce a la producción de software de alta calidad. Alcanzar un proceso de pruebas eficiente y efectivo implica implementar diversas prácticas en relación con los objetivos del proceso. Sin embargo, esto también implica enfrentar una serie de desafíos por parte del equipo de pruebas de software, como identificar las necesidades de mejora, determinar las mejores prácticas a implementar y trazar un camino a seguir. Para abordar estos desafíos, los modelos de madurez como TMMI proporcionan un conjunto de las mejores prácticas que se pueden implementar en el proceso de prueba. Sin embargo, la implementación de modelos de madurez no es una tarea sencilla, ya que explorar el modelo en busca del camino a seguir se convierte en un desafío en sí mismo. Con el objetivo de simplificar esta tarea, se ha desarrollado un artefacto diseñado específicamente para ayudar a las organizaciones a alcanzar sus objetivos en el proceso de pruebas.

El artefacto diseñado permite determinar el nivel de madurez actual del proceso de pruebas a través de un cuestionario que permite la verificación de la implementación de buenas prácticas. El artefacto no solo proporciona el nivel de madurez actual de la empresa evaluada, sino que también identifica las áreas en las que los procesos de pruebas pueden ser mejorados. Mediante la evaluación de diversos aspectos del proceso de pruebas, como la planificación, la gestión de riesgos, la ejecución de pruebas y la medición de resultados, el artefacto resalta las áreas que requieren mejoras.

El diseño del artefacto se centró en la necesidad de contar con un proceso de evaluación que permita obtener una vista indicativa inicial y una verificación rápida para observar el estado actual de cada una de las áreas del proceso de pruebas tomando como referencia las del modelo TMMI, en lugar de ser una evaluación compleja y formalizada que implica destinar tiempo y recursos para que pueda ser realizada. De esta manera, la organización tiene la posibilidad de iniciar un proceso de mejora con un impacto bajo en el negocio ([TMMi Foundation, 2023](#)). Este proceso de evaluación es de uso interno para la organización y no se constituye como una herramienta de certificación en el modelo.

Para lograr esto, se realizó un estudio detallado de las áreas de proceso, objetivos y prácticas propuestas por el modelo TMMI en la versión 1.3 y *TMMI in the Agile world* donde en este último se explica cuáles prácticas continúan siendo aplicables a las metodologías de desarrollo ágil y cuáles no son relevantes en este contexto. También fue necesario alinear el proceso de evaluación con los requisitos planteados en el *TMMI Assessment Method Application Requirements - TAMAR*.

3.1. Fase 1: Definiendo los Criterios de Evaluación a partir del modelo de referencia TMMI

Un criterio de evaluación permite determinar si un elemento cumple con los estándares o un conjunto de características establecidas, proporcionando así una base sólida para realizar juicios o tomar decisiones relacionadas con productos, servicios, resultados o procesos. Tomando esta definición como base, para definir los criterios de evaluación se realizó el análisis de cada uno de los 50 objetivos y 173 prácticas específicas para cada una de las áreas de proceso considerando los siguientes aspectos:

- El criterio debe estar alineado con los objetivos y prácticas del área de proceso.
- El criterio aporta información para la toma de decisiones. Es decir, brinda la información necesaria para que la organización pueda determinar si está cumpliendo con dicho criterio.
- El criterio debe permitir obtener datos concretos que puedan ser analizados. Es decir, el criterio es cuantificable o cualificable, de tal forma que se puede asignar una calificación o categoría específica en función de los resultados obtenidos.

Una vez finalizado este proceso de análisis, se procedió a agrupar los objetivos y prácticas relacionados en criterios de evaluación coherentes y estructurados. Estos criterios permiten una evaluación de los procesos de pruebas, teniendo en cuenta tanto los aspectos contemplados por el TMMI como los adaptados al contexto ágil del TMMI Agile World.

Los criterios de evaluación desarrollados abarcan los lineamientos establecidos por el TMMI como las consideraciones específicas del TMMI Agile World y reflejan el resultado de un análisis detallado de los objetivos y prácticas requeridas para alcanzar un nivel de madurez en los procesos de pruebas.

A continuación, se llevó a cabo un estudio para determinar las acciones clave que se implementan con cada práctica propuesta por el modelo. Estas acciones representan los pasos esenciales que se deben seguir para lograr los resultados deseados en términos de mejora y madurez de los procesos de pruebas.

Las tablas que se muestran y describen a continuación indican los criterios para cada área de proceso:

AP 2.1 Política y Estrategia de Pruebas

El propósito del área de proceso de Política y Estrategia de Pruebas (PEP) es desarrollar y establecer una política de pruebas, así como una estrategia de pruebas a nivel organizacional en la cual los niveles de pruebas estén definidos de manera inequívoca. Para medir el rendimiento de las pruebas, se introducen indicadores de rendimiento de pruebas (van Veenendaal et al., 2022). Los criterios para la evaluación de esta área de proceso se muestran en la tabla 3.1

Tabla 3.1: Criterios de Evaluación Área de Proceso Política y Estrategia de Pruebas

Nivel 2			
Área de Proceso Política y Estrategia de Pruebas			
No.	Objetivos TMMI	Prácticas TMMI	Criterios
1	Establecer una política de pruebas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definir los objetivos de prueba ▪ Definir la política de pruebas ▪ Distribuir la política de pruebas a los interesados 	La política de pruebas de la organización ha sido desarrollada, comunicada e implementada.
2	Establecer una estrategia de pruebas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definir la estrategia de prueba ▪ Distribuir la estrategia de pruebas a los interesados 	La estrategia de pruebas de la organización ha sido desarrollada, comunicada y aplicada
3	Establecer indicadores de rendimiento de pruebas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definir indicadores de rendimiento de pruebas ▪ Implementar indicadores de rendimiento de prueba 	Indicadores para medir el proceso de pruebas han sido implementados

AP 2.2 Planeación de Pruebas

El propósito del área de proceso planificación de pruebas es definir un enfoque de pruebas basado en los riesgos identificados y la estrategia de pruebas definida; y establecer y mantener planes fundamentados para realizar y gestionar las actividades de prueba (van Veenendaal et al., 2022). Los criterios para la evaluación de esta área de proceso se muestran en la tabla 3.2

Tabla 3.2: Criterios de Evaluación Área de Proceso Planeación de Pruebas

Nivel 2			
Área de proceso planificación de pruebas			
No.	Objetivos	Prácticas	Criterios
1	Realizar una evaluación de riesgos del producto.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definir categorías y parámetros de riesgo del producto. ▪ Identificar los riesgos del producto. ▪ Analizar los riesgos del producto. 	Los riesgos son identificados, evaluados y gestionados.

Tabla 3.2: Criterios de Evaluación Área de Proceso Planeación de Pruebas

Nivel 2			
Área de proceso planificación de pruebas			
No.	Objetivos	Prácticas	Criterios
2	Establecer estimaciones de pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecer una estructura de desglose del trabajo de alto nivel. ▪ Determinar estimaciones para el esfuerzo y el costo de la pruebas. 	Los esfuerzos para las tareas de pruebas son estimados.
3	Establecer un enfoque de prueba.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar elementos y características a probar. ▪ Definir el enfoque de prueba. ▪ Definir criterios de salida. 	El plan de pruebas es establecido, comunicado e implementado en el proyecto
	Desarrollar un plan de pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecer el calendario de pruebas. ▪ Plan para la dotación de personal de prueba. ▪ Planificar la participación de las partes interesadas. ▪ Identificar los riesgos del proyecto de prueba. 	
	Obtener Compromiso con el Plan de Pruebas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Revisar el plan de prueba. ▪ Obtener compromisos del plan de prueba. 	

AP 2.3 Monitoreo y control de pruebas

El propósito del área de proceso monitoreo y control de pruebas es brindar una visión clara del avance de las pruebas y la calidad del producto, permitiendo así tomar las acciones correctivas necesarias cuando el progreso de las pruebas se desvíe significativamente del plan o cuando la calidad del producto no cumpla con las expectativas establecidas (van Veenendaal et al., 2022). Los criterios para la evaluación de esta área de proceso se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3: Criterios de Evaluación Área de Proceso Monitoreo y Control de Pruebas

Nivel 2			
Área de proceso monitoreo y control de pruebas			
No.	Objetivos	Prácticas	Criterios
1	Monitorear el progreso de pruebas contra el plan.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Supervisar parámetros de planificación de pruebas. ▪ Supervisar los recursos del entorno de pruebas proporcionados y utilizados. ▪ Supervisar los compromisos de prueba. ▪ Supervisar los riesgos del proyecto de pruebas. ▪ Supervisar la participación de las partes interesadas. ▪ Realizar revisiones del progreso de las pruebas. 	El avance de las tareas de pruebas es monitoreado y controlado utilizando mecanismos que permiten dar visibilidad a todo el equipo del progreso o bloqueos.
2	Supervisar la calidad del producto frente al plan y las expectativas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verificar contra los criterios de entrada. ▪ Monitorear defectos. ▪ Supervisar los riesgos del producto. ▪ Supervisar los criterios de salida. ▪ Realizar revisiones de la calidad del producto. ▪ Realizar revisiones de hitos de calidad del producto. ▪ Supervisar los riesgos del producto. 	Las mejoras para el producto son identificadas y gestionadas.
	Gestionar acciones correctivas hasta el cierre.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analizar problemas. ▪ Tomar acción correctiva. ▪ Gestionar acciones correctivas. 	

AP 2.4 Diseño y ejecución de pruebas

El propósito del área de proceso diseño y ejecución de pruebas es fortalecer el proceso de pruebas durante el diseño y la ejecución. Esto se logra mediante la creación de especificaciones de diseño

de pruebas, la aplicación de técnicas de diseño apropiadas, la implementación de un proceso estructurado de ejecución y la gestión efectiva de los incidentes de pruebas hasta su resolución (van Veenendaal et al., 2022). Los criterios para la evaluación de esta área de proceso se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4: Criterios de Evaluación Área de Proceso diseño y ejecución de pruebas

Nivel 2			
Área de proceso diseño y ejecución de pruebas			
No.	Objetivos	Prácticas	Criterios
1	Realizar análisis y diseño de pruebas utilizando técnicas de diseño de pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar y priorizar las condiciones de pruebas. ▪ Identificar y priorizar casos de prueba. ▪ Identificar los datos de prueba específicos necesarios. ▪ Mantener la trazabilidad horizontal con requisitos. 	<p>Las historias de usuario son claras y completas: incluyen los criterios de aceptación a partir de los cuales se pueden diseñar los casos de prueba.</p> <p>Los casos de prueba se documentan cuando la criticidad y complejidad de la funcionalidad lo requieren y se realiza a través de una plantilla o herramienta que facilita su creación y gestión.</p>
2	Realizar implementación de pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desarrollar y priorizar procedimientos de pruebas. ▪ Crear datos de prueba específicos. 	Los elementos necesarios para la ejecución de las pruebas son preparados: Scripts para las pruebas automatizadas y datos.

Tabla 3.4: Criterios de Evaluación Área de Proceso diseño y ejecución de pruebas

Nivel 2			
Área de proceso diseño y ejecución de pruebas			
No.	Objetivos	Prácticas	Criterios
3	Realizar ejecución de las pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ejecutar casos de pruebas. ▪ Reportar incidentes de prueba. 	Se ha establecido un flujo de trabajo automatizado que permite la integración regular de las modificaciones en el código fuente y la ejecución automatizada de las pruebas de regresión.
4	Gestionar incidentes de prueba hasta el cierre.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realizar las acciones apropiadas para solucionar el incidente. ▪ Realizar el seguimiento al estado de los incidentes de prueba 	Los errores identificados durante las pruebas son gestionados.

AP 2.5 Ambientes de prueba

El propósito del área de proceso entorno de pruebas es crear y mantener un entorno adecuado, que incluya datos de prueba, donde sea posible realizar las pruebas de manera controlada y repetible (van Veenendaal et al., 2022). Los criterios para la evaluación de esta área de proceso se muestran en la tabla 3.5.

Tabla 3.5: Criterios de Evaluación Área de Proceso Ambientes de Prueba

Nivel 2			
Área de Proceso ambientes de prueba			
No.	Objetivos TMMI	Prácticas TMMI	Criterios
1	Desarrollar los requisitos del entorno de pruebas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Obtener las necesidades del entorno de prueba. ▪ Desarrollar los requisitos del entorno de prueba. ▪ Analizar los requisitos del entorno de prueba. 	La especificación de los requerimientos de ambiente y datos para la ejecución de prueba se realiza al inicio del proyecto.

Tabla 3.5: Criterios de Evaluación Área de Proceso Ambientes de Prueba

Nivel 2			
Área de Proceso ambientes de prueba			
No.	Objetivos TMMI	Prácticas TMMI	Criterios
2	Realizar la implementación del entorno de prueba	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Implementar el entorno de prueba. ▪ Crear datos de prueba genéricos. ▪ Especificar el procedimiento de prueba de admisión del entorno de prueba. ▪ Realizar prueba de admisión del entorno de prueba. 	Los ambientes y datos de prueba están disponibles al iniciar la ejecución de las pruebas.
3	Gestión y control de entornos de prueba.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realizar la gestión de sistemas. ▪ Realizar la gestión de datos de pruebas. ▪ Informar y gestionar incidentes en el entorno de prueba. 	Los ambientes y datos de prueba cuentan con gestión de la configuración.

AP 3.1 Establecer una Organización de Pruebas

El propósito del área de proceso organización de pruebas es identificar y agrupar a un equipo de profesionales altamente capacitados que sean responsables de realizar las pruebas. Además de llevar a cabo las pruebas, este equipo también se encarga de mejorar el proceso de pruebas y los activos relacionados, teniendo en cuenta una comprensión exhaustiva de las fortalezas y debilidades del proceso de pruebas y los activos existentes (van Veenendaal et al., 2022). Los criterios para la evaluación de esta área de proceso se muestran en la tabla 3.6.

Tabla 3.6: Criterios de Evaluación Área Proceso Establecer una Organización de Pruebas

Nivel 3			
Área de Proceso establecer una organización de pruebas			
No.	Objetivos TMMI	Prácticas TMMI	Criterios

Tabla 3.6: Criterios de Evaluación Área Proceso Establecer una Organización de Pruebas

Nivel 3			
Área de Proceso establecer una organización de pruebas			
No.	Objetivos TMMI	Prácticas TMMI	Criterios
1	Establecer una organización de Pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Definir la organización de pruebas. ▪ Obtener compromisos para la organización de pruebas. ▪ Implementar la organización de pruebas. 	La organización cuenta con un comité de pruebas encargado de identificar, planificar e implementar mejoras en el proceso de pruebas.
2	Establecer las funciones de los especialistas en Pruebas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar las funciones para los profesionales de pruebas. ▪ Desarrollar las descripciones de los puestos de trabajo. ▪ Asignar a los miembros de Staff las funciones de pruebas. 	Los conocimientos, habilidades y responsabilidades requeridas para cada rol del proceso de pruebas se encuentran definidas y asignadas.
3	Establecer planes carrera.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecer los planes carrera. ▪ Definir planes carrera a nivel individual. 	Se establecen y desarrollan las necesidades de formación técnica y de gestión para cada integrante del equipo de pruebas.
4	Determinar, planear e implementar mejoras al proceso de pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluar el proceso de pruebas en la organización. ▪ Identificar las mejoras al proceso de pruebas. ▪ Planear las mejoras al proceso de pruebas. ▪ Implementar las mejoras al proceso de pruebas. 	Mejoras para el proceso de pruebas son identificadas y gestionadas.

Tabla 3.6: Criterios de Evaluación Área Proceso Establecer una Organización de Pruebas

Nivel 3			
Área de Proceso establecer una organización de pruebas			
No.	Objetivos TMMI	Prácticas TMMI	Criterios
5	Desplegar el proceso de pruebas organizacional e incorporar lecciones aprendidas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desplegar el proceso de pruebas estándar y los activos del proceso. ▪ Monitorear la implementación. ▪ Incorporar lecciones aprendidas dentro del proceso de pruebas. 	El proceso de pruebas se encuentra desplegado y monitoreado en la organización.

AP 3.2 Programa de entrenamiento de pruebas

El propósito del área proceso programa de capacitación en pruebas es crear un programa de formación que fomente el desarrollo de conocimientos y habilidades de las personas, permitiéndoles desempeñar tareas y roles de pruebas de manera efectiva y eficiente (van Veenendaal et al., 2022). Los criterios para la evaluación de esta área de proceso se muestran en la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Criterios de Evaluación Área de Proceso Programa de entrenamiento de pruebas

Nivel 3			
Área de Proceso programa de entrenamiento de pruebas			
No.	Objetivos TMMI	Prácticas TMMI	Criterios
1	Establecer a nivel organizacional una capacidad de entrenamiento en pruebas.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar las necesidades estratégicas de capacitación en pruebas. ▪ Alinear las necesidades de capacitación de pruebas de la organización y del proyecto. ▪ Establecer un plan organizacional de entrenamiento en pruebas. ▪ Establecer la capacidad de entrenamiento en pruebas. 	Un programa de entrenamiento en pruebas alineado a las necesidades específicas de la organización ha sido establecido.
2	Proveer el entrenamiento en pruebas necesario	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Evaluar la efectividad de la capacitación en pruebas. 	El equipo de trabajo recibe entrenamiento en temas de pruebas con la frecuencia requerida y se evalúa su efectividad.

AP 3.3 Ciclo de vida del proceso de pruebas e integración

El propósito del área proceso Ciclo de vida del proceso de pruebas e integración es establecer un conjunto de activos y estándares de pruebas, integrándolos de manera efectiva con el ciclo de vida de desarrollo. Esto garantiza una participación temprana de las pruebas en el proyecto y la definición de un enfoque coherente en diferentes niveles, basado en riesgos identificados y la estrategia de pruebas establecida, con la entrega de un plan general de pruebas (van Veenendaal et al., 2022). Los criterios para la evaluación de esta área de proceso se muestran en la tabla 3.8.

Tabla 3.8: Criterios de Evaluación Área de Proceso Ciclo de vida del proceso de pruebas e integración

Nivel 3			
Área de Proceso ciclo de vida del proceso de pruebas e integración			
No.	Objetivos TMMI	Prácticas TMMI	Criterios
1	Establecer los activos del proceso de pruebas de la organización.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecer el proceso de pruebas estándar. ▪ Establecer descripciones de modelos de ciclo de vida de prueba que aborden todos los niveles de prueba. ▪ Establecer criterios de adaptación y directrices. ▪ Establecer la base de datos del proceso de pruebas de la organización. ▪ Establecer la biblioteca de activos del proceso de prueba de la organización. ▪ Establecer estándares para el ambiente de trabajo. 	<p>Un estándar para la gestión de ambientes de trabajo ha sido establecido.</p> <hr/> <p>Existe una biblioteca de recursos de pruebas o "wiki" donde los testers pueden encontrar plantillas, mejores prácticas y/o listas de verificación, que les ayudan en su trabajo diario, que permite el aprendizaje y el intercambio de experiencias.</p>

Tabla 3.8: Criterios de Evaluación Área de Proceso Ciclo de vida del proceso de pruebas e integración

Nivel 3			
Área de Proceso ciclo de vida del proceso de pruebas e integración			
No.	Objetivos TMMI	Prácticas TMMI	Criterios
2	Integrar los modelos de ciclo de vida de pruebas con los de desarrollo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Establecer modelos de ciclo de vida integrados. ▪ Revisar los modelos de ciclo de vida integrados. ▪ Obtener compromisos sobre el rol de las pruebas dentro de los modelos de ciclo de vida integrados. 	El ciclo de vida de pruebas se encuentra definido e integrado al ciclo de desarrollo de software de la organización.

AP 3.4 Pruebas no funcionales

El propósito del área de proceso pruebas no funcionales es fortalecer la capacidad del proceso de pruebas al incorporar pruebas no funcionales durante la planificación, diseño y ejecución de las pruebas. Esto se alcanza al establecer un enfoque de pruebas basado en los riesgos no funcionales identificados, desarrollar especificaciones de pruebas no funcionales y llevar a cabo un proceso estructurado de ejecución de pruebas enfocado en aspectos no funcionales (van Veenendaal et al., 2022). Los criterios para la evaluación de esta área de proceso se muestran en la tabla 3.9.

Tabla 3.9: Criterios de Evaluación Área de Proceso Pruebas No Funcionales

Nivel 3			
Área de proceso pruebas no funcionales			
No.	Objetivos	Prácticas	Criterios
1	Desarrollar una evaluación de los riesgos no funcionales del producto.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar riesgos no funcionales del producto. ▪ Analizar los riesgos no funcionales del producto. 	La evaluación de riesgos no funcionales del producto se realiza al inicio del proyecto.
2	Establecer un enfoque de pruebas no funcionales.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar las características no funcionales que se probarán. ▪ Definir el enfoque para las pruebas no funcionales. ▪ Definir criterios de salida para las pruebas no funcionales 	Las características no funcionales a probar son identificadas.

Tabla 3.9: Criterios de Evaluación Área de Proceso Pruebas No Funcionales

Nivel 3			
Área de proceso pruebas no funcionales			
No.	Objetivos	Prácticas	Criterios
3	Realizar análisis y diseño para las pruebas no funcionales.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar y priorizar condiciones de prueba no funcionales. ▪ Identificar y priorizar los casos de pruebas no funcionales. ▪ Identificar los datos de prueba específicos necesarios. ▪ Mantener la trazabilidad horizontal con requisitos no funcionales. 	Las pruebas no funcionales se diseñan y ejecutan siguiendo un enfoque de pruebas no funcionales.
	Realizar implementación de pruebas no funcionales.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desarrollar y priorizar procedimientos de prueba no funcionales. ▪ Crear datos de prueba específicos. 	
	Realizar ejecución de pruebas no funcionales.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ejecutar casos de prueba no funcionales. ▪ Reportar los incidentes de las pruebas no funcionales. ▪ Guardar los registros de las pruebas no funcionales. 	

AP 3.5 Revisiones de pares

El propósito del área de proceso revisión de pares es verificar y corregir tempranamente los productos de trabajo para garantizar el cumplimiento de los requisitos, y promover una mejor comprensión de los mismos y la prevención de defectos (van Veenendaal et al., 2022). Los criterios para la evaluación de esta área de proceso se muestran en la tabla 3.10.

Tabla 3.10: Criterios de Evaluación Área de Proceso Revisiones de Pares

Nivel 3			
Área de Proceso revisiones de pares			
No.	Objetivos TMMI	Prácticas TMMI	Criterios

Tabla 3.10: Criterios de Evaluación Área de Proceso Revisiones de Pares

Nivel 3			
Área de Proceso revisiones de pares			
No.	Objetivos TMMI	Prácticas TMMI	Criterios
1	Establecer el enfoque de las revisiones de pares.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificar los productos de trabajo a revisar. ▪ Definir los criterios para las revisiones de pares. 	Existe un enfoque de revisión por pares en el proceso de pruebas establecido por la organización.
2	Realizar revisiones de pares.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Realizar revisiones de pares. ▪ Los testers revisan los documentos básicos de las pruebas. ▪ Analizar datos resultantes de las revisiones de pares. 	El equipo de pruebas realiza revisiones por pares dentro de las pruebas de acuerdo al enfoque establecido en la organización.

3.2. Fase 2: Identificando dependencias entre los criterios

En el proceso de diseño del artefacto, resultó fundamental identificar las dependencias entre los criterios de evaluación. Estas dependencias surgieron debido a la naturaleza de algunos criterios, los cuales solo pueden ser evaluados una vez que se ha verificado previamente otro criterio. En otras palabras, la respuesta a un criterio depende del cumplimiento de criterios anteriores. Si durante la evaluación se determinaba que un criterio previo no se cumple, automáticamente se registra una respuesta negativa (con valor 0) para el criterio subsiguiente. Esta metodología permite un análisis coherente con el objetivo de obtener resultados más precisos en el proceso de evaluación.

En la tabla 3.11, se detallan los criterios que presentan dependencias interrelacionadas. La columna “Criterio Hijo” hace referencia al hecho de que el criterio en cuestión está condicionado por la respuesta obtenida en el criterio de la columna “Criterio Padre”. Es decir, la evaluación del criterio hijo está sujeta a la condición de que previamente se haya obtenido una respuesta afirmativa o negativa en el criterio padre correspondiente.

Tabla 3.11: Dependencias entre criterios de evaluación

Dependencias entre criterios de evaluación			
No.	Criterio Padre	Criterio Hijo	Justificación
1	El plan de pruebas es establecido, comunicado e implementado en el proyecto.	El avance de las tareas de pruebas es monitoreado y controlado.	En el plan de pruebas se definen las tareas junto con sus respectivos tiempos de ejecución. En consecuencia, la ausencia de un plan de pruebas bien establecido conlleva a la inexistencia de tareas que puedan ser debidamente seguidas y evaluadas.
		Las pruebas son ejecutadas de acuerdo a las prioridades establecidas por el proyecto y logran ser completadas en el tiempo estimado.	La elaboración de un plan de pruebas conlleva la necesaria priorización de casos de prueba, así como la estimación del tiempo requerido para su ejecución. En ausencia de dicho plan, se dificultará el seguimiento adecuado de la ejecución de las tareas, tanto en términos de su orden de prioridad como dentro de los límites establecidos.
2	La especificación de los requerimientos de ambiente y datos para la ejecución de prueba se realiza al inicio del proyecto.	Los ambientes y datos de prueba están disponibles al iniciar la ejecución de las pruebas.	La omisión de la especificación de los requerimientos de ambiente y datos para las pruebas conlleva a la incertidumbre sobre su disponibilidad al inicio del proceso de pruebas.
		Los ambientes y datos de prueba cuentan con gestión de la configuración.	La falta de una adecuada especificación de requisitos para ambiente y datos de prueba impide llevar a cabo una efectiva gestión de los cambios que puedan ser realizados en ellos. Por consiguiente, es esencial contar con una detallada definición de estos elementos para poder llevar a cabo una gestión de configuración apropiada.
		La información respecto a la configuración y la disponibilidad de los ambientes de prueba esta compartida	La ausencia de los requisitos de ambiente y datos para las pruebas impide compartir de forma confiable y efectiva esta información con todo el equipo.

Tabla 3.11: Dependencias entre criterios de evaluación

Dependencias entre criterios de evaluación			
No.	Criterio Padre	Criterio Hijo	Justificación
4	Se establecen y desarrollan las necesidades de formación técnica y de gestión para cada integrante del equipo de pruebas.	Un programa de entrenamiento en pruebas alineado a las necesidades específicas de la organización ha sido establecido.	Para implementar un programa de entrenamiento que satisfaga de manera precisa las necesidades de la organización, es fundamental haber identificado previamente las necesidades de formación del equipo de pruebas.
5	Un programa de entrenamiento en pruebas alineado a las necesidades específicas de la organización ha sido establecido.	El equipo de trabajo recibe entrenamiento en temas de pruebas con la frecuencia requerida y se evalúa su efectividad.	La ausencia de un plan de entrenamiento impide realizar un seguimiento adecuado de las necesidades y frecuencia de formación, así como de su efectividad.

3.3. Fase 3: Definiendo el Método de Evaluación

En las siguientes secciones, se presentarán los elementos que conforman el método de evaluación. Cada elemento es esencial para llevar a cabo la evaluación del proceso de pruebas. La descripción de estos componentes permitirá comprender cómo se estructura y se lleva a cabo el proceso de evaluación.

3.3.1. Escala de calificación

En el método de evaluación, se emplea la escala establecida por el estándar ISO 33001:2015. Esta escala posibilita situar el resultado obtenido en la evaluación de cada área de proceso dentro de un rango específico, lo que permite comprender el grado de cumplimiento alcanzado en cada una de las áreas evaluadas. En la tabla 3.12, se presentan los rangos definidos por el estándar, junto con una descripción de cada uno de ellos (Pino et al., 2006). La escala proporciona una referencia objetiva para valorar el desempeño de las áreas de proceso.

Tabla 3.12: Escala de Calificación ISO 33001:2015

Escala de evaluación			
Abreviatura	Nombre	Rango	Descripción
N	No alcanzado	Resultado entre 0 y 15 %	“Hay muy poco o incluso ninguna evidencia de cumplimiento del atributo definido en el proceso evaluado.”.
P	Parcialmente alcanzado	Resultado >15 % y ≤50 %	“Hay evidencia de alguna aproximación y algún logro al cumplimiento del atributo en el proceso evaluado. Algunos aspectos del cumplimiento del atributo pueden ser impredecibles.”
L	Ampliamente alcanzado	Resultado >50 % y ≤85 %	“Hay evidencias de una aproximación sistemática y logro significativo al cumplimiento del atributo en el proceso evaluado. La ejecución del proceso puede variar en algunas áreas o unidades de trabajo”.
F	Completamente alcanzado	Resultado >85 % y ≤100 %	“Hay evidencias de una completa y sistemática aproximación, y logro total, al cumplimiento del atributo en el proceso evaluado”.

3.3.2. Peso de los Criterios de Evaluación

Cada criterio de evaluación tiene un valor de acuerdo a la cantidad de prácticas y objetivos por área de proceso que abarca. De acuerdo al análisis realizado en la sección 3.1 Fase 1: Definiendo los Criterios de Evaluación, los valores para cada criterio se calculan como se indica a continuación:

- Caso 1: Un único criterio está relacionado a uno o más objetivos. En esta situación, dicho criterio permite evaluar más de un objetivo simultáneamente.
- Caso 2: Uno o más criterios están relacionados con un único objetivo. Esta situación se debe a que, en ocasiones, un único criterio no abarca todas las prácticas asociadas a un objetivo específico. En consecuencia, se requiere la consideración de varios criterios para evaluar en su totalidad el cumplimiento del objetivo en cuestión.

Los componentes de la fórmula son los siguientes:

- i = Cantidad total de objetivos del área de proceso.
- j = Cantidad de criterios agrupados por el objetivo.
- k = Cantidad de objetivos agrupados por el criterio.

Para el caso 1, el peso de cada criterio se determina mediante la siguiente fórmula, donde la cantidad de criterios agrupados (j) siempre será 1.

$$PesoCriterioCaso1 = \frac{1}{i} \times (j \times k)$$

En la tabla 3.13 se muestra un ejemplo del cálculo del peso para criterios clasificados como caso 1, lo que implica que un único criterio de evaluación es establecido para más de un objetivo.

Tabla 3.13: Ejemplo del Cálculo del Peso para Criterios Clasificados en el Caso 1.

Nivel Madurez 2 - Área Proceso Monitoreo y Control de pruebas			
Cantidad Total Objetivos Área	Objetivos Relacionados con el criterio	Criterio	Cálculo del peso
3	Supervisar la calidad del producto frente al plan y las expectativas.	Las mejoras para el producto son identificadas y gestionadas. [En este caso el criterio solo agrupa las prácticas relacionadas con dos(2) objetivos de los tres(3) que conforman el área de proceso]	$\frac{1}{3} \times (1 \times 2) \approx 0,67$ El criterio tiene un peso de 0.67.
	Gestionar acciones correctivas hasta el cierre.		

Para el caso 2, el peso de cada criterio se determina mediante la siguiente fórmula, en este caso, la cantidad de objetivos agrupados (j) siempre será 1.

$$PesoCriterioCaso2 = \frac{1}{i} \times (j \times k)^{-1}$$

En la tabla 3.14 se muestra un ejemplo del cálculo del peso para criterios clasificados como caso 2, lo que implica que un único objetivo tiene relacionado más de un criterio de evaluación.

Tabla 3.14: Ejemplo del Cálculo del Peso para Criterios Clasificados en el Caso 2.

Nivel 3- Área de Proceso Ciclo de vida del proceso de pruebas e integración			
Cantidad Total Objetivos Área	Objetivo relacionado con los criterios	Criterios	Cálculo
2	Establecer los activos del proceso de pruebas de la organización.	Un estándar para la gestión de ambientes de trabajo ha sido establecido.	$\frac{1}{2} \times (2 \times 1)^{-1} = 0,25$ Cada criterio relacionado al objetivo tendrá un peso de 0.25.
		Existe una biblioteca de recursos de pruebas o "wiki" donde los testers pueden encontrar plantillas, mejores prácticas y/o listas de verificación, que les ayudan en su trabajo diario, que permite el aprendizaje y el intercambio de experiencias.	

En la sección 3.1 se encuentra detallada la relación entre los objetivos y los criterios, a partir de la cual se establecieron los pesos para cada criterio de evaluación. El peso obtenido para cada criterio de evaluación se muestran en la tabla 3.15.

Tabla 3.15: Peso de los Criterios de Evaluación

No.	Criterio	Peso
1	La política de pruebas de la organización ha sido desarrollada y comunicada..	0.33
2	La estrategia de pruebas de la organización ha sido desarrollada, comunicada y aplicada.	0.33
3	Indicadores para medir el proceso de pruebas han sido implementados.	0.33
4	Los riesgos son identificados, evaluados y gestionados.	0.20
5	Los esfuerzos para las tareas de pruebas son estimados.	0.20
6	El plan de pruebas es establecido, comunicado e implementado en el proyecto.	0.60
7	El avance de las tareas de pruebas es monitoreado y controlado.	0.33
8	Las mejoras para el producto son identificadas y gestionadas.	0.67
9	Las historias de usuario son claras y completas: incluyen los criterios de aceptación a partir de los cuales se pueden diseñar los casos de prueba.	0.13

Tabla 3.15: Peso de los Criterios de Evaluación

No.	Criterio	Peso
10	Los casos de prueba se documentan cuando la criticidad y complejidad de la funcionalidad lo requieren y se realiza a través de una plantilla o herramienta que facilita su creación y gestión.	0.13
11	Los elementos necesarios para la ejecución de las pruebas son preparados: Scripts para las pruebas automatizadas y preparación de datos.	0.25
12	Se ha establecido un flujo de trabajo automatizado que permite la integración regular de las modificaciones en el código fuente y la ejecución automatizada de las pruebas de regresión.	0.25
13	Los errores identificados durante las pruebas son gestionados.	0.25
14	La especificación de los requerimientos de ambiente y datos para la ejecución de prueba se realiza al inicio del proyecto.	0.33
15	Los ambientes y datos de prueba están disponibles al iniciar la ejecución de las pruebas.	0.33
16	Los ambientes y datos de prueba cuentan con gestión de la configuración.	0.17
17	La información respecto a la configuración y la disponibilidad de los ambientes de prueba esta compartida.	0.17
18	La organización cuenta con un comité de pruebas encargado de identificar, planificar e implementar mejoras en el proceso de pruebas.	0.20
19	Los conocimientos, habilidades y responsabilidades requeridas para cada rol del proceso de pruebas se encuentran definidas y asignadas.	0.20
20	Se establecen y desarrollan las necesidades de formación técnica y de gestión para cada integrante del equipo de pruebas.	0.20
21	Mejoras para el proceso de pruebas son identificadas y gestionadas.	0.20
22	El proceso de pruebas se encuentra desplegado y monitoreado en la organización.	0.20
23	Un programa de entrenamiento en pruebas alineado a las necesidades específicas de la organización ha sido establecido..	0.50
24	El equipo de trabajo recibe entrenamiento en temas de pruebas con la frecuencia requerida y se evalúa su efectividad.	0.50
25	Existe una biblioteca de recursos de pruebas o "wiki" donde los testers pueden encontrar plantillas, mejores prácticas y/o listas de verificación, que les ayudan en su trabajo diario, que permite el aprendizaje y el intercambio de experiencias.	0.25
26	Un estándar para la gestión de ambientes de trabajo ha sido establecido.	0.25
27	El ciclo de vida de pruebas se encuentra definido e integrado al ciclo de desarrollo de software de la organización.	0.50
28	La evaluación de riesgos no funcionales del producto se realiza al inicio del proyecto.	0.20
29	Las características no funcionales a probar son identificadas y priorizadas.	0.20

Tabla 3.15: Peso de los Criterios de Evaluación

No.	Criterio	Peso
30	El diseño de casos de pruebas No Funcionales se realiza bajo el enfoque de pruebas establecido para el proyecto.	0.60
31	Existe un enfoque de revisión por pares en el proceso de pruebas establecido por la organización.	0.50
32	El equipo de pruebas realiza revisiones por pares dentro de las pruebas de acuerdo al enfoque establecido en la organización.	0.50

3.3.3. Peso de las áreas de proceso

En el año 2020, la fundación TMMI llevó a cabo una encuesta dirigida a 202 organizaciones previamente evaluadas por TMMI, con el propósito de determinar su nivel de madurez en el proceso de pruebas. La encuesta se enfocó en responder a la siguiente interrogante: ¿cuáles eran las áreas de proceso más importantes para trabajar al inicio del proyecto de mejora de procesos de pruebas basados en TMMI? (TMMI-Foundation, 2022). Como resultado, se obtuvieron porcentajes de relevancia para cada área de proceso, brindando una valiosa información para priorizar cada área de proceso en el marco de la evaluación.

De acuerdo con el 64 % de las 202 organizaciones que respondieron la encuesta, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Áreas de Proceso Nivel 2	Áreas de Proceso Nivel 3
<ul style="list-style-type: none"> ■ Política y Estrategia de Pruebas (73 %) ■ Planeación de Pruebas (60 %) ■ Monitoreo y Control de Pruebas (57 %) ■ Diseño y Ejecución de Pruebas (47 %) ■ Ambientes de Pruebas (32 %) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Organización de Pruebas (42 %) ■ Programa de Entrenamiento de Pruebas (28 %) ■ Ciclo de Vida de Pruebas e Integración (48 %) ■ Pruebas No Funcionales (33 %) ■ Revisión de Pares (42 %)

Las áreas de proceso del nivel 2 de TMMi, como Política y Estrategia de Pruebas (73 %), Planeación de Pruebas (60 %) y Monitoreo y Control de Pruebas (57 %), fueron identificadas como las áreas de proceso más importantes al inicio de un proyecto de mejora de procesos de prueba basado en TMMI. La Política y Estrategia de Pruebas sirve para definir los objetivos de las pruebas y la

mejora de procesos de prueba, y lograr la alineación con los objetivos del negocio, mientras que la Planeación de Pruebas y el Monitoreo y Control de Pruebas tienen como objetivo tener el control sobre el proceso.

Debido a que cada uno de los encuestados seleccionó más de un área de proceso como importante por lo cual los porcentajes no suman el 100 %, para llevar estos valores al 100 % se realizó el siguiente cálculo:

$$\text{Peso Área Proceso} = \frac{\% \text{ importancia del área de proceso}}{\sum \% \text{ importancia de las áreas de proceso}} \quad (3.1)$$

En la tabla 3.17 se detallan los pesos asignados a cada área de proceso, que corresponden al porcentaje de importancia que obtuvo cada área en la encuesta realizada por TMMI. La finalidad de establecer pesos por área de proceso consistió en diferenciar y destacar el nivel de importancia que cada una de ellas tiene dentro del contexto de la evaluación. De esta manera, se logra otorgar una ponderación adecuada a las distintas áreas de proceso, permitiendo una valoración más precisa y equitativa en la determinación del desempeño general del proceso evaluado. La asignación de pesos es un componente esencial del método de evaluación, ya que facilitó la identificación de las áreas clave que requieren una atención particular en el proceso de mejora o implementación de acciones correctivas.

Tabla 3.17: Peso de las áreas de proceso.

No.	Nivel	Área de Proceso	Peso
1	Nivel 2	Política y Estrategia de Pruebas.	0.27
2		Planeación de pruebas.	0.22
3		Monitoreo y Control de pruebas.	0.21
4		Diseño y Ejecución de pruebas.	0.18
5		Ambientes de Prueba.	0.12
6	Nivel 3	Establecer una organización de pruebas.	0.22
7		Programa de entrenamiento de pruebas.	0.14
8		Ciclo de vida del proceso de pruebas e integración.	0.25
9		Pruebas No Funcionales.	0.17
10		Revisiones de pares.	0.22

3.3.4. Cálculo del Nivel de Madurez

El cálculo del nivel de madurez es el resultado del proceso de evaluación. Este nivel se determina mediante la ejecución de los pasos detallados a continuación:

- **Paso 1:** Calcular el valor correspondiente a cada área de proceso.

Para cada área de proceso, se evalúan los criterios que la conforman y se obtiene una respuesta

para cada uno de ellos. Estas respuestas son binarias (1-“Sí” o 0-“No”).

Posteriormente, se procede a calcular el valor de cada área de proceso. La siguiente fórmula representa el cálculo del resultado ponderado de la evaluación por área de proceso (AP):

$$AP_i = x_1 \cdot w_1 + x_2 \cdot w_2 + \dots + x_n \cdot w_n$$

Donde x_i es la respuesta elegida para el criterio i y w_i es el peso del criterio i (ver tabla 3.15). Al multiplicar cada respuesta por su respectivo peso y luego sumar todos los términos, obtenemos el valor correspondiente del área de proceso. Esta fórmula realiza la evaluación ponderada considerando la respuesta y peso de cada criterio. El resultado final representa la combinación de los distintos criterios evaluados, donde cada uno aporta en función de su peso asignado.

- **Paso 2:** Calcular el valor correspondiente a cada nivel de madurez.

Para determinar el valor correspondiente a cada nivel de madurez, se ha establecido la siguiente fórmula:

$$nivel_j = \sum_{i=1}^n AP_i \cdot peso_i$$

Donde j representa el nivel de madurez, n representa el número total de áreas de proceso evaluadas para el nivel j . Cada AP_i corresponde al valor o resultado obtenido para el área de proceso i en el paso 1, mientras que $peso_i$ representa el peso asignado a dicha área de proceso (ver tabla 3.17). Al multiplicar cada valor AP_i por su peso $peso_i$ y luego sumar todos los términos, se obtiene el cálculo de la evaluación ponderada del nivel.

- **Paso 3:** Determinar el nivel de madurez.

El nivel de madurez se determina a partir del resultado obtenido en cada una de las áreas de proceso, de acuerdo con su ubicación en la escala de evaluación (ver Tabla 3.12) de la siguiente forma:

- Si el valor obtenido para el nivel de madurez 2 en el **paso 2** es menor al 50 %, el nivel de madurez será 1-Inicial.
- Si el valor obtenido en el **paso 2**, para el nivel de madurez 2 está entre el 50 % y el 85 %, y el valor obtenido para el nivel 3 es menor o igual al 85 %, el nivel de madurez obtenido será 2-Gestionado.
- Si el valor obtenido en el **paso 2**, para el nivel 2 es mayor al 85 %, y el valor obtenido para el nivel 3 es mayor al 85 %, el nivel de madurez obtenido será 3-Definido.

3.3.5. Ejemplo evaluación de madurez del proceso de pruebas

La Empresa "ABC" ha realizado el proceso de evaluación y a continuación se describe el proceso de cálculo para los valores correspondientes a las columnas **%AP**= Porcentaje obtenido por área de proceso y **%Nivel**= Porcentaje obtenido en el nivel de madurez mostrados en la tabla 3.21: Evaluación Madurez Empresa "ABC".

Para el área de proceso 2.1 Política y Estrategia de Pruebas (PEP) se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.18: Cálculo del % de cumplimiento para el Área de Proceso 2.1 Política y Estrategia de Pruebas (PEP)

Criterio	Peso	Resp.	%AP
La política de pruebas de la organización ha sido desarrollada y comunicada.	0.33	Sí(1)	$(0,33 \times 1) + (0,33 \times 1) + (0,33 \times 0) = 0,66 \times 100 \% = 66 \%$
La estrategia de pruebas de la organización ha sido desarrollada, comunicada y aplicada.	0.33	Sí(1)	
Indicadores para medir el proceso de pruebas han sido implementados.	0.33	No(0)	

Para el área de proceso 2.2 Planeación y Estrategia de Pruebas (PP) se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.19: Cálculo del % de cumplimiento para el Área de Proceso 2.2 Planeación y Estrategia de Pruebas (PP)

Criterio	Peso	Resp.	%AP
Los riesgos son identificados, evaluados y gestionados.	0.20	Sí(1)	$(0,20 \times 1) + (0,20 \times 1) + (0,60 \times 0) = 0,40 \times 100 \% = 40 \%$
Los esfuerzos para las tareas de pruebas son estimados.	0.20	Sí(1)	
El plan de pruebas es establecido, comunicado e implementado en el proyecto.	0.60	No(0)	

De este mismo modo se ha realizado el cálculo del porcentaje de cumplimiento para cada una de las áreas de proceso restantes.

Para el cálculo del porcentaje de cumplimiento en cada uno de los niveles de madurez se toman los resultados obtenidos para todas las áreas de proceso.

A continuación se muestra el cálculo del porcentaje de cumplimiento para el nivel de madurez 2-Gestionado:

Nota 1. %AP corresponde al porcentaje de cumplimiento que se calculó como se muestra en las tablas 3.18 y 3.19.

Nota 2. Peso AP corresponde al peso de las áreas de proceso que se muestra en la tabla 3.17

Tabla 3.20: Cálculo del % de cumplimiento para el Nivel de Madurez 2-Gestionado

Nivel	AP	%AP	Peso AP	%Nivel
2	2.1 PEP	66 %	0.27	$(0,66 \times 0,27) + (0,40 \times 0,22) + (0,67 \times 0,21) + (0,25 \times 0,18) + (0,0 \times 0,12) = 0,45 \times 100 \% = 45 \%$
	2.2 PP	40 %	0.22	
	2.3 MCP	67 %	0.21	
	2.4 DEP	25 %	0.18	
	2.5 AMP	0 %	0.12	

De esta misma manera se ha realizado el cálculo del porcentaje de cumplimiento para el nivel 3-Definido.

En la tabla 3.21 se muestra el porcentaje de cumplimiento obtenido para cada área de proceso y a su vez el porcentaje de cumplimiento alcanzado para cada nivel:

Tabla 3.21: Evaluación Madurez Empresa "ABC"

Nivel	AP	Criterio	Respuesta	%AP	%Nivel
2	2.1 PEP	La política de pruebas de la organización ha sido desarrollada y comunicada.	Sí(1)	66 %	45 %
		La estrategia de pruebas de la organización ha sido desarrollada, comunicada y aplicada.	Sí(1)		
		Indicadores para medir el proceso de pruebas han sido implementados.	No(0)		
	2.2 PP	Los riesgos son identificados, evaluados y gestionados.	Sí(1)	40 %	
		Los esfuerzos para las tareas de pruebas son estimados.	Sí(1)		
		El plan de pruebas es establecido, comunicado e implementado en el proyecto.	No(0)		
	2.3 MCP	El avance de las tareas de pruebas es monitoreado y controlado.	No(0)	67 %	
		Las mejoras para el producto son identificadas y gestionadas.	Sí(1)		
	2.4 DEP	Las historias de usuario son claras y completas: incluyen los criterios de aceptación a partir de los cuales se pueden diseñar los casos de prueba.	No(0)	25 %	
		Los casos de prueba se documentan cuando la criticidad y complejidad de la funcionalidad lo requieren y se realiza a través de una plantilla o herramienta que facilita su creación y gestión.	Sí(1)		
		Los elementos necesarios para la ejecución de las pruebas son preparados: Scripts para las pruebas automatizadas y datos.	No(0)		
		Se ha establecido un flujo de trabajo automatizado que permite la integración regular de las modificaciones en el código fuente y la ejecución automatizada de las pruebas de regresión.	No(0)		
		Los errores identificados durante las pruebas son gestionados.	Sí(1)		

Continúa en la siguiente página

Tabla 3.21: Evaluación Madurez Empresa "ABC"

Nivel	AP	Criterio	Respuesta	%AP	%Nivel
	2.5 AMP	La especificación de los requerimientos de ambiente y datos para la ejecución de prueba se realiza al inicio del proyecto.	No(0)	0 %	
		Los ambientes y datos de prueba están disponibles al iniciar la ejecución de las pruebas.	No(0)		
		Los ambientes y datos de prueba cuentan con gestión de la configuración.	No(0)		
		La información respecto a la configuración y la disponibilidad de los ambientes de prueba está compartida.	No(0)		
3	3.1 EOP	La organización cuenta con un comité de pruebas encargado de identificar, planificar e implementar mejoras en el proceso de pruebas.	No(0)	40 %	19 %
		Los conocimientos, habilidades y responsabilidades requeridas para cada rol del proceso de pruebas se encuentran definidas y asignadas.	No(0)		
		Se establecen y desarrollan las necesidades de formación técnica y de gestión para cada integrante del equipo de pruebas.	Sí(1)		
		Mejoras para el proceso de pruebas son identificadas y gestionadas.	Sí(1)		
		El proceso de pruebas se encuentra desplegado y monitoreado en la organización.	No(0)		
	3.2 PREP	Un programa de entrenamiento en pruebas alineado a las necesidades específicas de la organización ha sido establecido.	No(0)	50 %	
		El equipo de trabajo recibe entrenamiento en temas de pruebas con la frecuencia requerida y se evalúa su efectividad.	Sí(1)		

Continúa en la siguiente página

Tabla 3.21: Evaluación Madurez Empresa "ABC"

Nivel	AP	Criterio	Respuesta	%AP	%Nivel
	3.3 CVPPI	Existe una biblioteca de recursos de pruebas o "wiki" donde los testers pueden encontrar plantillas, mejores prácticas y/o listas de verificación, que les ayudan en su trabajo diario, que permite el aprendizaje y el intercambio de experiencias.	No(0)	0 %	
		Un estándar para la gestión de ambientes de trabajo ha sido establecido.	No(0)		
		El ciclo de vida de pruebas se encuentra definido e integrado al ciclo de desarrollo de software de la organización.	No(0)		
	3.4 PNF	La evaluación de riesgos no funcionales del producto se realiza al inicio del proyecto.	No(0)	20 %	
		Las características no funcionales a probar son identificadas y priorizadas.	Sí(1)		
		El diseño de casos de pruebas No Funcionales se realiza bajo el enfoque de pruebas establecido para el proyecto.	No(0)		
	3.5 RDP	Existe un enfoque de revisión por pares en el proceso de pruebas establecido por la organización.	No(0)	0 %	
		El equipo de pruebas realiza revisiones por pares dentro de las pruebas de acuerdo al enfoque establecido en la organización.	No(0)		

En este caso la empresa ABC obtuvo un 45 % para el nivel de madurez 2 y un 19 % para el nivel de madurez 3. De acuerdo a las reglas de asignación del nivel de madurez definidos en el paso 3 de la sección Cálculo del Nivel de Madurez, La empresa ABC aún se encuentra en el nivel de madurez 1-Inicial.

El ejemplo completo puede ser consultado en el Apéndice D Ejemplo Evaluación Empresa ABC.

Hoja de Ruta para Mejoramiento del Proceso de Pruebas

El artefacto ha sido diseñado tomando como referencia el *Testing Maturity Model integrated* - (TMMi), lo cual garantiza la inclusión de prácticas probadas en la industria en cuanto al proceso de pruebas y calidad de software. Su objetivo es promover la adopción de prácticas recomendadas y fomentar una cultura de mejora continua en la organización. Una vez finalizado el proceso de evaluación, el artefacto proporcionará un conjunto de recomendaciones por área de proceso para mejorar la madurez del proceso. Estas recomendaciones definirán un camino para el desarrollo e implementación de mejoras, debido a que la herramienta indicará en qué áreas se deben enfocar los esfuerzos.

4.1. Diseño de la Hoja de Ruta

El objetivo de la hoja de ruta es brindar a la organización las acciones y recomendaciones que se identifican a partir del análisis de la situación actual del proceso de pruebas que la organización realiza durante la evaluación de la madurez. Las acciones y recomendaciones incluidas como parte de la hoja de ruta están basadas en TMMI que proporciona una lista de mejores prácticas y una descripción de un proceso de madurez de pruebas, pero no ofrece un enfoque estándar para implementar un proceso de mejora en una organización. Para que la organización pueda soportar la implementación de un proceso de mejora en este caso para el proceso de pruebas de software, se recomienda utilizar el marco de trabajo IDEAL que ofrece un estándar de referencia práctico para procesos de cambio. Considerando el modelo IDEAL, como parte de la hoja de ruta se incluyen las actividades previas a la implementación de las acciones y recomendaciones brindadas por TMMI así como las actividades posteriores.

Estas actividades previas son esenciales para preparar un proyecto de mejora de un proceso. Por otro lado, las actividades posteriores permiten evaluar el impacto de las mejoras implementadas y realizar ajustes si es necesario, además de fomentar un aprendizaje continuo para impulsar la evolución constante del proceso de pruebas.

La hoja de ruta siguiendo el modelo IDEAL está compuesta por los siguientes elementos que serán descritos enmarcados dentro de cada fase del modelo y se presentan en las siguientes secciones.

4.1.1. Iniciación

Tabla 4.1: Actividades Dentro de la Fase de Iniciación del Proceso de Mejora.

No.	Actividad a Ejecutar	Descripción
1	Identificar el estímulo para el cambio	<ul style="list-style-type: none"> • La organización necesita darse cuenta de qué es necesario cambiar. En este caso la organización ha identificado de qué es necesario cambiar a partir de la evaluación de la madurez realizada con EDTEST. • La organización debe identificar cuáles son los objetivos del proceso de mejora. Algunos ejemplos de estos objetivos son: 1. Identificar prácticas que ayuden a que el proceso de pruebas esté alineado con las buenas prácticas de la industria; 2. Fomentar la comunicación y colaboración entre equipos de desarrollo, pruebas y gestión para mejorar la integración de pruebas en el ciclo de desarrollo; 3. Apuntar a la detección temprana de defectos y a la reducción de problemas en las pruebas • Identificar cómo los objetivos del proceso de mejora que ha establecido la organización se alinean con los objetivos de negocio de la organización.

Tabla 4.1: Actividades Dentro de la Fase de Iniciación del Proceso de Mejora.

No.	Actividad a Ejecutar	Descripción
2	Establecer el contexto	<ul style="list-style-type: none"> • El contexto está dado por el alcance que tiene el proceso de mejora. En este caso el alcance específico son las áreas individuales del proceso de pruebas en el que se identifiquen aspectos de mejora. La mejora enfocada en áreas individuales de un proceso de pruebas puede ser más rentable que considerar todas las áreas posibles. Puede ser deseable mejorar todos los aspectos del proceso de pruebas de manera amplia o solo abordar aspectos específicos (por ejemplo, la planificación de pruebas) (ISTQB, 2011). • A partir de los resultados de la evaluación se deben establecer las áreas en las que se quiere trabajar de acuerdo a los recursos que la organización puede destinar para el proceso de mejora (Personas, tiempo, tecnologías, entre otros).
3	Construir el patrocinio	Obtener patrocinio y respaldo de las partes interesadas que serán influenciadas por el cambio es de vital importancia para el éxito del proceso de mejora. El patrocinio garantiza el apoyo y compromiso de los responsables, lo que aumenta la probabilidad de implementar las mejoras de manera efectiva y sostenible en toda la organización.
4	Formalizar la infraestructura del proyecto	Definir un equipo para la gestión del proceso de mejora que asumirá la responsabilidad de promover el proyecto y eliminar los obstáculos que se presenten en el desarrollo del mismo. El equipo puede estar conformado por un líder que a su vez determine qué otros profesionales requiere dentro del mismo. Es importante establecer claramente las responsabilidades y habilidades requeridas de cada miembro de este equipo para que sea posible cumplir los objetivos trazados por el proceso de mejora.

4.1.2. Diagnóstico

Tabla 4.2: Actividades Dentro de la Fase de Diagnóstico del Proceso de Mejora.

No.	Actividad a Ejecutar	Descripción
-----	----------------------	-------------

Tabla 4.2: Actividades Dentro de la Fase de Diagnóstico del Proceso de Mejora.

No.	Actividad a Ejecutar	Descripción
1	Caracterizar los estados actual y deseado	<ul style="list-style-type: none"> • A partir de la evaluación de la madurez se obtiene el estado actual del proceso con el cual se identificarán las áreas de proceso en las cuáles se pueden realizar mejoras. • El estado deseado debe estar alineado con los objetivos que se quieren alcanzar con el desarrollo del proyecto de mejora y debe estar dentro del ámbito de las posibilidades de la organización de acuerdo a lo que se estableció como alcance definido con la actividad Establecer el Contexto en la fase de iniciación.
2	Desarrollar recomendaciones	Después de completar la evaluación, se proporciona retroalimentación con las mejoras que deben implementarse en las áreas identificadas con deficiencias. Para esto, se crea un conjunto de prácticas alineadas con cada una de estas áreas que necesitan mejorar. Esto se convierte en la hoja de ruta para mejorar el proceso de pruebas.

4.1.3. Estabilización

Tabla 4.3: Actividades Dentro de la Fase de Estabilización del Proceso de Mejora.

No.	Actividad a Ejecutar	Descripción
1	Establecer prioridades	<p>Al establecer las prioridades, se determina qué área(s) de proceso y qué partes de ellas se implementarán primero. Para establecer las prioridades se pueden considerar los siguientes criterios:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Duración de la mejora: Se debe lograr un equilibrio entre las mejoras a corto plazo y a largo plazo. Las mejoras a corto plazo tienen la ventaja de mostrar rápidamente el retorno de la inversión. Las mejoras a largo plazo pueden abordar algunas de las mejoras fundamentales en el proceso de pruebas, incluidos los aspectos culturales y organizacionales. 2. Riesgo de implementación: Muchas mejoras requieren un cambio en las prácticas de prueba existentes. Existe un riesgo de fracaso asociado con cada una de esas mejoras: <ol style="list-style-type: none"> a) Capacidad para volver a un estado anterior: la capacidad de revertir a un estado anterior en caso de que la mejora implementada deba ser abandonada. Es necesario evaluar el impacto que esto tendría en el proyecto y definir una estrategia para regresar al estado previo a la implementación de la mejora. b) Capacidad para implementar la mejora: antes de iniciar la implementación de las mejoras, es importante asegurar los recursos necesarios para llevar a cabo la implementación. c) Costo/beneficio de la mejora propuesta: identificar el retorno de la inversión realizada para el proceso de mejora, incluyendo aspectos financieros y de optimización de procesos. 3. Vínculo con los objetivos. Determinar si es posible establecer una asociación clara entre la mejora propuesta y los objetivos del negocio. 4. Impacto. Determinar el impacto de esta mejora (por ejemplo, alto, medio, bajo)

Tabla 4.3: Actividades Dentro de la Fase de Estabilización del Proceso de Mejora.

No.	Actividad a Ejecutar	Descripción
2	Desarrollo de un enfoque de implementación	<p>Establecer un plan estratégico que guíe la implementación de mejoras en el proceso de pruebas de la organización. Este enfoque incluirá acciones concretas a realizar, como la capacitación del personal, la creación de descripciones de procesos y la selección de herramientas adecuadas. También se considerarán aspectos no técnicos, como el conocimiento y experiencia del equipo, el enfoque de implementación, la resistencia al cambio, el apoyo brindado, el sentido de urgencia y la cultura organizacional, entre otros factores relevantes.</p>
3	Plan de acción	<p>El modelo IDEAL describe dos posibles planes de acción:</p> <p>Un plan de acción estratégico que tiene las siguientes características:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Un período de tiempo de tres a cinco años. 2. Cubre todas las mejoras del proceso de pruebas de la organización e integra estas mejoras con otras actividades de mejora de procesos de software y cualquier otra iniciativa de gestión de la calidad total ya planificada o en proceso. <p>Un plan de acción táctico que tiene las siguientes características:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Un período de tiempo corto, típicamente de un año o menos. 2. Se enfoca en la planificación detallada de las actividades del Grupo de Proceso de Pruebas (el equipo responsable de implementar las mejoras que se definió en la fase de iniciación). <p>Se debe seleccionar el plan de acción de acuerdo a las posibilidades y recursos con los que cuenta la organización. Adicionalmente, el plan de acción puede contener al menos los siguientes elementos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Actividades a realizar 2. Responsables 3. Indicador de progreso de la actividad 4. Tiempo estimado 5. Recursos necesarios para desarrollar la actividad.

4.1.4. Implementación de las Mejoras

Tabla 4.4: Actividades Dentro de la Fase de implementar las Mejora del proceso.

No.	Actividad a Ejecutar	Descripción
1	Crear la solución.	<p>Se deben implementar las mejoras identificadas para el proceso de pruebas. Las soluciones pueden incluir procesos, plantillas, herramientas, conocimientos, habilidades (capacitación), información y soporte.</p> <p>EDTEST ofrece un conjunto de recursos que pueden hacer parte de las soluciones específicas a desarrollar para abordar la implementación de diversas prácticas para la mejora tales como: plantillas y guías prácticas que orientan la implementación de una mejora. Es necesario involucrar a tantos empleados como sea posible en la elaboración de las soluciones.</p> <p>Existen algunas soluciones más complejas que involucran el desarrollo de integración continua (automatización de pruebas) que requerirán recursos como capacitación, evaluación de herramientas, entre otros, para lo cual EDTEST brinda recomendaciones pero la organización debe diseñar completamente la solución para lograr implementar estas prácticas.</p>
2	Seleccionar y ejecutar un piloto	<p>Se recomienda que este piloto se realice preferentemente en un proyecto no activo, a menos que el impacto en el proyecto activo sea considerado aceptable. Es crucial que el piloto represente fielmente la realidad de los proyectos que se llevan a cabo en la organización, con el fin de garantizar la escalabilidad de la mejora implementada. El objetivo principal del piloto es reducir el riesgo de fracaso, permitiendo así adquirir experiencia, generar apoyo y obtener valiosas lecciones aprendidas para su posterior implementación en otros contextos.</p>
3	Refinar la solución	<p>“Con los resultados de la prueba piloto, la solución puede ser optimizada. Pueden ser necesarias varias iteraciones del proceso de optimización de pruebas para alcanzar una solución satisfactoria que funcione para todos los proyectos. Una solución debe ser viable; esperar una solución ”perfecta” puede retrasar innecesariamente la implementación.”</p>

Tabla 4.4: Actividades Dentro de la Fase de implementar las Mejora del proceso.

No.	Actividad a Ejecutar	Descripción
3	Implementar la Solución	<p>Cuando las soluciones se consideran factibles, pueden ser implementadas dentro del proceso de pruebas de la organización. Algunos enfoques que se pueden considerar para la implementación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Implementación total: los cambios se implementan al mismo tiempo 2. Un proyecto a la vez: en cada proyecto, el cambio se implementa en un momento específico. 3. Justo a tiempo: la solución se implementa durante la ejecución del proceso.

4.1.5. Aprendizaje

Tabla 4.5: Actividades Dentro de la Fase de Aprendizaje de la Implementación de las Mejora del proceso.

No.	Actividad a Ejecutar	Descripción
1	Analizar y validar	<ul style="list-style-type: none"> • Durante y después de la implementación del plan de mejora de pruebas, se realizan retrospectivas de proyecto con las partes interesadas y se analizan los objetivos alcanzados. Estas retrospectivas también servirán de insumo para identificar acciones de mejora como parte de la actividad siguiente • La organización o persona que ha implementado la mejora generalmente gestiona las retrospectivas, que se realizan típicamente como talleres
2	Proponer acciones futuras	Proponer recomendaciones para fortalecer el proyecto de mejora establecido. Las retrospectivas ayudarán a identificar estas recomendaciones.

Implementación del Prototipo Funcional

La implementación del prototipo constituye un paso crucial en la materialización de los objetivos de este trabajo de grado. En esta sección, se presenta cómo se diseñó y desarrolló el prototipo con el fin de abordar el objetivo específico 3: Implementar un prototipo funcional que permita la aplicación del artefacto diseñado. Este capítulo proporciona una visión de cómo se tradujeron las ideas conceptuales en una solución concreta y funcional, estableciendo la base para evaluar la efectividad de la propuesta realizada por parte de los usuarios, también serán explicadas las decisiones de diseño que influyeron en su estructura y funcionalidades, y cómo se abordaron los desafíos técnicos encontrados durante el proceso de desarrollo.

5.1. Requisitos del Prototipo

El prototipo funcional a implementar debe cumplir con una serie de requisitos específicos que están directamente vinculados a los objetivos planteados en este trabajo de grado. Estos requisitos han sido diseñados para garantizar que el prototipo sea capaz de demostrar las funcionalidades clave y lograr los propósitos definidos en el alcance del proyecto:

- **Requisito 1: Permitir el registro de los usuarios para realizar la evaluación de la madurez del proceso de pruebas.**

Cada usuario se podrá registrar por medio del correo electrónico y tendrán un perfil único, lo que les permitirá acceder a la plataforma de evaluación y almacenar sus resultados. Esto no solo garantiza la privacidad de los datos de cada usuario, sino que también habilita la posibilidad de rastrear las evaluaciones individuales a lo largo del tiempo.

- **Requisito 2: Permitir que los usuarios evalúen la madurez del proceso actual de pruebas.**

Este requisito busca habilitar una interfaz intuitiva para que los usuarios puedan completar la evaluación de madurez del proceso de pruebas de manera eficiente. El prototipo presentará los criterios que se deben evaluar y guiará a los usuarios a través del proceso, asegurándose de que todas las áreas estén cubiertas en la evaluación.

- **Requisito 3: Permitir a los usuarios visualizar los resultados de la evaluación.**
Este requisito se refiere a la creación de un panel de visualización donde los usuarios puedan ver los resultados de sus evaluaciones en un formato comprensible. Este incluye un diagrama de brechas y resúmenes de datos que muestran cómo se calificaron las diferentes áreas de proceso, lo que brinda a los usuarios una visión clara de la madurez actual de su proceso de pruebas.
- **Requisito 4: Generar una hoja de ruta que contenga las actividades y recomendaciones destinadas a mejorar el proceso de pruebas.**
Este requisito implica la creación de una hoja de ruta que se genera para cada usuario, basado en los resultados de su evaluación. La plataforma deberá generar recomendaciones y actividades sugeridas que los usuarios pueden seguir para mejorar la madurez de su proceso de pruebas. Esto proporciona un enfoque práctico para abordar las áreas que requieren más atención.
- **Requisito 5: Permitir consultar los resultados de la evaluación y la hoja de ruta en cualquier momento después de haber completado la evaluación.**
Este requisito asegura que los usuarios puedan acceder a sus resultados de evaluación y a sus hojas de ruta en cualquier momento, incluso después de haber completado la evaluación inicial. Esto es esencial para permitir un seguimiento continuo y una referencia futura, ya que los usuarios pueden necesitar volver a sus resultados y recomendaciones en diferentes etapas del proceso de mejora.

5.2. Diseño de la implementación

En esta sección, se presenta el proceso de diseño de la implementación del prototipo funcional que permitirá aplicar el artefacto diseñado en este trabajo de grado.

5.2.1. Planificación del diseño

La planificación de la implementación se basó en los objetivos específicos de este trabajo de grado, centrados en la creación de un prototipo funcional que permita la aplicación del artefacto diseñado. Para lograr esto, se adoptó un enfoque iterativo y colaborativo que facilitó la interacción entre las integrantes del presente trabajo y aseguró un proceso fluido desde la concepción hasta la materialización del prototipo. Cada etapa incluyó nuevas funcionalidades seguidas de pruebas, con retroalimentación constante para ajustes. Las reuniones regulares facilitaron la resolución ágil de problemas y adaptaciones según necesidades. Este enfoque garantizó el éxito del prototipo y sentó bases sólidas para trabajos futuros.

5.2.2. Decisiones de Diseño

5.2.2.1. Interfaz de Usuario Intuitiva

Una de las principales decisiones de diseño fue crear una interfaz de usuario intuitiva que permitiera a los usuarios completar la evaluación de madurez del proceso de pruebas sin dificultades. Se optó por un diseño de fácil navegación, con formularios interactivos para recopilar datos y respuestas. Esta elección se alinea con el requisito 2 de permitir que los usuarios evalúen la madurez del proceso actual de pruebas. El diseño de la interfaz de usuario se realizó con la herramienta Figma. Los prototipos desarrollados pueden ser consultados [aquí](#)

5.2.2.2. Generación de Hoja de Ruta

Otra decisión clave fue la implementación de un componente que genere una hoja de ruta para cada usuario, basada en sus resultados de evaluación. Esta hoja de ruta proporcionará recomendaciones y acciones específicas para mejorar el proceso de pruebas. Esto cumple con el requisito 4 de generar una hoja de ruta con actividades y recomendaciones.

5.2.3. Tecnologías Utilizadas

En la figura 5.1, se presentan las tecnologías utilizadas para el desarrollo del prototipo funcional. Más adelante en esta sección se detallará cada una de estas tecnologías.



Figura 5.1: Plataforma de desarrollo prototipo funcional EDTest

1. **Frontend con Vue Component Framework:** para la creación de la interfaz de usuario interactiva, se optó por *Vuetify*, que es un framework de Vue.js que facilita el desarrollo de aplicaciones web de una sola página (SPA). *Vue.js* proporcionó una estructura organizada para la interfaz y permitió la reutilización de algunos componentes que el framework ofrece listos para usar. La combinación de HTML, CSS y *Vue.js* resultó en una interfaz dinámica para brindar a los usuarios una experiencia intuitiva y amigable durante la evaluación del proceso de pruebas.
2. **Almacenamiento de Datos con SQLite:** la gestión de los perfiles de usuario y los resultados de las evaluaciones requirió un sistema de almacenamiento de datos. Para esta finalidad, se eligió SQLite, un sistema de gestión de bases de datos relacional y de código abierto. SQLite ofreció una solución ligera pero potente para la persistencia de datos. Su capacidad para operar sin la necesidad de un servidor dedicado fue particularmente adecuada para el enfoque de desarrollo del prototipo. La elección de SQLite aseguró que los datos de los usuarios se almacenen de manera segura y confiable.
3. **Backend con Python:** la capa de backend del prototipo se implementó utilizando Python, un lenguaje de programación ampliamente utilizado en el desarrollo web. Python permitió la creación de la lógica de negocio detrás de la evaluación de la madurez del proceso de pruebas y la generación de la hoja de ruta personalizada. Se utilizó el framework Django, para crear los endpoints necesarios que proporcionan y permiten manipular la información entre la capa de presentación y el backend. La elección de Python permitió una implementación eficiente y modular del prototipo.
4. **Alojamiento en la nube de Oracle:** La aplicación se encuentra alojada en la nube de Oracle, utilizando la capa gratuita, garantizando así su disponibilidad. Esto permite a los usuarios acceder y utilizar la aplicación de manera conveniente en cualquier momento y desde cualquier lugar.

5.2.4. Diagrama de Casos de Uso

Se desarrolló un diagrama de casos de uso que representaba las interacciones entre los usuarios y el prototipo. Los casos de uso incluyen el registro de usuarios, la realización de evaluaciones, la visualización de resultados y la generación de la hoja de ruta. Este diagrama ayudó a comprender cómo los usuarios interactuarían con el sistema y guió el desarrollo de las funcionalidades clave. En la imagen 5.2 se presenta el diagrama de casos de uso diseñado para la implementación del prototipo funcional.

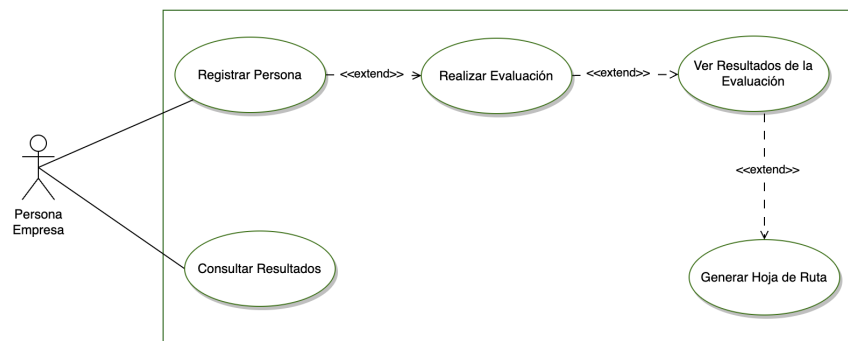


Figura 5.2: Diagrama de Casos de Uso EDTest

5.2.5. Diseño de la Base de Datos

La base de datos ha sido organizada en una serie de tablas diseñadas con un propósito específico y con el objetivo de capturar y relacionar la información de manera coherente. Las tablas que conforman el diseño de la base de datos son las siguientes:

- **Industry:** esta tabla almacena la información relacionada con el sector industrial al cual pertenecen las empresas participantes en el proceso de evaluación. Esto permitirá contextualizar y segmentar los resultados de acuerdo con la industria correspondiente.
- **User:** la tabla de usuarios almacena los datos relevantes de los participantes encargados de realizar las evaluaciones.
- **Level:** los niveles de madurez, fundamentales en el contexto del modelo de referencia TMMI, se encuentran registrados en esta tabla. Cada nivel es esencial para categorizar la madurez en el ámbito de estudio.
- **ProcessArea:** para cada nivel de madurez, esta tabla almacena las áreas de proceso que se están evaluando. Esto asegura una asociación clara y jerárquica entre los niveles y las áreas respectivas.
- **Goal:** los objetivos específicos para cada área de proceso son registrados en esta tabla.
- **Criteria:** la tabla guarda el conjunto de criterios definidos para llevar a cabo la evaluación del niveles de madurez.
- **CriteriabyGoal:** esta tabla establece relaciones entre los criterios de evaluación y los objetivos de las áreas de proceso.
- **Practice:** las prácticas necesarias para alcanzar cada objetivo en una área de proceso están detalladas en esta tabla.

- **CriteriabyUser:** aquí se registran las respuestas de los usuarios en relación con los criterios de evaluación.

En la imagen 5.3 se presenta el esquema de la base de datos diseñada para la implementación del prototipo funcional.

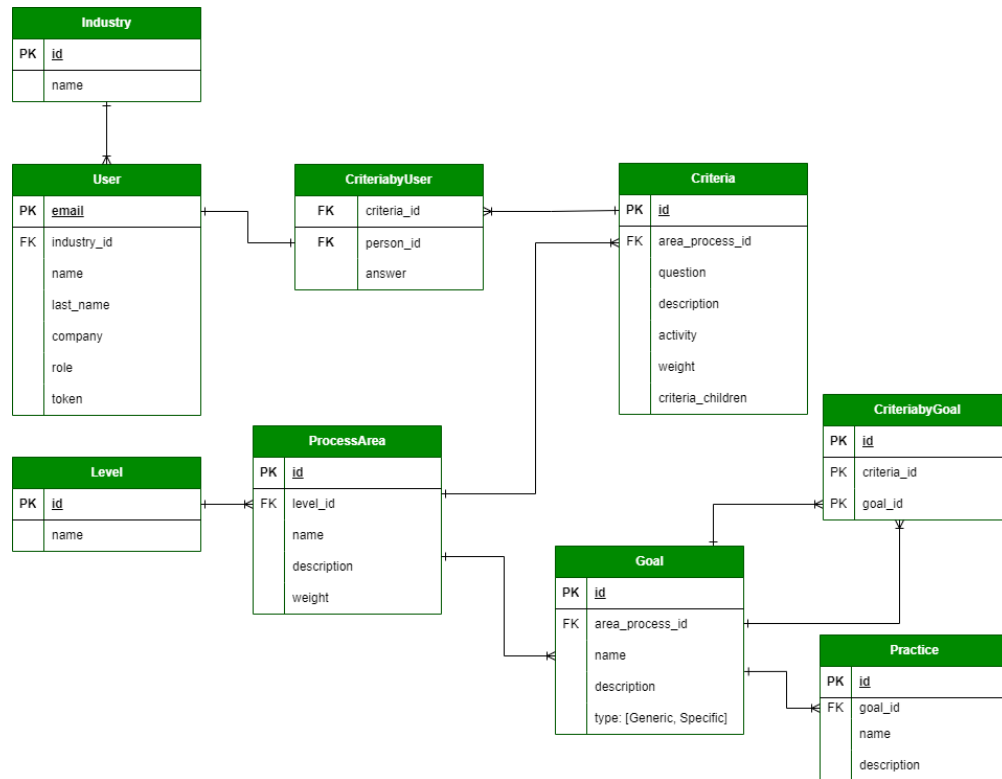


Figura 5.3: Esquema de la base de datos prototipo EDTest

5.2.6. Interfaz Gráfica del Prototipo

La interfaz consta de varios elementos diseñados para facilitar la interacción y comprensión por parte de los usuarios. A continuación se describen los elementos más importantes:

Página de Inicio: Se proporciona una breve descripción de las acciones posibles en la aplicación web. El usuario tiene la opción de seleccionar entre realizar una evaluación o consultar una evaluación (ver imagen 5.4).

Página de Registro: se presenta una página de registro en la cual los usuarios pueden ingresar sus datos básicos para acceder al sistema (ver imagen 5.5).

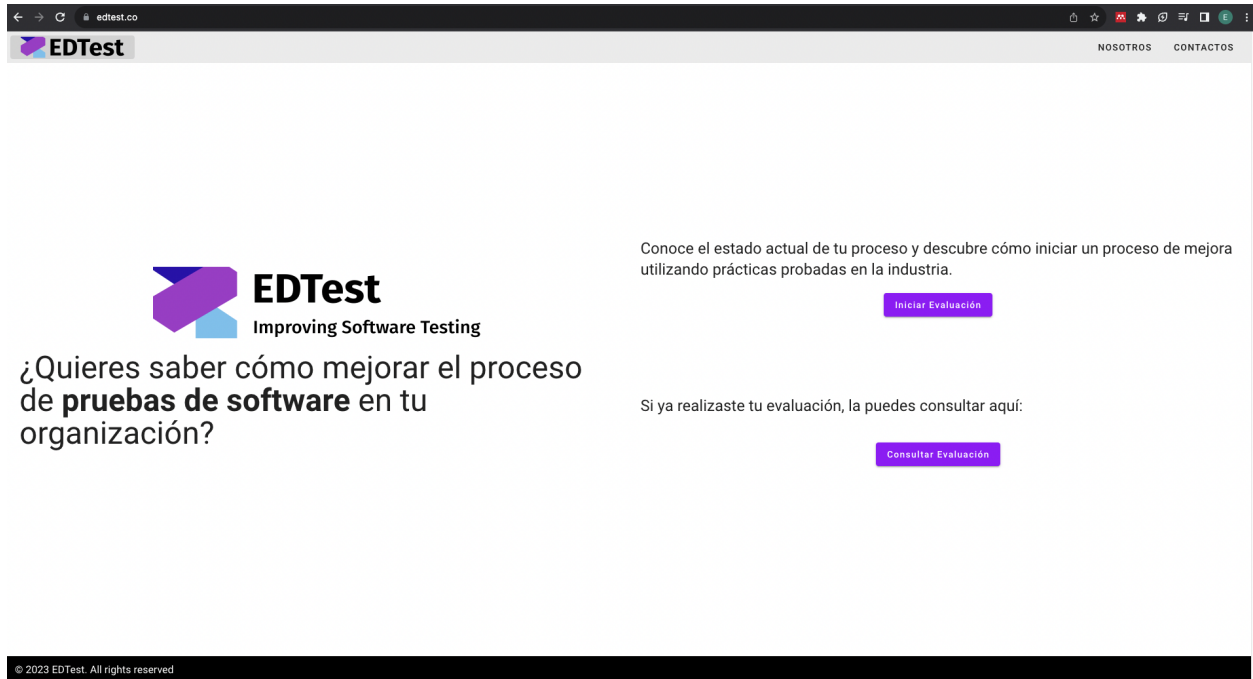


Figura 5.4: Página de Bienvenida

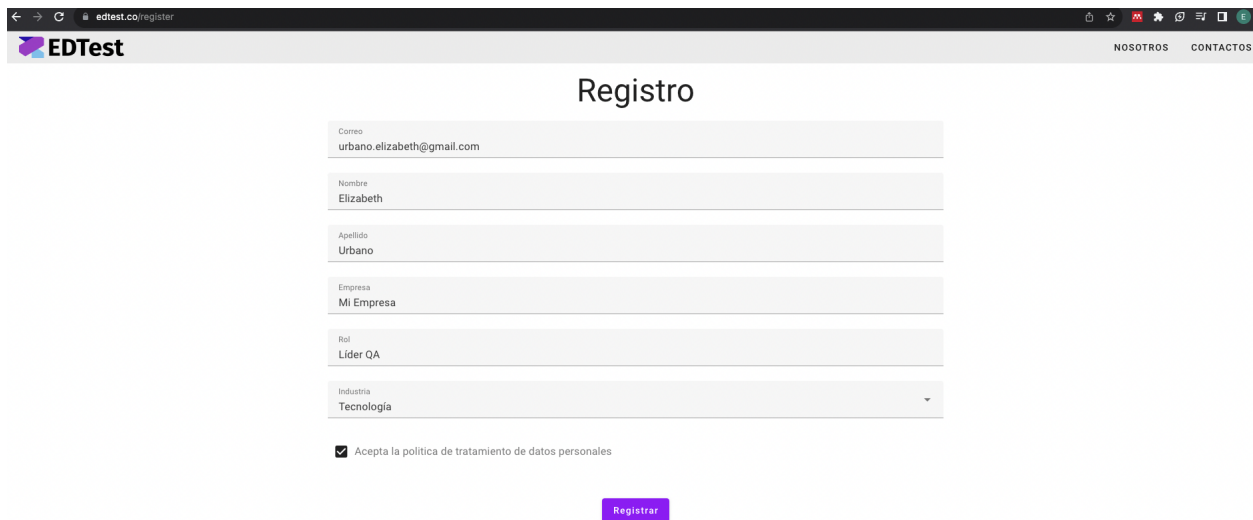
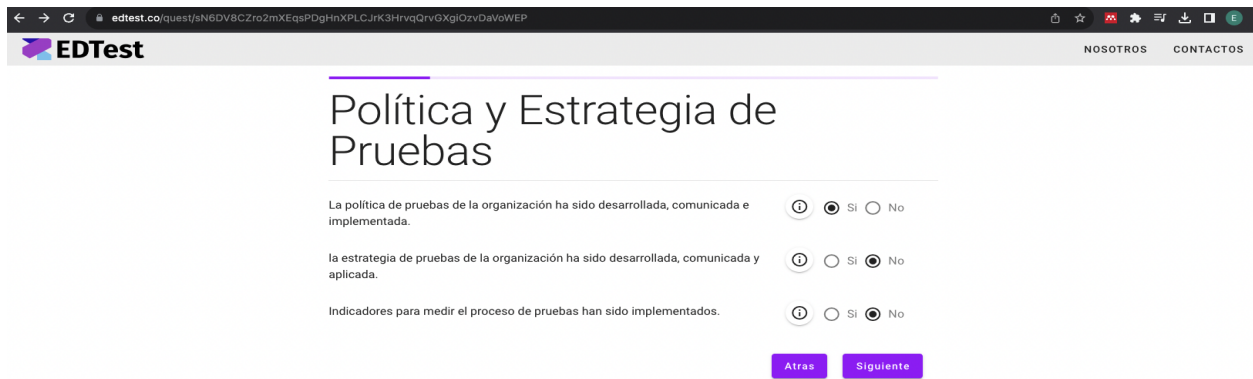


Figura 5.5: Página de Registro

Formulario de Evaluación. El formulario de evaluación se diseñó para recopilar de manera estructurada la información para calcular la madurez del proceso de pruebas, esto es, presentando cada una de las 10 áreas de proceso que hacen parte de la evaluación con sus respectivos criterios. Se utilizaron campos descriptivos y opciones seleccionables para facilitar la entrada de datos. Para facilitar la lectura de la información, se incluyó la posibilidad de escuchar los textos que hacen parte de las descripciones de cada criterio. Los usuarios solo deben dar clic en el icono que representa esta característica.

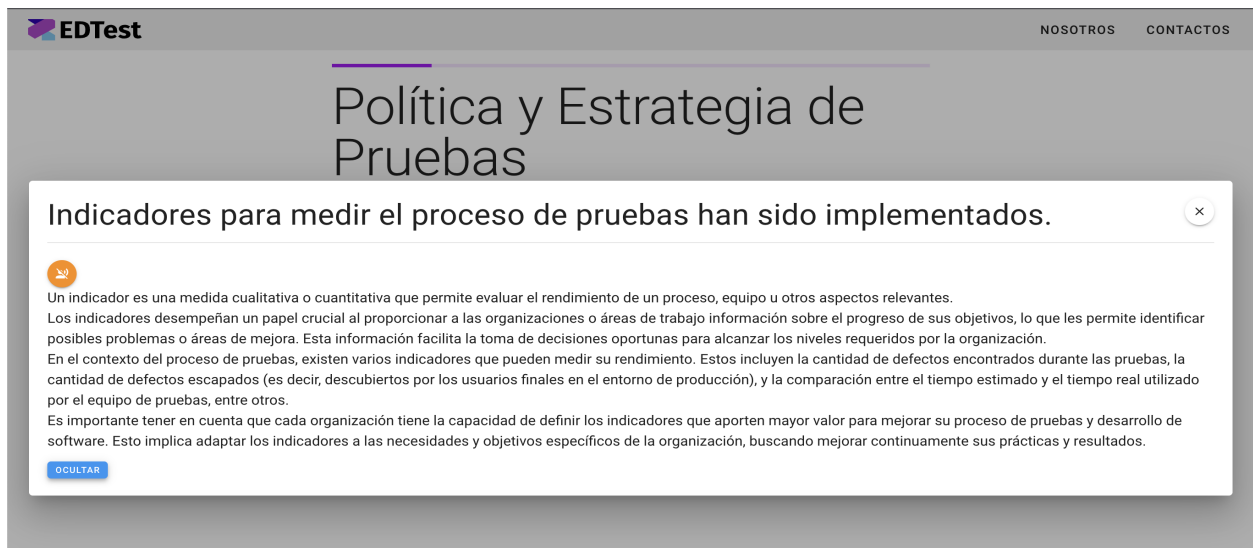


The screenshot shows a web browser window with the URL `edtest.co/quest/1sN6DV8Czro2mXEqsPDgHnXPLCJRK3HrvqQrvGxglOzvDeVoWEP`. The page title is "Política y Estrategia de Pruebas". The form contains three evaluation items, each with a descriptive text and a radio button selection:

- La política de pruebas de la organización ha sido desarrollada, comunicada e implementada. SI No
- la estrategia de pruebas de la organización ha sido desarrollada, comunicada y aplicada. SI No
- Indicadores para medir el proceso de pruebas han sido implementados. SI No

At the bottom of the form, there are two buttons: "Atras" and "Siguiente".

Figura 5.6: Formulario de Evaluación



The screenshot shows a detailed view of the evaluation criterion "Indicadores para medir el proceso de pruebas han sido implementados." The page title is "Política y Estrategia de Pruebas". The criterion text is: "Indicadores para medir el proceso de pruebas han sido implementados." Below the text is a description: "Un indicador es una medida cualitativa o cuantitativa que permite evaluar el rendimiento de un proceso, equipo u otros aspectos relevantes. Los indicadores desempeñan un papel crucial al proporcionar a las organizaciones o áreas de trabajo información sobre el progreso de sus objetivos, lo que les permite identificar posibles problemas o áreas de mejora. Esta información facilita la toma de decisiones oportunas para alcanzar los niveles requeridos por la organización. En el contexto del proceso de pruebas, existen varios indicadores que pueden medir su rendimiento. Estos incluyen la cantidad de defectos encontrados durante las pruebas, la cantidad de defectos escapados (es decir, descubiertos por los usuarios finales en el entorno de producción), y la comparación entre el tiempo estimado y el tiempo real utilizado por el equipo de pruebas, entre otros. Es importante tener en cuenta que cada organización tiene la capacidad de definir los indicadores que aporten mayor valor para mejorar su proceso de pruebas y desarrollo de software. Esto implica adaptar los indicadores a las necesidades y objetivos específicos de la organización, buscando mejorar continuamente sus prácticas y resultados." At the bottom of the detail, there is a button labeled "OCULTAR".

Figura 5.7: Detalle Criterios Evaluación

Resultados de la Evaluación. Después de completar la evaluación, los usuarios pueden ver los resultados de manera gráfica y detallada. Se utilizaron gráficos y tablas para resaltar los aspectos clave y las áreas de mejora.

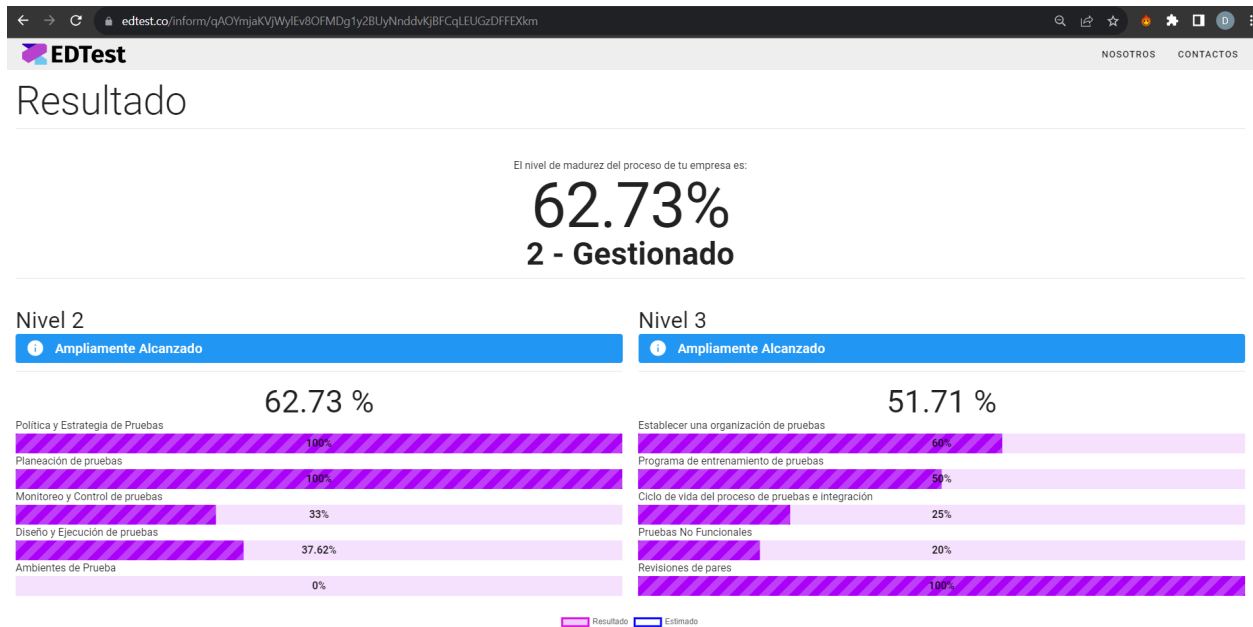


Figura 5.8: Resultados Criterios Evaluación

Hoja de Ruta. La interfaz de Hoja de Ruta ha sido diseñada para brindar a los usuarios una visión clara y organizada de las recomendaciones y acciones sugeridas para mejorar el nivel de madurez del proceso de pruebas. Esta sección permite a los usuarios identificar de manera eficiente las áreas clave que requieren atención y las medidas específicas que deben tomarse para lograr una evolución en el proceso de pruebas. La interfaz de Hoja de Ruta presenta las siguientes características:

- **Visualización Jerárquica:** Las recomendaciones se presentan de manera jerárquica, lo que permite a los usuarios comprender la relación entre diferentes actividades y decisiones. Esto facilita la planificación de acciones a nivel individual o de equipo.
- **Detalles de Acciones:** Cada recomendación se acompaña de detalles exhaustivos que explican la acción específica que se debe tomar. Los usuarios pueden acceder a información detallada sobre cómo implementar cada recomendación. Para facilitar la lectura de la información, se incluyó la posibilidad de escuchar los textos que hacen parte de las descripciones de cada actividad. Los usuarios solo deben dar clic en el icono que representa esta característica.
- **Filtrado Personalizado:** Los usuarios pueden revisar las recomendaciones de acuerdo

con su interés y relevancia, lo que proporciona un enfoque personalizado para la mejora del proceso.

En la figura 5.9, se presenta el conjunto de recomendaciones propuestas que se sugiere considerar a la organización antes de iniciar la ejecución de las actividades especificadas en la hoja de ruta. Esta sección obedece al análisis de la metodología IDEAL realizada en el capítulo anterior. Para facilitar la lectura de la información, se incluyó la posibilidad de escuchar los textos que hacen parte de la información de las actividades previas. Los usuarios solo deben dar clic en el icono que representa esta característica.

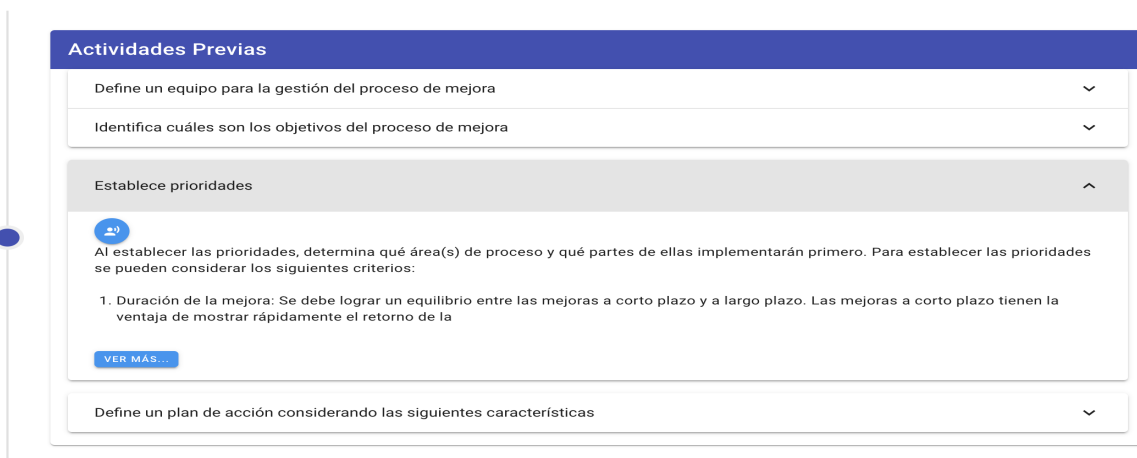


Figura 5.9: Hoja de Ruta

El desglose de las acciones o actividades propuestas para mejorar el nivel de madurez del proceso de pruebas se organiza de acuerdo a las áreas de proceso. Aquellas áreas que no necesitan mejoras se resaltarán en verde, mientras que las que requieren mejoras se destacarán en rojo junto con el conjunto de actividades propuestas (ver imagen 5.10).

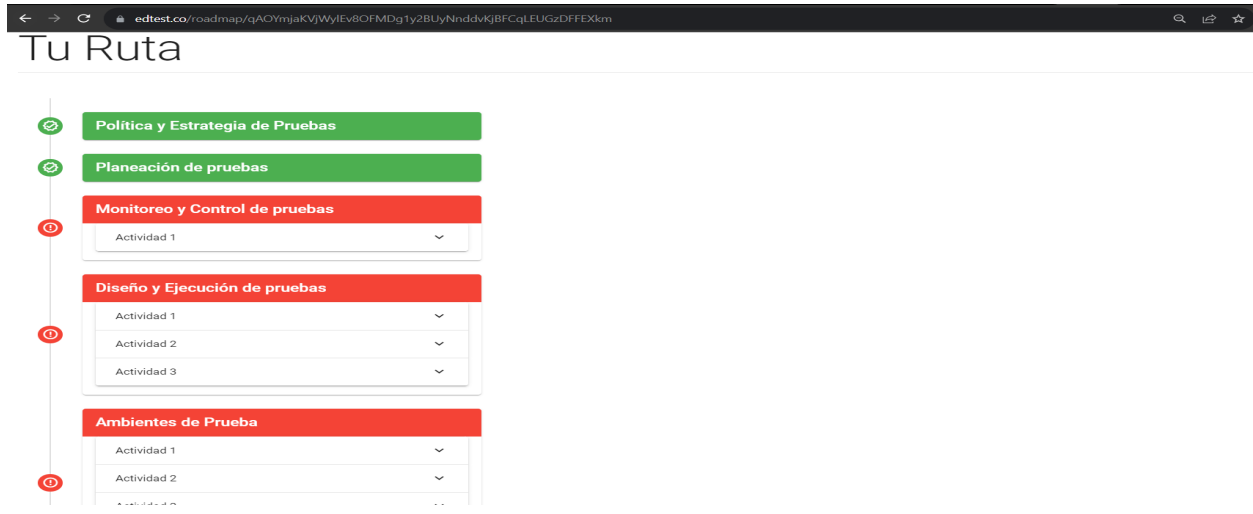


Figura 5.10: Hoja de Ruta



Figura 5.11: Hoja de Ruta

El usuario tendrá la capacidad de revisar sus resultados en cualquier momento utilizando la funcionalidad 'Consultar Evaluación' en la página principal, tal como se ilustra en la imagen 5.4.

Aplicación del Prototipo Funcional

Esta fase no solo representa la culminación del esfuerzo previo, sino que también señala un punto definitivo para la validación de la relevancia de este trabajo. La aplicación del prototipo en entornos reales brinda la oportunidad de observar cómo la idea conceptual se tradujo en acciones tangibles y resultados medibles. A medida que se analizan los resultados obtenidos en estas situaciones reales, es posible evaluar si el artefacto cumple con los objetivos planteados y si logra impulsar la mejora deseada en el proceso de pruebas de software. En este capítulo, se explora en detalle cómo se llevó a cabo la aplicación del prototipo en varias empresas, destacando los desafíos enfrentados y, por supuesto, los logros alcanzados.

6.1. Selección de Empresas

La selección de las empresas participantes en la aplicación del prototipo fue un proceso clave para garantizar la representatividad y la validez de los resultados obtenidos. En esta sección, se detalla el enfoque y los criterios que seguimos para elegir las empresas adecuadas.

6.1.1. Criterios de Selección

Los criterios de selección se definieron en función de la diversidad y relevancia de las empresas dentro del sector de desarrollo de software. Se consideraron aspectos como el tamaño de la empresa, el tipo de proyectos que manejan, su nivel de madurez en el proceso de pruebas y su disposición a participar en el estudio. Esto aseguró una muestra representativa de diferentes contextos empresariales y proporcionó un espectro amplio de situaciones para la aplicación del prototipo.

6.1.2. Proceso de Selección

El proceso de selección comenzó con la identificación de una lista preliminar de posibles empresas participantes a través de contactos en la industria. Posteriormente, se llevó a cabo una serie de entrevistas y reuniones con los representantes de estas empresas para discutir el propósito del estudio, los beneficios esperados y los compromisos necesarios.

6.1.3. Empresas Participantes

Cinco empresas fueron seleccionadas para participar en la aplicación del prototipo. Aunque la cantidad de empresas participantes fue limitada debido a restricciones de tiempo y recursos, se aseguró que estas empresas fueran representativas de la diversidad existente no solo en la industria del desarrollo de software sino también en otras industrias. En la Tabla 6.1, se proporciona una descripción de las empresas que participaron en la evaluación del proceso de madurez de las organizaciones para las que prestan sus servicios.

Tabla 6.1: Descripción de empresas participantes en la evaluación de madurez del proceso de pruebas.

Empresa	Descripción	Metodología de Desarrollo	Industria	Tamaño Empresa
ABC1	Es una startup con sede en los Estados Unidos que se especializa en ofrecer soluciones tecnológicas destinadas a abordar los desafíos cotidianos de los numerosos vendedores que operan en la industria en constante crecimiento de la reventa. Su misión es proporcionar a los vendedores acceso a análisis y datos comerciales precisos que les permitan tomar decisiones estratégicas fundamentadas para el crecimiento de sus negocios.	La empresa incorpora en su proceso de desarrollo metodologías ágiles. La empresa ha logrado una sólida adopción de la metodología Scrum. El proceso de pruebas se encuentra plenamente integrado en el ciclo de desarrollo, ejecutándose de manera integral en cada sprint. En otras palabras, al concluir cada sprint, se ha completado todo el ciclo de pruebas. Esta implementación exitosa de Scrum ha demostrado ser efectiva en la reducción de errores que llegan a los usuarios finales, según la experiencia de la organización.	Comercio	Pequeña (38 empleados)

Tabla 6.1: Descripción de empresas participantes en la evaluación de madurez del proceso de pruebas.

Empresa	Descripción	Metodología de Desarrollo	Industria	Tamaño Empresa
ABC2	es una empresa colombiana que se especializa en el desarrollo de software a medida y soluciones tecnológicas personalizada. La empresa se ha destacado por su experiencia en ingeniería de software y servicios de consultoría tecnológica. ABC2 trabaja con una variedad de industrias y sectores, brindando servicios que abarcan desde el diseño y desarrollo de aplicaciones hasta la implementación de tecnologías de vanguardia como la inteligencia artificial y la analítica de datos.	La empresa implementa la metodología Scrum y ha integrado el proceso de pruebas dentro de cada sprint.	Tecnología	Mediana (159 empleados)
ABC3	Es una empresa colombiana especializada en el aseguramiento de la calidad de procesos de software. Ofrecen servicios de pruebas especializados a lo largo del ciclo de vida de desarrollo y mantenimiento de aplicaciones para organizaciones de diversos sectores.	Se adaptan a la metodología del cliente, las cuales pueden ser tradicional o ágil. Dado su perfil como especialistas en pruebas, tienen la capacidad de adaptarse de manera efectiva al entorno de diversas organizaciones. Esto les permite aprovechar su amplia experiencia en el ciclo de vida de desarrollo de software y contribuir significativamente a la mejora de los procesos de sus clientes.	Tecnología	Mediana (251 empleados)

Tabla 6.1: Descripción de empresas participantes en la evaluación de madurez del proceso de pruebas.

Empresa	Descripción	Metodología de Desarrollo	Industria	Tamaño Empresa
ABC4	Compañía colombiana dedicada a la fabricación de productos farmacéuticos. Sus operaciones se basan en la aplicación de tecnología para el desarrollo, monitoreo y control de soluciones de alta calidad que aportan al bienestar y salud de las personas.	La empresa desarrolla bajo una metodología híbrida fusionando prácticas ágiles y prácticas tradicionales o en cascada. Optan por esta metodología para permitir la adaptación a cambios durante el proyecto, mientras que también utiliza ciertos aspectos de enfoques tradicionales para mantener el control y la planificación a largo plazo.	Farmacéutica	Grande (3541 empleados)

Tabla 6.1: Descripción de empresas participantes en la evaluación de madurez del proceso de pruebas.

Empresa	Descripción	Metodología de Desarrollo	Industria	Tamaño Empresa
ABC5	Su misión primordial se centra en la provisión de educación, donde la tecnología desempeña un papel fundamental para alcanzar sus objetivos. Para respaldar sus iniciativas, cuentan con un departamento especializado en tecnología encargado de satisfacer todas las necesidades tecnológicas inherentes a su misión.	La empresa no sigue una metodología de desarrollo específica. A pesar de los intentos por incorporar metodologías ágiles, el enfoque de desarrollo de software es predominantemente reactivo. Esto implica que la organización aborda las necesidades que surgen de manera diaria por parte de los usuarios finales. La empresa no dispone de profesionales especializados en pruebas. En consecuencia, la función de tester recae en el usuario final, quien se encarga de llevar a cabo pruebas de aceptación para verificar si el desarrollo entregado cumple con las especificaciones requeridas.	Educación	Grande (5815 empleados)

La selección de las empresas participantes se orientó hacia dos categorías clave. En primer lugar, empresas del sector tecnológico, reconocidas por su experiencia en el ámbito de la tecnología. Y por otro lado, empresas de otros sectores que, a pesar de no pertenecer directamente al campo tecnológico, tienen un enfoque destacado en la utilización de soluciones tecnológicas para alcanzar sus objetivos comerciales y estratégicos.

Este enfoque permitió trabajar con diferentes tipos de organizaciones, desde startups tecnológicas hasta empresas consolidadas en industrias tradicionales. El objetivo de trabajar con las empresas seleccionadas fue obtener una perspectiva amplia de las prácticas tecnológi-

cas y de negocios en diferentes sectores, enriqueciendo así el análisis y resultados finales.

6.2. Metodología de Aplicación

En el contexto de cada empresa participante, se identificaron y convocaron a profesionales que formaban parte de las áreas de desarrollo y/o pruebas de software. En aras de garantizar una representación diversa, se veló por la participación de al menos un líder de proceso, desarrollo o pruebas, dos ingenieros de desarrollo y/o pruebas.

Este enfoque se diseñó con el propósito de obtener información del conocimiento de los participantes sobre el proceso de pruebas en sus respectivas organizaciones. Al abordar el proceso desde diferentes roles, se permitió una evaluación significativa del nivel de divulgación y adopción del proceso de pruebas dentro de la organización. Además, esta perspectiva diversificada reveló las posibles deficiencias en el proceso desde distintos ángulos, permitiendo identificar áreas que requerían mejoras y abordarlas de manera más precisa.

La metodología de aplicación se implementó de la siguiente manera:

Paso 1: Selección de Participantes por Organización

Primero, se identificaron y seleccionaron profesionales dentro de cada organización que ocuparan los roles necesarios para realizar la evaluación. Posteriormente, se estableció contacto con ellos para determinar su interés y disponibilidad para participar. Este proceso de selección garantizó la representación adecuada de roles clave en cada organización. Sin embargo, este proceso de selección presentó algunos desafíos por los cuáles se tuvo que limitar el número de participantes por empresa a tres (3):

- **Dificultad para Obtener Participantes:** La obtención de la colaboración de los participantes por empresa representó un desafío significativo debido a las restricciones de tiempo y la disponibilidad limitada de los mismos. En muchos casos, los participantes tenían agendas ocupadas y compromisos laborales que dificultaban su participación activa en el proceso de evaluación para completarlo en el tiempo requerido. A pesar de estas dificultades, aquellos que se involucraron en el proceso aportaron valiosas perspectivas y contribuyeron de manera fundamental a la riqueza de los datos recopilados. Su compromiso y disposición para participar fueron elementos clave que permitieron llevar a cabo este trabajo a pesar de las limitaciones de tiempo y disponibilidad.
- **Calidad sobre Cantidad:** En este trabajo, se dio un énfasis significativo en la calidad de la información recopilada y en las percepciones de los participantes, priorizando este enfoque sobre la cantidad de participantes involucrados. Cada uno de los participantes desempeñó un papel crucial al evaluar 32 criterios relacionados con el proceso de pruebas

en sus respectivas empresas, valorando la profundidad de la información recopilada, lo que, en última instancia, enriqueció el análisis y contribuyó a una comprensión más sólida de la madurez del proceso de pruebas en cada empresa participante.

- **Posibilidad de Investigaciones Futuras:** Este trabajo sirve como punto de partida para trabajos futuros que amplíen la muestra o aborden otras empresas, lo que permitirá una visión más completa en el futuro.

Paso 2: Reunión Inicial con los Participantes de las Empresas

Se llevó a cabo una reunión inicial con los participantes que accedieron a colaborar evaluando el proceso de pruebas de la organización a la que pertenecen. Es importante mencionar que los participantes colaboraron en este trabajo de manera voluntaria sin requerir una autorización formal por parte de la empresa. Durante esta reunión, se presentó y explicó detalladamente el objetivo del proyecto de investigación, así como la naturaleza y el propósito del artefacto diseñado. Se alinearon las expectativas y objetivos del proceso de evaluación.

Paso 3: Entrega de la URL¹ de la Aplicación

A cada uno de los participantes se les proporcionó la URL del sitio web de la aplicación diseñada específicamente para la evaluación. Esta plataforma en línea facilitó el proceso de evaluación, permitiendo a los participantes acceder y completarla incluso desde un dispositivo móvil.

Paso 4: Realización de la Evaluación

Los participantes realizaron la evaluación utilizando la plataforma en línea. Esta evaluación se llevó a cabo siguiendo los parámetros y criterios establecidos previamente. Los participantes evaluaron la madurez del proceso de pruebas con base en los criterios propuestos en la herramienta EDTest en sus respectivas organizaciones.

Paso 5: Obtención de Resultados y Recomendaciones

Una vez finalizada la evaluación en línea, los participantes obtuvieron de manera instantánea los resultados de la evaluación a través de la aplicación EDTest. Además de los resultados, se proporcionaron recomendaciones de mejora a través de una hoja de ruta estructurada basada en los datos recopilados durante la evaluación. Estas recomendaciones se ofrecieron como un recurso valioso para guiar la toma de decisiones y las acciones futuras en busca de mejorar el proceso de madurez de pruebas en cada organización.

Esta metodología se diseñó con el objetivo de asegurar un proceso de evaluación claro y estructurado que proporcionara a las organizaciones participantes información útil para la mejora continua de sus prácticas de pruebas.

¹<https://www.edtest.co/>

6.3. Resultados

En esta sección se presentan los resultados de la aplicación del prototipo en 5 empresas donde se logró contar con la participación de 3 roles por cada una de ellas. Para comprender los resultados consolidados en la tabla 6.2, primero se deben considerar las definiciones de los niveles de madurez de acuerdo al modelo TMMI.

Nivel 1 - Inicial: En este nivel, las pruebas son un proceso caótico y no se gestionan de manera formal. La calidad del software depende principalmente de la habilidad individual y no de procesos estructurados. Las pruebas se realizan de manera ad hoc y la organización carece de una estrategia definida para la mejora de procesos de pruebas.

Nivel 2 - Gestionado: Las pruebas se gestionan de manera formal, con estrategias y planes definidos. A pesar de ello, algunas partes interesadas todavía ven las pruebas como una fase posterior a la codificación, lo que puede causar problemas de calidad. Para abordar esto, la organización se enfoca en verificar que el producto cumpla con los requisitos, pero las pruebas a menudo comienzan tarde en el ciclo de desarrollo, lo que puede propagar defectos.

Nivel 3 - Definido: Las pruebas están plenamente integradas en el ciclo de vida del desarrollo desde una etapa temprana, como la fase de requisitos, con un plan maestro de pruebas documentado. Las organizaciones establecen un conjunto de procesos de prueba estándar y un programa de capacitación en pruebas. Los diseños de pruebas se expanden para incluir aspectos no funcionales.

6.3.1. Análisis de los resultados obtenidos

En la Tabla 6.2 se presentan los resultados del nivel de madurez obtenidos para cada organización, detallando los resultados individuales de cada uno de los participantes por organización.

Tabla 6.2: Nivel de madurez obtenido para cada organización por usuario

Empresa	Líder (QA/Dev)	Desarrollador/QA 1	Desarrollador/QA 2
ABC1	77.67 % N2-Gestionado	78.74 % N2-Gestionado	72.50 % N2-Gestionado
ABC2	54.65 % N2-Gestionado	41.28 % N1-Inicial	24.50 % N1-Inicial
ABC3	100 % N2-Gestionado	97.72 % N2-Gestionado	53.87 % N2-Gestionado

Tabla 6.2: Nivel de madurez obtenido para cada organización por usuario

Empresa	Líder (QA/Dev)	Desarrollador/QA 1	Desarrollador/QA 2
ABC4	81.19 % N2-Gestionado	89.19 % N2-Gestionado	65.45 % N2-Gestionado
ABC5	38.86 % N1-Inicial	87.16 % N2-Gestionado	64.87 % N2-Gestionado

Antes de entrar a revisar los aspectos específicos a destacar de acuerdo a los resultados de las evaluaciones, se puede resaltar en general que ninguna de las empresas aún se encuentra en nivel de madurez 3-Definido, por lo que el prototipo resulta ser una herramienta útil para obtener la hoja de ruta a seguir para continuar trabajando hacia dicho nivel.

Basado en las evaluaciones de madurez realizadas por los diferentes participantes, se pueden destacar los siguientes aspectos para las empresas ABC1, ABC3, y ABC4:

- **Coherencia en las Evaluaciones de Madurez:**
Los resultados muestran una alta coherencia entre el Líder de QA, los Desarrolladores y el equipo de QA. Esta coherencia sugiere que la organización tiene una comprensión compartida y alineada de lo que constituye un nivel de madurez en las áreas evaluadas.
- **Comunicación Efectiva:**
La alta coherencia en las evaluaciones podría indicar una comunicación efectiva entre estos grupos. Todos están en la misma página en cuanto a sus perspectivas sobre cómo deberían funcionar los procesos de desarrollo y control de calidad.
- **Alto Nivel de Madurez en QA:**
Los resultados sugieren prácticas y procesos bien establecidos en el área de control de calidad. ABC1 y ABC4 se destaca por su sólido nivel 2 de madurez, lo que indica un enfoque proactivo en la calidad del software.
- **Enfoque en la Calidad:**
Estos resultados reflejan un enfoque proactivo en la calidad del software. La organización parece estar comprometida con la mejora continua y la entrega de software de alta calidad.
ABC1, ABC3 y ABC4 muestran coherencia en las evaluaciones de madurez entre los tres roles, lo que sugiere una comunicación efectiva y una comprensión compartida en sus organizaciones. Todas tienen un enfoque proactivo en la calidad del software y la mejora continua de los procesos, con un nivel de madurez sólido en las áreas evaluadas.

Por otro lado ABC2 y ABC5:

- **Falta de Consenso:**
Los resultados de las evaluaciones de madurez en estas empresas muestran discrepancias significativas entre el Líder de QA/Desarrollo, los Desarrolladores y/o el equipo de QA. Estas diferencias sugieren que podría haber una falta de consenso o comprensión compartida en la organización sobre lo que constituye un nivel de madurez en las áreas evaluadas.
- **Comunicación y Expectativas Divergentes:** Esta discrepancia en las evaluaciones podría indicar que estos grupos no están alineados en sus perspectivas sobre cómo deberían funcionar los procesos de desarrollo y control de calidad.
- **Posibles Áreas de Mejora Identificadas:**
Estas diferencias en las evaluaciones podrían señalar áreas específicas en las que estas empresas podrían mejorar, como la claridad en los roles y responsabilidades de cada grupo, la definición de estándares de calidad compartidos o la necesidad de establecer métricas y criterios de evaluación más claros y consensuados.
- **Necesidad de Coordinación y Diálogo:**
Para abordar estas diferencias, puede ser necesario mejorar la coordinación y el diálogo entre el Líder de QA/Desarrollo, los Desarrolladores y/o el equipo de QA. Establecer un canal de comunicación efectivo y fomentar la colaboración puede ayudar a alinear las perspectivas y objetivos de estos grupos.
- **Evaluación Detallada para Identificar Factores Subyacentes:**
Es importante realizar una evaluación más detallada y específica en cada área evaluada para identificar los factores subyacentes que contribuyen a las diferencias en las evaluaciones. Esto permitirá abordar los desafíos específicos y trabajar hacia una mayor coherencia en términos de madurez en el desarrollo y control de calidad.

Se propuso a los participantes por cada empresa que compartan sus resultados para que aborden estas diferencias obtenidas en las evaluaciones de madurez para alinear las expectativas. Estas empresas deben promover la revisión y/o definición de procesos y estándares para lograr una mayor coherencia y eficacia en su enfoque hacia la madurez en el desarrollo y control de calidad.

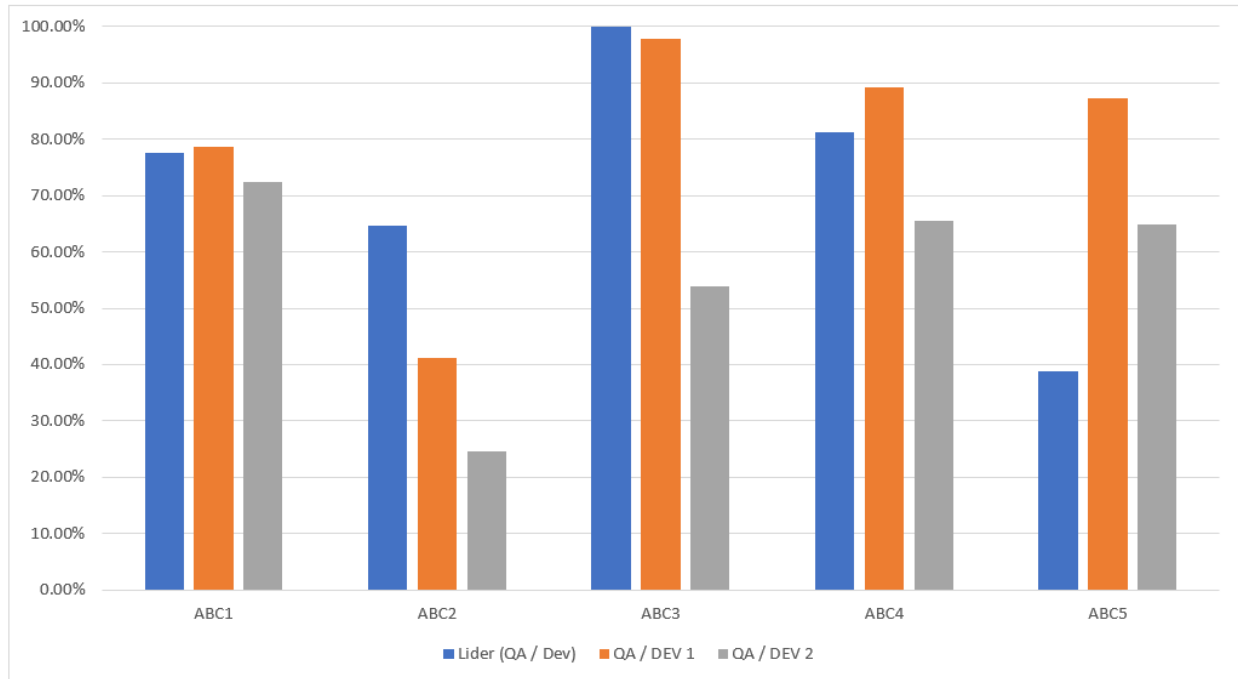


Figura 6.1: Nivel de madurez obtenido por empresa y tipo de usuario

En el gráfico 6.1 se presentan el porcentaje obtenido por cada rol para cada organización. En este gráfico podemos notar las diferencias en los resultados obtenidos dentro de cada organización, siendo ABC1 el de resultados más consistentes, mientras que ABC2 y ABC5 con resultados más variados que conllevan a las conclusiones presentadas anteriormente. En el gráfico los resultados con un porcentaje por debajo del 50 % corresponden al Nivel de Madurez 1 (Inicial). Mientras que los resultados iguales o superiores al 50 % corresponden al Nivel de Madurez 2 (Gestionado).

La empresa ABC1, que adopta metodologías ágiles y afirma haber incorporado de manera efectiva el ciclo de pruebas en su ciclo de desarrollo, presenta resultados coherentes. La organización posee un conocimiento sólido de las prácticas necesarias para llevar a cabo un proceso de pruebas efectivo dentro de la empresa. Además, es consciente de que existen áreas de mejora y está en proceso de implementar prácticas destinadas a mejorar significativamente el proceso.

En contraste, los resultados obtenidos por la empresa AB5 no son consistentes con la descripción de su metodología de trabajo. Dado que esta organización opera de manera reactiva, no sigue una metodología de desarrollo y carece de un equipo especializado en pruebas, se podría anticipar que los resultados se sitúen por debajo del 50 %. Esto se debe a la ausencia de implementación de políticas, estrategias de pruebas, pruebas no funcionales, automatización, revisiones, entre otros elementos clave. La necesidad de una revisión exhaustiva del proceso y

la falta de conocimiento en las prácticas de pruebas son evidentes y tienen un impacto notable en los resultados obtenidos.

6.3.2. Análisis de los resultados empresa ABC2

En esta sección, se presenta el análisis de los resultados obtenidos en la evaluación de la madurez del proceso de pruebas en la empresa ABC2, dentro de la cual fue posible contar con cuatro(4) participantes, dos líderes, un desarrollador y un ingeniero de pruebas.

En la imagen 6.2 se ven las diferencia entre el resultado del ingeniero de pruebas y los demás participantes. Se destaca que cada uno de ellos aporta una perspectiva única basada en sus responsabilidades y en su interacción diaria con los procesos de pruebas. En particular, el ingeniero de QA, con su conocimiento y experiencia en el ámbito de calidad y pruebas de software, ha identificado áreas específicas de proceso que considera que aún no se están gestionando adecuadamente. Su percepción se enfoca en aspectos críticos, como la política y estrategia de pruebas, el monitoreo y control de pruebas, la disponibilidad de ambientes de prueba, la integración del ciclo de proceso de pruebas y la atención a las pruebas no funcionales.

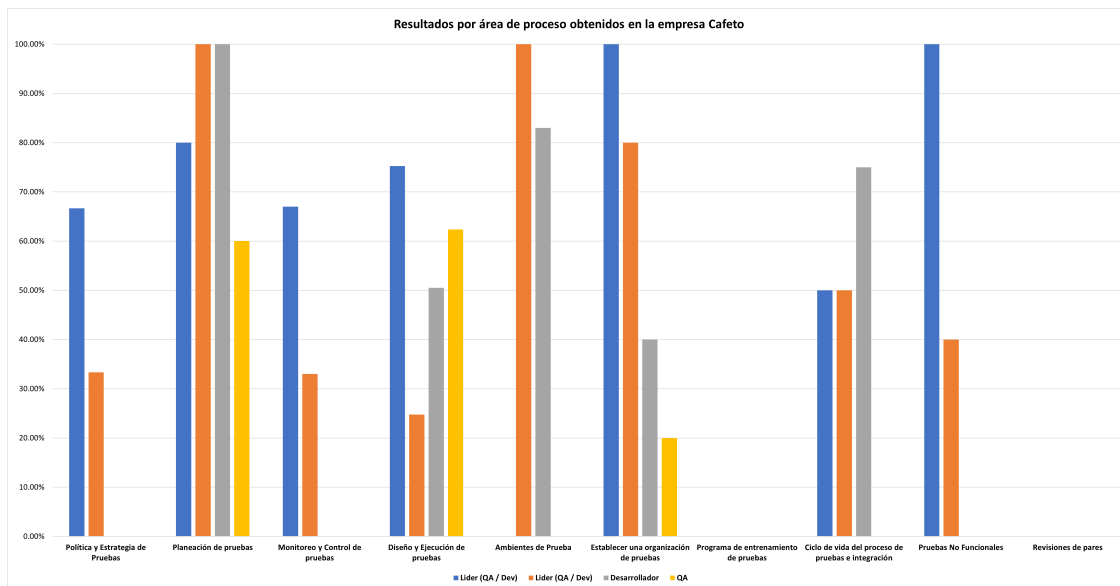


Figura 6.2: Resultados por área de proceso empresa ABC2

Esta divergencia de opiniones dentro del equipo de evaluación no debe verse como un conflicto, sino más bien un reflejo de la diversidad de perspectivas y experiencias que existen en la organización. Cada usuario aporta una visión valiosa, y las diferencias de opinión brindan una oportunidad para explorar y abordar las mejoras en las que pueden trabajar de manera

conjunta. En este caso en particular se logró identificar cuáles son las problemáticas por las cuáles hay una diferencia importante entre las evaluaciones:

1. Políticas y Estrategia de Pruebas:
 - Falta de una política de pruebas formalmente documentada y comunicada que establezca los estándares y procedimientos para las pruebas en toda la organización.
 - Ausencia de una estrategia de pruebas clara que defina los objetivos, el alcance y los recursos necesarios para las pruebas en proyectos específicos.
2. Monitoreo y Control de Pruebas: Dificultades para identificar y abordar proactivamente los problemas y desviaciones en el proceso de pruebas.
3. Ambientes de Prueba: Disponibilidad inconsistente o inexistente de entornos de prueba que reflejen con precisión el entorno de producción.
4. Ciclo del Proceso de Pruebas e Integración:
 - Falta de integración efectiva de las pruebas en el ciclo de vida del desarrollo, lo que lleva a la identificación tardía de problemas.
 - Limitaciones en la comunicación y colaboración entre los equipos de desarrollo y pruebas durante todo el ciclo.
5. Pruebas No Funcionales:
 - Poca atención a las pruebas de aspectos no funcionales, como rendimiento y seguridad.
 - Ausencia de una estrategia estructurada para evaluar y mejorar la calidad no funcional del software.

Este es el proceso de revisión y análisis que pueden realizar en cada empresa con los resultados obtenidos a través del artefacto de evaluación de la madurez del proceso de pruebas.

6.3.3. Evaluación de los Usuarios Sobre el Prototipo

6.3.3.1. Diseño de la Encuesta

Con el propósito de evaluar la percepción de los usuarios en relación con el prototipo, se diseñó una encuesta que se realizó a un grupo de profesionales que participaron en el proceso de evaluación de la madurez del proceso de pruebas en sus organizaciones. Si bien, incluimos 6 empresas en las secciones anteriores, en total 36 personas utilizaron el artefacto implementado en el presente proyecto.

En cuanto al diseño de la encuesta, se le otorgó una especial atención a dos aspectos fundamentales: Brevedad y claridad. Se priorizó la brevedad para asegurar que la encuesta fuera realizada por los participantes, permitiendo así una participación efectiva y una recopilación

de datos más eficiente. Además, se puso énfasis en la claridad de las preguntas, garantizando que fueran formuladas de manera directa y comprensible. Cada pregunta se diseñó para abordar aspectos cruciales relacionados con la facilidad de uso, la utilidad de la hoja de ruta, la viabilidad de su implementación, así como los beneficios esperados de seguir las recomendaciones de dicha hoja de ruta. Este enfoque de las preguntas aseguró que los participantes pudieran expresar sus opiniones y percepciones de manera efectiva y significativa.

La encuesta y sus respectivas respuestas pueden ser consultadas en el Apéndice C: Encuesta De Percepción Respecto al Uso Artefacto.

6.3.3.2. Resultados de la Encuesta

En esta sección, se expondrán los resultados derivados de la encuesta diseñada y aplicada, como se detalló en 6.3.3.1. El propósito es proporcionar una visión de las percepciones de los usuarios con respecto a la utilidad del prototipo. Para lograrlo, se emplearán gráficos que ofrecerán una representación visual de los porcentajes correspondientes a las respuestas obtenidas de cada pregunta formulada. Estos resultados son importantes para la comprensión de la perspectiva de los usuarios respecto del artefacto, y desempeñarán un papel crucial en las conclusiones y recomendaciones finales de este proyecto de investigación.

La encuesta fue completada por un total de 36 usuarios que utilizaron el artefacto para evaluar el nivel de madurez de pruebas en sus respectivas organizaciones. A continuación, se presentan los resultados obtenidos a la fecha de captura de los datos para cada una de las preguntas incluidas en la encuesta.

En caso de ser requeridos, los resultados de la encuesta realizada pueden ser revisados [aquí](#).

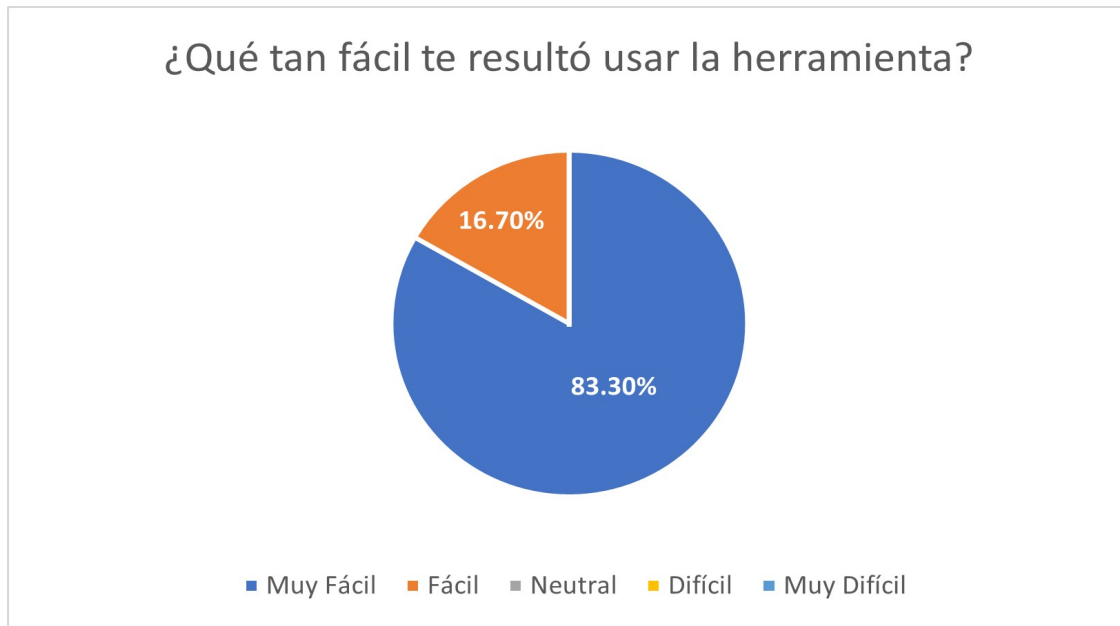


Figura 6.3: Respuestas obtenidas a la pregunta: ¿Qué tan fácil te resultó usar la herramienta?

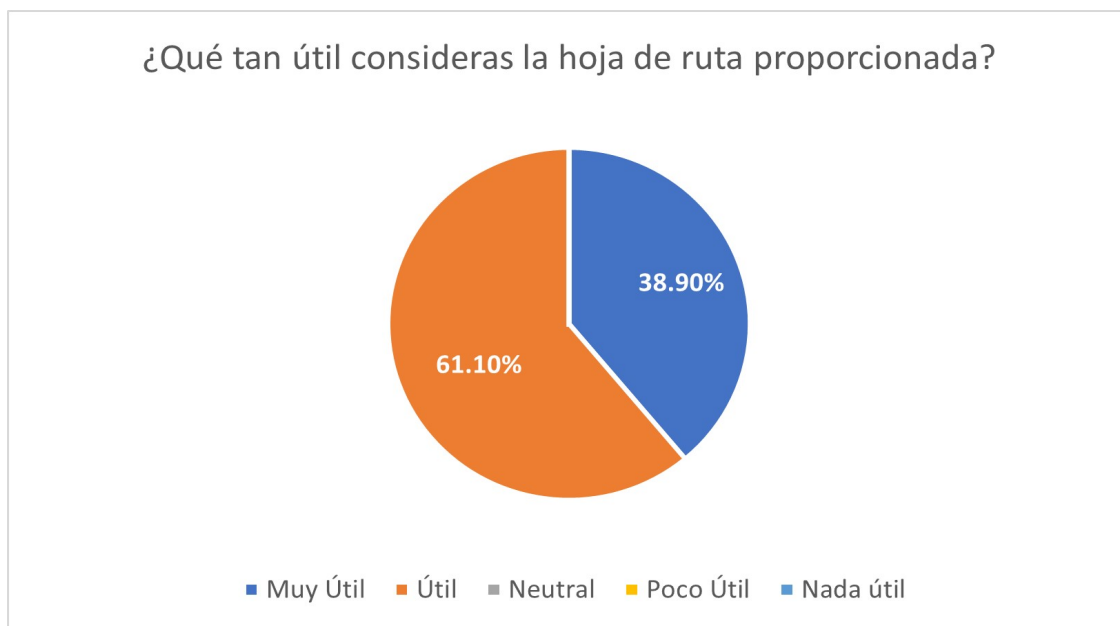


Figura 6.4: Respuestas obtenidas a la pregunta: ¿Qué tan útil consideras la hoja de ruta proporcionada?

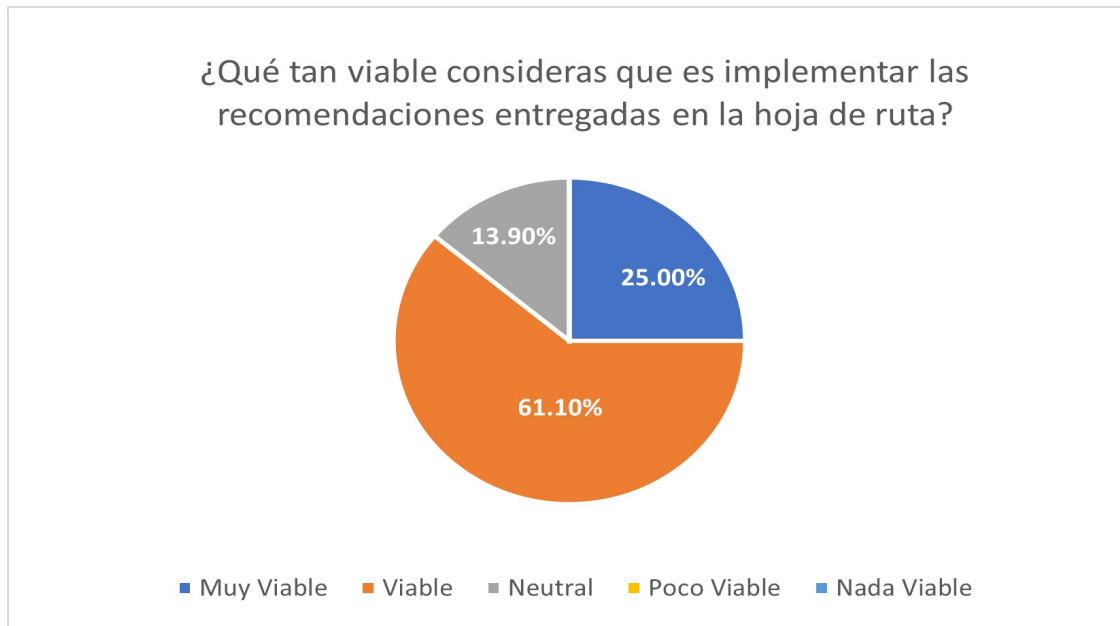


Figura 6.5: Respuestas obtenidas a la pregunta: ¿Qué tan viable consideras que es implementar las recomendaciones entregadas en la hoja de ruta?

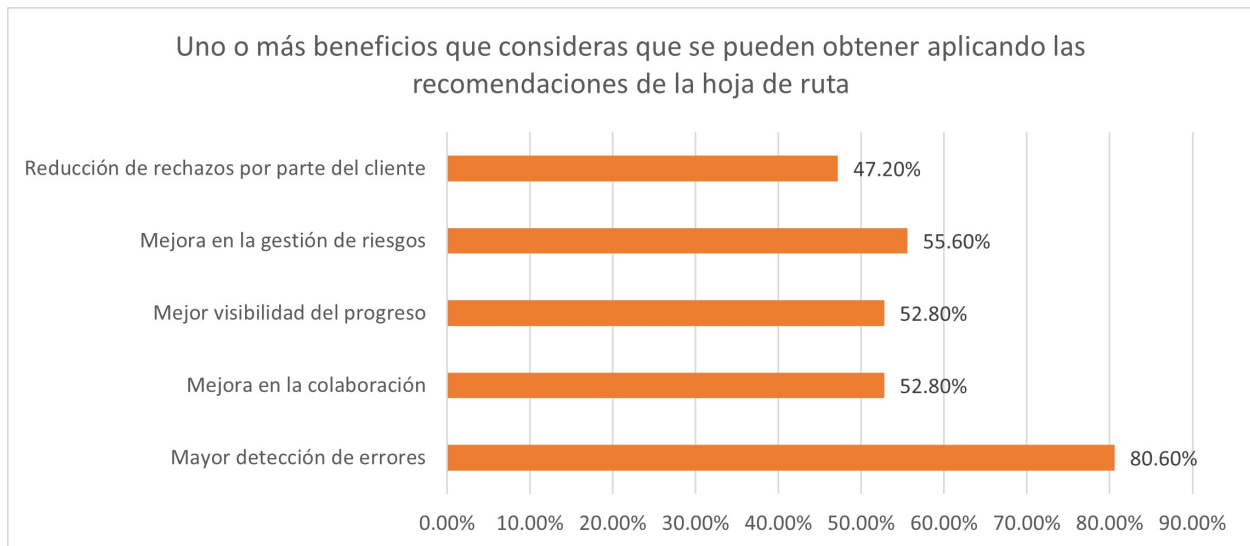


Figura 6.6: Respuestas obtenidas a la pregunta: beneficios que consideras que se pueden obtener aplicando las recomendaciones de la hoja de ruta.

Los resultados obtenidos reflejan la percepción de los profesionales encuestados en relación con el artefacto. Un notable 83% de los participantes considera que la herramienta es alta-

mente accesible y de fácil utilización, mientras que un significativo 61 % valora positivamente la utilidad de la hoja de ruta proporcionada. Destaca además que un 38.90 % de los encuestados califica la hoja de ruta como muy útil.

No obstante, en lo concerniente a la implementación de las recomendaciones de la hoja de ruta, un 13.90 % de los participantes expresan preocupaciones o incertidumbres sobre su ejecución. Este porcentaje señala la necesidad de una exploración más detallada para comprender las inquietudes específicas relacionadas con la implementación de mejoras.

Uno de los beneficios más destacados señalados por los usuarios con respecto a la aplicación de las recomendaciones de la hoja de ruta es su capacidad para mejorar la detección de errores, lo que subraya su importancia en el contexto del proceso de pruebas.

Respecto a las sugerencias de mejora generadas por los usuarios, es importante destacar algunas de las principales recomendaciones recibidas:

- Escala de Evaluación:
“Tener una escala entre 1 y 10 hubiera sido mejor para algunas preguntas, ya que las respuestas no son siempre blanco y negro. Muchas veces las iniciativas son implementadas parcialmente o se han ejecutado, pero no se han transmitido claramente”. “Quizás tener más opciones de respuestas además de 'Sí' y 'No' sería beneficioso”.
- Exploración de SRE:
“Habría sido de mi interés explorar más a fondo la disciplina conocida como SRE (Site Reliability Engineering) y su influencia en los procedimientos de QA. Me parece particularmente fascinante su enfoque en aspectos más allá de las pruebas funcionales, tales como las pruebas de caos, pruebas de resistencia y simulaciones de fallos”.
- Evaluación en Equipos Ágiles:
“En general, la herramienta me parece de gran ayuda para iniciar un proceso de mejora. Sobre la evaluación, sería bueno revisar algunas preguntas dado que el enfoque en equipos ágiles es un poco diferente. Por ejemplo, es posible que no tengamos un plan de pruebas, pero sí se realiza el monitoreo del progreso de las tareas en cada sprint por medio de Jira”.

Conclusiones

En este capítulo, se consolidan las conclusiones, los hallazgos clave de este trabajo de grado y se reflexiona sobre sus implicaciones. También se resaltan las lecciones aprendidas en el proceso y se ofrecen las recomendaciones para futuros trabajos en este mismo campo.

7.1. Conclusiones

1. El propósito de esta investigación fue desarrollar un artefacto que permita a las organizaciones llevar a cabo una autoevaluación de su proceso de pruebas para conocer su nivel de madurez, basado en el modelo TMMI.

El estudio del modelo TMMI permitió la generación de un conjunto de 32 criterios de evaluación para determinar el nivel de madurez del proceso de pruebas. Este artefacto ofrece a las organizaciones una aproximación de las áreas de proceso en las que deben mejorar. Al tomar como referencia el modelo TMMI, que incorpora prácticas de la industria de pruebas de software, se garantiza que las organizaciones, al realizar la autoevaluación, identifiquen prácticas que pueden adaptar e implementar para mejorar su proceso.

2. Mediante un análisis exhaustivo de las prácticas del modelo, se logró desarrollar un conjunto de acciones y recomendaciones que se presentaron como parte de la hoja de ruta proporcionada a cada participante que completó la evaluación. El 61.10 % de los 37 participantes encontró que la hoja de ruta resultó útil, y un 61.10 %, consideró viable la implementación de las acciones y recomendaciones entregadas. Cada una de estas acciones se puede adaptar a las necesidades y desafíos específicos de las organizaciones evaluadas, proporcionando un camino claro para mejorar la madurez del proceso de pruebas. En última instancia, la capacidad de una organización para avanzar de manera efectiva en el modelo de madurez de pruebas TMMI no solo se basa en la identificación de áreas de mejora, sino también en la determinación y el compromiso para implementar las acciones definidas. Estas recomendaciones no solo representan un logro significativo en el marco de este trabajo, sino que también ofrecen un valor práctico y aplicable para las organizaciones interesadas en elevar su nivel de madurez en el proceso de pruebas. Las acciones definidas en esta investigación sirven como punto de partida y guía inicial para las organizaciones, pero la adaptación constante y la revisión periódica son esenciales para mantener y mejorar la madurez con el tiempo.

3. El desarrollo de una aplicación web proporcionó a la organización la capacidad de realizar la autoevaluación y acceder en línea a los resultados. Esto permitió a la organización consultar los resultados de su autoevaluación del proceso de pruebas y la hoja de ruta con las recomendaciones de mejora de manera conveniente y en cualquier momento que sea necesario.
4. Esta primera aproximación ha recibido una respuesta positiva por parte del grupo de 37 usuarios que realizaron la evaluación en nombre de sus respectivas organizaciones, el 83 % de ellos encontró la herramienta muy fácil de usar. Los usuarios han confirmado que los resultados reflejan el estado actual de sus procesos, y que la hoja de ruta con las recomendaciones incluye prácticas que pueden elevar sus procesos de pruebas al siguiente nivel. Se subraya la importancia de extender el artefacto diseñado a más usuarios para lograr obtener un conjunto más enriquecido de opciones de mejora.

7.2. Lecciones Aprendidas

Complejidad del Modelo TMMI: La aplicación de este proyecto, que tomó como referencia el modelo de madurez TMMI, presentó desafíos sustanciales debido a la amplitud de áreas de proceso, prácticas y subprácticas que componen el modelo en cada nivel de madurez. Durante la implementación, se hizo evidente la necesidad de llevar a cabo un estudio exhaustivo del modelo para identificar las mejores prácticas aplicables a los niveles 2 y 3 del modelo, específicamente relacionadas con la mejora de procesos de pruebas y en este sentido lograr establecer los criterios de evaluación.

La tarea de establecer relaciones entre diversas prácticas dentro del modelo, así como de comprender en profundidad el enfoque de evaluación propuesto por TMMI, se reveló como un proceso complejo y desafiante. A medida que avanzaba el proyecto, se hizo evidente la importancia de abordar el modelo de manera incremental.

Resistencia al Cambio: Introducir un modelo de mejora y procesos en una organización puede enfrentar resistencia por parte de los profesionales. Convencer a los miembros del equipo de la importancia de la mejora de la madurez de pruebas puede ser un desafío.

Adaptación al Contexto: Cada organización tiene sus propias necesidades y desafíos únicos en cuanto a pruebas de software. Alinear un modelo de mejora con el contexto específico de una organización puede ser un desafío, ya que no existe una solución única para todos. Debido a esta razón, definir los criterios para realizar la evaluación fue un proceso complejo y se determinó enfocarlos en las metodologías ágiles específicamente considerando que son ampliamente utilizadas.

Selección Estratégica de Tecnologías: Para cumplir con los plazos y gestionar los recursos de manera eficiente, se eligió utilizar tecnologías conocidas y ampliamente disponibles. Esto permitió un desarrollo más rápido y una menor curva de aprendizaje.

7.3. Trabajos Futuros

El presente proyecto ha surgido con el propósito de evaluar y proponer una nueva alternativa que permita a una organización realizar una autoevaluación del nivel de madurez de sus procesos de pruebas de software de manera independiente. A lo largo de esta investigación, se ha buscado explorar una alternativa tomando como referencia el modelo TMMI (Test Maturity Model Integration). A partir de este primer acercamiento, han surgido diversas opciones de mejora y líneas de trabajo futuro que merecen consideración.

1. En el presente trabajo, se ha desarrollado una hoja de ruta que incluye prácticas destinadas a mejorar el proceso de pruebas en una organización. Como trabajo futuro, se plantea la implementación de esta hoja de ruta en diversas organizaciones con el propósito de evaluar su efectividad y determinar si se requieren mejoras adicionales.
2. La evaluación presenta a los usuarios dos opciones para responder a las preguntas de la evaluación, es decir, “sí” o “no”. En muchos casos, los participantes se han enfrentado a situaciones en las que estas respuestas binarias no reflejaban de manera precisa la realidad. En este sentido, se sugiere la consideración de la implementación de una escala de calificación, por ejemplo, de 1 a 10, que podría proporcionar una representación más precisa del estado actual de las actividades relacionadas con los procesos de pruebas de software.
3. Con el propósito de proporcionar a los usuarios una alternativa más efectiva para llevar a cabo evaluaciones de este tipo, se considera que la implementación de la gamificación se presenta como una estrategia prometedora. Bajo esta perspectiva, los usuarios tendrían la oportunidad de interactuar de manera dinámica y atractiva con las áreas de proceso que requieren mejoras y las actividades de mejora asociadas. La introducción de elementos de gamificación en el proceso de evaluación permitiría fomentar una participación activa y motivada por parte de los usuarios. A través de la gamificación, se podrían incorporar elementos lúdicos, tales como desafíos, recompensas, y competencias, que no solo harían que el proceso de evaluación sea más atractivo, sino que también proporcionarían un incentivo adicional para identificar áreas de mejora y participar en actividades de mejora de manera más efectiva.
4. Mejorar el prototipo actual para ofrecer a los usuarios una funcionalidad que les permita un seguimiento de la implementación de la hoja de ruta. Este seguimiento incluiría la capacidad de marcar las mejoras ya implementadas, identificar aquellas que están

pendientes, registrar los avances realizados, asignar responsabilidades específicas para la implementación y facilitar el análisis del proceso de mejora.

Estas sugerencias representan áreas clave de desarrollo futuro que pueden contribuir significativamente a la mejora y la efectividad de la autoevaluación de la madurez de procesos en organizaciones de desarrollo de software.

Modelo *IDEAL*

El modelo *IDEAL* fue desarrollado por el *Software Engineering Institute (SEI)* de la Universidad *Carnegie Mellon*. *Software Engineering Institute (2001)* indica que es un “modelo de mejora organizacional que sirve como hoja de ruta para iniciar, planificar e implementar acciones de mejora. El modelo *IDEAL* recibe su nombre de las cinco fases que describe: *initiating, diagnosing, establishing, acting, and learning*”. Por su parte, *Karahodza et al. (2022)* indica que *IDEAL* “proporciona un enfoque para la mejora continua al resaltar los pasos necesarios para establecer un programa de mejora. Siguiendo las fases, actividades y principios de *IDEAL*, el modelo proporciona una forma disciplinada de enfoque ingenieril para la mejora”. Cada fase del modelo está compuesta por diversas actividades que contribuyen a establecer un programa de mejora exitoso. La Figura A.1 ilustra el ciclo del modelo, en el cual se detallan las actividades específicas que conforman cada fase.

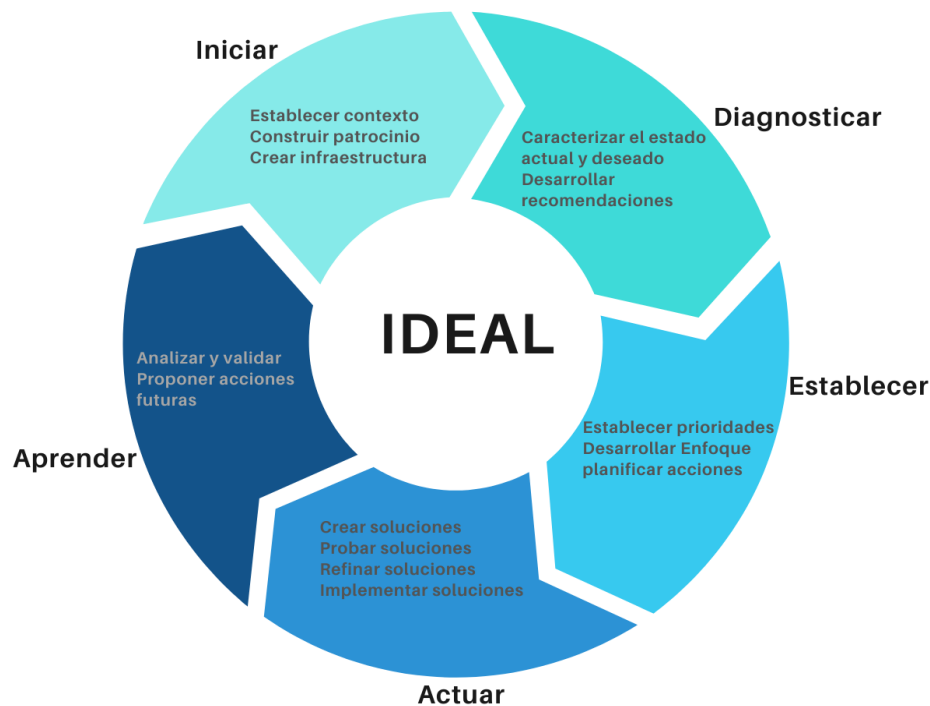


Figura A.1: Modelo *IDEAL*

La tabla A.1 proporciona una descripción de cada una de las fases que componen el ciclo del modelo *IDEAL*. En ella se explican los objetivos a alto nivel de cada fase, brindando una visión general de su importancia en el proceso de mejora.

Fase	Descripción
Iniciar	Se realiza la definición de objetivos alineados con los objetivos organizacionales y los resultados que se esperan al implementar los cambios. Se deben establecer los compromisos de las partes involucradas y determinar la infraestructura requerida para llevar a cabo las mejoras de manera efectiva.
Diagnosticar	Se realiza diagnóstico del estado actual de los procesos, identificando las áreas que requieren mejora. La evaluación del estado actual se puede realizar a través del uso de estándares de referencia. El objetivo de esta fase es determinar claramente el estado deseado.
Establecer	Se planifica y definen las estrategias para implementar las mejoras identificadas en la fase de diagnóstico. Se asignan los recursos necesarios, se establecen los roles y responsabilidades, y se crea un marco de trabajo para llevar a cabo las acciones de mejora de acuerdo con la priorización establecida.
Actuar	Se implementan las mejoras planificadas en la fase anterior. Se monitorean los resultados y se realizan ajustes según sea necesario. Finalmente, se implementa la solución en toda la organización.
Aprender	Se analizan los resultados obtenidos y se compara con los resultados esperados. Se evalúa el impacto de las mejoras y se identifican lecciones aprendidas. Esta fase permite obtener retroalimentación del proceso y la identificación de nuevas oportunidades de mejora.

Tabla A.1: Fases Modelo *IDEAL*.

El modelo se destaca por ofrecer un enfoque estructurado y disciplinado para la implementación de mejoras en diversos procesos. Permite la aplicación de buenas prácticas, la definición de objetivos claros alineados con los objetivos del negocio y la obtención de retroalimentación para refinar las soluciones. *IDEAL* busca asegurar que los esfuerzos de mejora estén enfocados en los resultados deseados por la organización.

Recursos de Apoyo a la implementación de prácticas

Como parte de la hoja de ruta, se han desarrollado recursos diseñados para respaldar la implementación de las prácticas propuestas destinadas a mejorar el proceso de pruebas de software. Estos recursos representan una contribución para alcanzar los objetivos trazados por la organización. En las tablas B.1 y B.2 se listan los recursos elaborados como propuesta de mejora para los niveles 2 y 3 de madurez.

Tabla B.1: Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 2 de madurez

Área de Proceso	Criterio	Objetivo	Recurso desarrollado	Link para Consultar Recurso
Política y Estrategia de Pruebas	La política de pruebas de la organización ha sido desarrollada, comunicada e implementada.	Establecer una política de pruebas.	Se creó una plantilla que incluye todos los elementos esenciales para la formulación de una Política de Pruebas dentro de la organización.	Plantilla Política de Pruebas
	La estrategia de pruebas de la organización ha sido desarrollada, comunicada y aplicada.	Establecer una estrategia de pruebas.	Los componentes esenciales para la elaboración de una estrategia de pruebas se encuentran detallados en el apartado 9 de la Plantilla del Plan de Pruebas.	Plantilla Plan de Pruebas

Tabla B.1: Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 2 de madurez

Área de Proceso	Criterio	Objetivo	Recurso desarrollado	Link para Consultar Recurso
	Los riesgos son identificados, evaluados y gestionados.	Realizar una evaluación de riesgos del producto.	La Guía de Evaluación de Riesgos fue desarrollada para facilitar la identificación, evaluación y gestión de los riesgos que pueden materializarse en el proceso de pruebas dentro de la organización.	Guía de Evaluación de Riesgos
Planeación de pruebas	El plan de pruebas es establecido, comunicado e implementado en el proyecto.	Establecer un enfoque de pruebas. Desarrollar un plan de pruebas.	Se ha diseñado una plantilla que engloba todos los elementos esenciales, acompañados de sus respectivas explicaciones, con el propósito de establecer un sólido plan de pruebas.	Plantilla Plan de Pruebas
Monitoreo y Control de pruebas	El avance de las tareas de pruebas es monitoreado utilizando mecanismos que permiten dar visibilidad a todo el equipo del progreso y bloqueos.	Monitorear el progreso de pruebas contra el plan.	Se han elaborado dos guías: la primera guía establece un conjunto de criterios que posibilitan la evaluación de si una tarea se encuentra lista para su ejecución. La segunda guía proporciona los criterios para determinar que una tarea ha sido satisfactoriamente completada.	Guía Definición de Listo Guía Definición de Done

Tabla B.1: Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 2 de madurez

Área de Proceso	Criterio	Objetivo	Recurso desarrollado	Link para Consultar Recurso
	Las mejoras para el producto son identificadas y gestionadas.	Supervisar la calidad del producto frente al plan y las expectativas. Gestionar acciones correctivas hasta el cierre.	La guía para realizar demostraciones ofrece orientación sobre cómo llevar a cabo una presentación del producto, durante la cual es posible identificar oportunidades de mejora de la mano del cliente.	Guía para Realizar Demostraciones
Diseño y Ejecución de pruebas	Las historias de usuario son claras y completas: incluyen los criterios de aceptación a partir de los cuales se pueden diseñar los casos de prueba.	Realizar análisis y diseño de pruebas utilizando técnicas de diseño de pruebas.	Se han desarrollado dos herramientas que mejoran la eficacia en la creación de historias de usuario. La primera herramienta es la "Guía del método INVEST para historias de usuario", donde encontrará orientación sobre cómo aplicar el método INVEST para el desarrollo de historias de usuario.	Guía Método INVEST
	Los elementos necesarios para la ejecución de las pruebas son preparados: Scripts para las pruebas automatizadas y datos.	Realizar implementación de pruebas	Se han elaborado guías destinadas al control de ambientes y datos de pruebas, con el propósito de proporcionarle las herramientas necesarias para llevar a cabo una gestión efectiva de estos recursos.	Guía De Gestión de Ambientes de Prueba Guía De Gestión de Datos de Prueba

Tabla B.1: Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 2 de madurez

Área de Proceso	Criterio	Objetivo	Recurso desarrollado	Link para Consultar Recurso
	Se ha establecido un flujo de trabajo automatizado que permite la integración regular de las modificaciones en el código fuente y la ejecución automatizada de las pruebas de regresión.	Realizar la ejecución de las pruebas.	La estrategia de automatización de pruebas le proporcionará a la organización la estructura para definir cómo se ejecutan las actividades de automatización de pruebas.	Estrategia de Automatización de Pruebas
	Los errores identificados durante las pruebas son priorizados y corregidos.	Gestionar incidentes de prueba hasta el cierre.	Se ha desarrollado una guía con el objetivo de orientar a la organización en el seguimiento, priorización y corrección de defectos.	Guía Gestión De Defectos
Ambientes de Prueba	La especificación de los requerimientos de ambiente y datos para la ejecución de prueba se realiza al inicio del proyecto.	Desarrollar los requisitos del entorno de pruebas.	Se han creado dos plantillas con el propósito de enumerar los requisitos relacionados con el ambiente y los datos de prueba, facilitando su gestión antes del inicio de las pruebas.	Plantilla Requisitos de Ambientes de Pruebas Plantilla Requisitos de Datos de Pruebas
	Los ambientes y datos de prueba cuentan con gestión de la configuración.	Gestión y control de entornos de prueba.	Dentro de las guías desarrolladas, la organización encontrará un conjunto de acciones específicas diseñadas para establecer un flujo de gestión altamente efectivo de los ambientes y los datos de prueba necesarios.	Guía De Gestión de Ambientes de Prueba Guía De Gestión de Datos de Prueba

Tabla B.2: Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 3 de madurez

Área de Proceso	Criterio	Objetivo	Recurso desarrollado	Link para Consultar Recurso
Establecer una organización de pruebas	La organización cuenta con un comité de pruebas encargado de identificar, planificar e implementar mejoras en el proceso de pruebas.	Establecer una organización de Pruebas.	La guía desarrollada contiene las prácticas de pruebas que la organización debe seguir. Esta guía permitirá identificar aspectos del proceso que aún no se han implementado y determinar áreas que podrían mejorarse.	Guía De Prácticas de Pruebas Organizacionales
Programa de entrenamiento de pruebas	Un programa de entrenamiento en pruebas alineado a las necesidades específicas de la organización ha sido establecido.	Establecer a nivel organizacional una capacidad de entrenamiento en pruebas.	La guía para establecer un programa de entrenamiento proporciona la información sobre los elementos necesarios para implementar el plan de capacitación dentro de la organización.	Guía Para Establecer Un Programa de Entrenamiento
Ciclo de vida del proceso de pruebas e integración	Un estándar para la gestión de ambientes de trabajo ha sido establecido.	Establecer los activos del proceso de pruebas de la organización.	Las guías de gestión de ambientes y datos de pruebas le permitirán establecer un estándar para la gestión adecuada de estos aspectos en una organización.	Guía De Gestión de Ambientes de Prueba Guía De Gestión de Datos de Prueba
	El ciclo de vida de pruebas se encuentra definido e integrado al ciclo de desarrollo de software de la organización.	Integrar los modelos de ciclo de vida de pruebas con los de desarrollo.	En el recurso proceso de pruebas y desarrollo integrado podrá encontrar un ejemplo de cómo el proceso de pruebas está integrado con el proceso de desarrollo desde que comienza el proyecto.	Guía Proceso de Pruebas y Desarrollo Integrado

Tabla B.2: Recursos desarrollados para alcanzar objetivos del nivel 3 de madurez

Área de Proceso	Criterio	Objetivo	Recurso desarrollado	Link para Consultar Recurso
Pruebas No Funcionales	La evaluación de riesgos no funcionales del producto se realiza al inicio del proyecto.	Desarrollar una evaluación de los riesgos no funcionales del producto.	La guía de evaluación de Riesgos permite identificar como evaluar riesgos no funcionales del producto.	Guía De Evaluación De Riesgos
	Las características no funcionales a probar son identificadas y priorizadas.	Establecer un enfoque de pruebas no funcionales.	En las guía historias de usuario no funcionales se encuentra la información necesaria para definir los requisitos no funcionales a probar, y como deben ser priorizados y gestionados.	Guía de Historias De Usuario No Funcionales

Encuesta De Percepción Respecto al Uso Del Artefacto

Con el objetivo de conocer la percepción de los usuarios respecto al artefacto desarrollado se diseñó una encuesta que fue realizada por cada uno de los usuarios del artefacto. A continuación, se detallan las preguntas formuladas y las opciones de respuesta para cada pregunta incluidas en la encuesta:

1. Pregunta: ¿Qué tan fácil te resultó usar la herramienta?

Tipo de respuesta: Opción múltiple con única respuesta.

Opciones de respuesta:

- Muy fácil: La herramienta fue intuitiva y no tuve ningún problema para usarla desde el principio.
- Fácil: En general, encontré la herramienta fácil de usar, aunque hubo algunos aspectos que requirieron un poco de exploración.
- Neutral: La herramienta tenía una curva de aprendizaje moderada; llevó algo de tiempo acostumbrarme a ella.
- Difícil: Encontré que la herramienta era un poco complicada de usar y requería un esfuerzo adicional para entender su funcionamiento.
- Muy difícil: La herramienta resultó ser muy difícil de usar, y tuve dificultades significativas para lograr lo que quería hacer.

2. Pregunta: ¿Qué tan útil consideras la hoja de ruta proporcionada?

Tipo de respuesta: Opción múltiple con única respuesta.

Opciones de respuesta:

- Muy útil: La hoja de ruta fue extremadamente clara y me brindó una guía sólida para avanzar en la mejora del proceso de pruebas.
- Útil: En general, encontré la hoja de ruta útil y me ayudó a comprender los pasos necesarios para avanzar hacia la mejora del proceso de pruebas.
- Neutral: La hoja de ruta tenía información útil, pero algunas partes eran un poco confusas o incompletas.
- Poco útil: No encontré mucha utilidad en la hoja de ruta, ya que no proporcionaba la orientación que esperaba.

- Nada útil: La hoja de ruta carecía de información relevante y no contribuye en absoluto a la mejora del proceso de pruebas.

3. Pregunta: ¿Qué tan viable consideras que es implementar las recomendaciones entregadas en la hoja de ruta?

Tipo de respuesta: Opción múltiple con única respuesta.

Opciones de respuesta:

- Muy viable: Las recomendaciones son realistas y parece que se pueden implementar sin dificultades significativas.
- Viable: En general, considero que las recomendaciones son factibles de implementar, aunque podrían requerir cierto esfuerzo adicional.
- Neutral: Las recomendaciones parecen viables en algunos aspectos, pero existen ciertas preocupaciones o incertidumbres sobre su implementación.
- Poco viable: No veo que las recomendaciones sean muy viables, ya que podrían enfrentar obstáculos significativos o requerir recursos considerables.
- Nada viable: Las recomendaciones parecen extremadamente difíciles de implementar, y es poco probable que se puedan llevar a cabo con éxito.

4. Pregunta: Selecciona uno o más beneficios que consideras que se pueden obtener aplicando las recomendaciones de la hoja de ruta:

Tipo de respuesta: Opción múltiple con múltiples respuesta.

Opciones de respuesta:

- Mayor detección de errores: Un proceso de pruebas mejorado podría identificar más errores y problemas en el software, lo que llevaría a un producto final de mayor calidad.
- Mejora en la colaboración: Al establecer un proceso de pruebas claro y efectivo, los equipos de desarrollo y pruebas podrían colaborar de manera más fluida y eficiente.
- Mejor visibilidad del progreso: Un proceso de pruebas estructurado proporcionaría una mejor visión del estado del proyecto, lo que facilitaría la toma de decisiones informadas.
- Mejora en la gestión de riesgos: Un proceso de pruebas sólido ayudaría a identificar y mitigar riesgos potenciales antes de que se conviertan en problemas reales.
- Reducción de rechazos por parte del cliente: Al mejorar la calidad del producto, se reducirían los rechazos por parte del cliente debido a problemas de funcionamiento.

5. Pregunta: Si tienes alguna observación o sugerencia por favor regístrala aquí.

Tipo de respuesta: abierta.

Bibliografía

- Araújo, A. F., Rodrigues, C. L., Vincenzi, A. M. R., Camilo, C. G., and Silva, A. F. (2015). A framework for maturity assessment in software testing for small and medium-sized enterprises.
- Becker, J., Knackstedt, R., and Pöppelbuß, J. (2009). Developing maturity models for IT management. *Business & Information Systems Engineering*, 1(3):213–222.
- Camargo, K. G., Ferrari, F. C., and Fabbri, S. C. P. F. (2013). Identifying a subset of tmmi practices to establish a streamlined software testing process. pages 137–146. IEEE Computer Society.
- Ehsan, N., Perwaiz, A., Arif, J., Mirza, E., and Ishaque, A. (2010). Cmmi / spice based process improvement. In *2010 IEEE International Conference on Management of Innovation Technology*, pages 859–862.
- Farid, A. B., Fathy, E. M., and Ellatif, M. A. (2015). Towards agile implementation of test maturity model integration (tmmi) level 2 using scrum practices.
- Friedenberg, D., Hamburg, M., McKay, J., Posthuma, M., Schaefer, H., Smilgin, R., Smith, M., Toms, S., Ulrich, S., Walsh, M., Zakaria, E., Müller, T., Beer, A., Klonk, M., Verma, R., Graham, D., van Veenendaal, E., Black, R., Eldh, S., Olsen, K., Pyhäjärvi, M., and Thompson, G. (2018). Certified tester foundation level syllabus.
- Fullen, A., Chennaian, K., and Balasubramaniyan, S. (2021). World quality report 2021-22 thirteenth edition. Capgemini in association with Microfocus®.
- García-Mireles, G. A., Ángeles Moraga, M., and García, F. (2012). Development of maturity models: A systematic literature review.
- Garousi, V., Felderer, M., and Hacaloglu, T. (2017). What we know about software test maturity and test process improvement. *IEEE Software*, 35:84–92.
- Garousi, V. and van Veenendaal, E. (2022). Test maturity model integration: Trends of worldwide test maturity and certifications. *IEEE Software*, 39:71–79.
- Heiskanen, H., Maunumaa, M., and Katara, M. (2012). A test process improvement model for automated test generation. In Dieste, O., Jedlitschka, A., and Juristo, N., editors, *Product-Focused Software Process Improvement*, pages 17–31, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg.
- International Organization for Standardization (2014a). Systems and software quality requirements and evaluation (square) — planning and management.

- International Organization for Standardization (2014b). Systems and software quality requirements and evaluation (square) — requirements for quality of ready to use software product (rusp) and instructions for testing.
- International Organization for Standardization (2015a). Content of life-cycle information items (documentation).
- International Organization for Standardization (2015b). Process assessment — part 5: An exemplar software life cycle process assessment model.
- International Organization for Standardization (2015c). Process assessment — requirements for performing process assessment.
- International Organization for Standardization (2017a). Measurement process.
- International Organization for Standardization (2017b). Vocabulary.
- Isaca (2023). CMMI Adoption Guidance. <https://cmmiinstitute.com/resource-files/public/v2-0-materials/cmmi-v2-0-adoption-and-transition-guide/>. 2023-04-06.
- ISTQB (2011). Improving the testing process.
- Jang, W. S., Kim, R. Y. C., Park, B. K., Carlson, C., and Ki Du, K. (2016). Visualization for the assessment model of an simplified test maturity model (tmm). In *2016 International Conference on Platform Technology and Service (PlatCon)*, pages 1–4.
- Karahodza, B., Avdagić-Golub, E., and Čolaković, A. (2022). Assessment of factors affecting the software process improvement in small organizations. *Science, Engineering and Technology*, 2(1):7–15.
- Khoshgoftar, M. and Osman, O. (2009). Comparison of maturity models. pages 297–301.
- O’Regan, G. (2019). *Test Process Improvement*, pages 199–220. Springer International Publishing, Cham.
- Pino, F., García, F., Ruiz, F., and Piattini, M. (2006). Adaptación de las normas iso/iec 12207: 2002 e iso/iec 15504: 2003 para la evaluación de la madurez de procesos software en países en desarrollo. *IEEE Latin America Transactions*, 4(2):17–24.
- Proença, D. (2016). Methods and techniques for maturity assessment. In *2016 11th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pages 1–4.
- Project Management Institute (2017). La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (guía del pmbok), sexta edición.
- Sinha, A. and Das, P. (2021). Agile methodology vs. traditional waterfall sdlc: A case study on quality assurance process in software industry. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

- Software Engineering Institute (2001). The ideal model.
- Sogeti España (2023). TPI - Consultoría de Metodologías de Pruebas. <https://www.sogeti.es/soluciones/calidad-de-software/metodologias-de-pruebas/consultoria-tpi/>. 2023-07-04.
- Sudarsanam, S. K. (2014). Software test process assessment methodology - ii.
- Tayamanon, T., Suwannasart, T., Wongchingchai, N., and Methawachananont, A. (2011). Tmm appraisal assistant tool. pages 329–333.
- TMMi Foundation (2014). Tmmi assessment method application requirements (tamar).
- TMMi Foundation (2019). Tmmi in the agile world.
- TMMI-Foundation (2022). World-wide user survey 2021-2022. TMMI Foundation.
- TMMi Foundation (2023). Tmmi assessment method application requirements (tamar).
- van Veenendaal, E., Ashworth, D., Baker, S., and Bates, C. (2018). Test maturity model integration (tmmi®) guidelines for test process improvement release 1.2 produced by the tmmi foundation.
- van Veenendaal, E., Ashworth, D., Baker, S., and Bates, C. (2022). Tmmi framework r1.3.