



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA COMPUTACIÓN

CARACTERÍSTICAS DE MADUREZ GRUPAL  
ASOCIADAS AL DESARROLLO ÁGIL DE SOFTWARE  
EFICIENTE Y EFECTIVO

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
DOCTORA EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LA  
COMPUTACIÓN

PRESENTA:  
SANDRA LILIANA RAMÍREZ MORA

DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. HANNA JADWIGA OKTABA  
FACULTAD DE CIENCIAS, UNAM

COMITÉ TUTOR:  
DRA. JUANA PATLÁN PÉREZ  
FACULTAD DE PSICOLOGÍA, UNAM  
DRA. HELENA MONTSERRAT GÓMEZ ADORNO  
IIMAS, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, Cd. Mx., ABRIL 2021



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.







# Agradecimientos

---

A mi esposo, Angel Zúñiga, por su infinito apoyo, tanto académico como personal, su paciencia y amor.

A mis padres y hermanos, por su apoyo y motivación para lograr mis objetivos.

A mi tutora, la Dra. Hanna Oktaba, por su gran apoyo y orientación durante todo mi doctorado, por compartir su experiencia conmigo, y por confiar en mí y en mi trabajo.

A la Dra. Juana Patlán Pérez, por su trabajo como parte de mi comité tutor, por su orientación académica, su amabilidad y disposición.

A la Dra. Helena Gómez Adorno, parte de mi comité tutor, por su disposición, apoyo académico y colaboración.

Al Dr. Gerardo Sierra, por su orientación y colaboración en diversas actividades académicas durante mi doctorado.

A la Dra. Pilar Ángeles, por su apoyo académico y por aceptar revisar este trabajo.

Al Dr. Fernando Gamboa, QEPD, por su apoyo académico, empatía y amabilidad.

Al Dr. Javier Gómez Castellanos, por su apoyo y excelente trabajo como coordinador del Posgrado en Ciencia e Ingeniería de la Computación (PCIC).

A Lupita, Amparo, Gustavo, Sergio y demás profesores del PCIC, por sus enseñanzas y apoyo académico.

A María Julia, Alma, Magdalena, Alejandro y todo el personal de Ultrasist por su colaboración.

A Lulú, Cecilia y Amalia, por su constante y gran labor en el PCIC.

A la UNAM, especialmente al PCIC.

Al CONACYT, por su apoyo económico para la realización de mis estudios de doctorado.

A Dios.



# Resumen

---

El desarrollo de software implica actividades en las que personas deben trabajar en grupos o equipos para el logro de objetivos. Por otra parte, el desarrollo de software debe realizarse con un nivel óptimo de eficiencia y efectividad, utilizando los recursos adecuadamente y cumpliendo las metas definidas.

La forma en la que un grupo de desarrollo de software trabaja es particularmente valorada en el desarrollo ágil de software (DAS) debido a que puede impactar en el cumplimiento de los objetivos de un proyecto. Debido a esto, es importante identificar las características grupales más relacionadas con una alta eficiencia y efectividad en el DAS y que pueden contribuir al éxito de los proyectos; sin embargo, existe poca investigación en este tema en comparación con otros aspectos del desarrollo de software.

El objetivo principal planteado en esta tesis fue identificar las características de madurez grupal asociadas a niveles altos de eficiencia y efectividad en grupos de DAS. Como objetivo particular, se planteó la investigación de elementos específicos del proceso de comunicación que pudieran permitir el estudio de la madurez grupal en comunidades de desarrollo de software.

El trabajo descrito en esta tesis incluye una revisión sistemática de literatura, conducida para conocer el estado de la investigación sobre factores que afectan el DAS, incluyendo los grupales. La revisión de literatura se publicó en un artículo que fue presentado en un congreso de ingeniería de software. Posteriormente, se realizó un estudio de casos para obtener evidencia empírica sobre las características de madurez grupal asociadas a niveles altos de eficiencia y efectividad en equipos de DAS en una empresa de tecnología mexicana. El estudio de casos incluyó: el desarrollo y aplicación de un instrumento para medir madurez grupal, eficiencia y efectividad de grupos de desarrollo de software; la conducción de entrevistas y grupos focales; y el estudio de métricas de productividad. El trabajo realizado durante el estudio de casos derivó en dos publicaciones, un artículo presentado en un congreso de prestigio internacional, y un artículo publicado en una revista de ingeniería de software. Adicionalmente, se condujo un estudio de comunidades de desarrollo de software para investigar métricas del proceso de comunicación (útiles para investigar la madurez grupal) y su relación con algunas métricas de eficiencia y efectividad. El estudio incluyó la minería de datos almacenados en herramientas utilizadas para administrar proyectos de DAS y el análisis de los datos mediante técnicas de aprendizaje automático o *machine learning*. El estudio derivó en varias publicaciones, incluyendo artículos en revistas prestigiosas de ingeniería de software.

Como parte de los resultados obtenidos de las actividades de investigación, se encontraron

---



asociaciones entre características de madurez grupal y niveles altos de eficiencia y efectividad en los grupos de trabajo estudiados, incluyendo aquellos pertenecientes a organizaciones con procesos optimizados. Específicamente, se encontraron correlaciones positivas entre los niveles de eficiencia grupal, conformidad con las reglas grupales y claridad de las tareas. Los resultados también aportaron evidencia empírica sobre asociaciones entre métricas específicas del proceso de comunicación grupal y métricas de efectividad en el DAS. En particular, se encontró una relación positiva entre las tareas de software completadas con éxito, la cantidad de mensajes referenciales comunicados por los responsables de las tareas y la frecuencia de la comunicación durante dichas actividades.

Los resultados obtenidos aportan evidencia de las asociaciones entre madurez grupal, eficiencia y efectividad en el DAS, y resultan relevantes para las comunidades académicas y para la industria. En particular, las organizaciones dedicadas al DAS pueden aplicar estrategias para mejorar el desarrollo de software con base en los resultados de esta tesis.

# Abstract

---

Software development involves activities in which people must work in groups or teams to achieve goals. On the other hand, software development must be carried out with an optimal level of efficiency and effectiveness, using resources appropriately and meeting defined goals.

The behavior of software development groups is particularly valued in agile software development (ASD) because it can impact the achievement of project objectives. Based on this, it is important to identify the group characteristics that are most related to high efficiency and effectiveness in ASD. Research on this topic can contribute to propose strategies to ensure the success of projects; however, scarce research on this topic exists in comparison with other aspects of software development.

The main objective of this thesis was to identify the characteristics of group maturity associated with high levels of efficiency and effectiveness in ASD groups. The investigation of specific elements of the communication process that could allow the study of group maturity in software development communities was proposed as a particular objective.

The work described in this thesis includes a systematic literature review, conducted to find out the state of research on factors that affect ASD, including the group ones. The literature review was published in an article that was presented at a software engineering conference. Subsequently, a case study was carried out to obtain empirical evidence on the characteristics of group maturity associated with high levels of efficiency and effectiveness in ASD groups in a Mexican IT company. The case study included: the development and application of an instrument to measure group maturity, efficiency and effectiveness of software development groups; conducting interviews and focus groups; and the study of productivity metrics. The work carried out during the case study was detailed in two publications, an article presented at an international prestigious conference, and an article published in a software engineering journal. Additionally, a study of software development communities was conducted to investigate communication process metrics (useful for investigating group maturity) and their relationship with some efficiency and effectiveness metrics. The study included the mining of data stored in tools used to manage ASD projects and the analysis of the data using machine learning techniques. The study led to several publications, including articles in prestigious software engineering journals.

As part of the results obtained from the research activities, associations were found between characteristics of group maturity and high levels of efficiency and effectiveness in the studied groups, including those belonging to organizations with optimized processes. Specifically, positive correlations were found between levels of group efficiency, conformity with group rules, and task

clarity. The results also provided empirical evidence on associations between specific metrics of the group communication process and effectiveness metrics in ASD. In particular, a positive relationship was found between successfully completed software tasks, the number of referential messages communicated by people responsible for the tasks, and the frequency of communication during those activities.

The results provide evidence of the associations between group maturity, efficiency and effectiveness in ASD, and are relevant for academic communities and industry. In particular, ASD organizations can apply strategies to improve software development based on the results of this thesis.

# Índice general

<b>Lista de figuras</b>	<b>XII</b>
<b>Lista de tablas</b>	<b>XIV</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Contexto . . . . .	1
1.2. Motivación . . . . .	2
1.3. Objetivos generales . . . . .	2
1.4. Metodología general . . . . .	3
1.5. Estructura de la tesis . . . . .	4
<b>2. Marco teórico</b>	<b>5</b>
2.1. Desarrollo ágil de software . . . . .	5
2.1.1. Eficiencia, efectividad y productividad en el contexto de desarrollo de software	6
2.2. Equipos y grupos de trabajo . . . . .	7
2.2.1. Desarrollo de grupos de trabajo . . . . .	7
2.2.2. Características de madurez grupal . . . . .	8
2.2.3. Equipos de trabajo en las organizaciones . . . . .	9
2.3. Proceso de comunicación y desarrollo de software . . . . .	10
2.4. Revisiones sistemáticas de literatura . . . . .	12
2.5. Investigación empírica y estudios de casos en ingeniería de software . . . . .	15
2.5.1. Diseño del estudio . . . . .	16
2.5.2. Preparación para la recolección de datos . . . . .	17
2.5.3. Recolección de la evidencia . . . . .	17
2.5.4. Análisis de datos . . . . .	19
2.5.5. Reporte . . . . .	20
2.5.6. Características de un buen estudio de casos . . . . .	21
<b>3. Revisión de literatura y trabajos relacionados</b>	<b>23</b>

3.1. Factores que afectan el DAS: estudio de mapeo sistemático . . . . .	23
3.1.1. Metodología . . . . .	24
3.1.2. Resultados . . . . .	26
3.1.3. Resumen de principales hallazgos . . . . .	31
3.2. Análisis de trabajos relevantes sobre madurez grupal y comunicación en el DAS .	32
<b>4. Madurez grupal, eficiencia y efectividad en grupos de DAS: estudio de casos</b>	<b>35</b>
4.1. Objetivo . . . . .	35
4.2. Justificación del estudio . . . . .	35
4.3. Metodología . . . . .	36
4.3.1. Diseño del estudio . . . . .	36
4.3.2. Recolección de datos . . . . .	38
4.3.3. Análisis de datos . . . . .	43
4.4. Resultados . . . . .	45
4.4.1. Comparación cuantitativa de grupos . . . . .	45
4.4.2. Correlaciones entre variables de madurez grupal, eficiencia y efectividad .	46
4.4.3. Resultados del análisis factorial y del análisis de ecuaciones estructurales .	48
4.4.4. Resultados cualitativos de entrevistas y grupos focales . . . . .	50
4.4.5. Conexión entre resultados cualitativos y cuantitativos . . . . .	52
4.5. Discusión de resultados . . . . .	54
4.5.1. Madurez grupal y eficiencia . . . . .	54
4.5.2. Madurez grupal y efectividad . . . . .	54
4.5.3. Validez del estudio . . . . .	56
4.5.4. Resumen de principales contribuciones . . . . .	57
<b>5. Comunicación en ITSs y su relación con indicadores de eficiencia y efectividad: estudio en comunidades de software</b>	<b>59</b>
5.1. Objetivo general . . . . .	59
5.2. Justificación del estudio . . . . .	60
5.3. Metodología . . . . .	61
5.3.1. Preguntas de investigación e hipótesis . . . . .	61
5.3.2. Contexto, entidades y variables de estudio . . . . .	62
5.3.3. Extracción de datos . . . . .	67
5.3.4. Pre-procesamiento de datos . . . . .	69

5.3.5.	Etiquetado de comentarios . . . . .	69
5.3.6.	Cálculo de variables . . . . .	74
5.3.7.	Análisis de datos . . . . .	76
5.4.	Resultados . . . . .	78
5.4.1.	Variables de comunicación e <i>issues</i> exitosos . . . . .	78
5.4.2.	Variables de comunicación y tiempo de resolución de <i>issues</i> . . . . .	87
5.4.3.	Variables de comunicación, tiempo de resolución de <i>issues</i> y porcentaje de <i>issues</i> exitosos a nivel de proyecto . . . . .	89
5.4.4.	Patrones de comunicación . . . . .	91
5.5.	Discusión . . . . .	94
5.5.1.	Discusión de los resultados . . . . .	94
5.5.2.	Análisis de los resultados y su relación con los hallazgos del estudio de casos y de la RSL . . . . .	99
5.5.3.	Implicaciones para la práctica y la investigación . . . . .	100
5.5.4.	Validez del estudio . . . . .	102
5.6.	Resumen de principales contribuciones . . . . .	103
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>105</b>
6.1.	Cumplimiento de los objetivos de la tesis . . . . .	105
6.2.	Principales contribuciones . . . . .	106
6.3.	Resultados generales . . . . .	107
6.4.	Producción científica . . . . .	107
<b>A.</b>	<b>Estudios primarios incluidos en la RSL</b>	<b>109</b>
<b>B.</b>	<b>Cuestionario de madurez grupal, eficiencia y efectividad</b>	<b>111</b>
<b>C.</b>	<b>Clasificación automática de issues exitosos y no exitosos</b>	<b>113</b>
C.1.	Características más relevantes . . . . .	113
C.2.	Precisión, exactitud, recall y F1 . . . . .	114

# Lista de figuras

2.1. Modelo interactivo de comunicación . . . . .	11
2.2. Funciones y elementos de comunicación . . . . .	12
2.3. Metodología de la revisión sistemática de literatura . . . . .	13
3.1. Número de estudios que reportaron las distintas técnicas de recolección de datos .	28
3.2. Metodologías de desarrollo de software estudiadas . . . . .	29
3.3. Factores que afectan aspectos de productividad y desempeño en el DAS . . . . .	29
4.1. Comparación de los grupos que invirtieron el mayor y menor esfuerzo para desarrollar PCUs . . . . .	46
4.2. Comparación de grupos con el menor y mayor rate . . . . .	46
4.3. Comparación de las correlaciones entre variables de madurez grupal y medidas de eficiencia . . . . .	48
4.4. Modelo de ecuaciones estructurales . . . . .	50
5.1. Ejemplo de los posibles estados de un <i>issue</i> durante su ciclo de vida . . . . .	63
5.2. Relaciones entre variables estudiadas . . . . .	65
5.3. Diagrama general de datos . . . . .	68
5.4. Correlaciones calculadas a nivel de <i>issue</i> . . . . .	78
5.5. Porcentaje promedio de comentarios comunicados por reporteros de <i>issues</i> . . . . .	80
5.6. Porcentaje promedio de comentarios comunicados por administradores de proyecto	80
5.7. Porcentaje promedio de comentarios comunicados por personas: A) Asignadas al <i>issue</i> , B) Asignadas al proyecto, C) Asignadas generales y D) No asignadas . . . . .	81
5.8. Porcentaje promedio de comentarios referenciales por tipo de <i>issue</i> . . . . .	81
5.9. Porcentaje promedio de comentarios emotivos por tipo de <i>issue</i> . . . . .	82
5.10. Porcentaje promedio de comentarios conativos por tipo de <i>issue</i> . . . . .	82
5.11. Porcentaje promedio de comentarios fáticos por tipo de <i>issue</i> . . . . .	83

5.12. Medidas promedio de las predicciones de <i>issues</i> exitosos y no exitosos utilizando MNB . . . . .	83
5.13. Exactitud de la predicción del éxito de <i>issues</i> utilizando MNB en el tiempo . . . . .	83
5.14. Frases más comunes en <i>issues</i> exitosos . . . . .	84
5.15. Frases más comunes en <i>issues</i> no exitosos . . . . .	85
5.16. Número promedio de comentarios por tipo de <i>issue</i> . . . . .	85
5.17. Frecuencia promedio de mensajes de <i>issues</i> exitosos y no exitosos por tipo de <i>issue</i> . . . . .	86
5.18. Tamaño promedio de mensajes por tipo de <i>issue</i> . . . . .	86
5.19. Porcentaje promedio de comentarios referenciales de reporteros de <i>issues</i> por intervalos de TRI . . . . .	88
5.20. Porcentaje promedio de comentarios referenciales de asignados a <i>issues</i> por intervalos de TRI . . . . .	88
5.21. Éxito en la resolución de <i>issues</i> por intervalos de TRI . . . . .	91
5.22. Tiempo de resolución de <i>issues</i> durante el tiempo de los proyectos . . . . .	91
5.23. Éxito en la resolución de <i>issues</i> durante el tiempo de los proyectos . . . . .	92
5.24. Promedio de comentarios de reporteros de <i>issues</i> con mensajes referenciales durante el tiempo de los proyectos . . . . .	92
5.25. Promedio de comentarios de asignados a <i>issues</i> con mensajes referenciales durante el tiempo de los proyectos . . . . .	93
5.26. Porcentaje promedio de comentarios de asignados a proyecto durante el tiempo de los proyectos . . . . .	93
5.27. Patrones más recurrentes de tipos de interactuantes . . . . .	93
5.28. Patrones más recurrentes de tipos de mensajes . . . . .	94
5.29. Patrones más recurrentes de tipos de interactuantes y tipos de mensajes . . . . .	94



# Lista de tablas

3.1. Estrategia para la selección de estudios primarios . . . . .	25
3.2. Datos extraídos . . . . .	27
3.3. Factores que afectan el desempeño de equipos/grupos de DAS . . . . .	30
3.4. Distribución de los factores por responsable y tipo de impacto . . . . .	31
4.1. Grupos estudiados . . . . .	38
4.2. Estadística descriptiva de las variables medidas con el cuestionario . . . . .	40
4.3. Temas y preguntas consideradas en las entrevistas semi-estructuradas . . . . .	42
4.4. Temas explorados durante las sesiones de grupos focales . . . . .	43
4.5. Variables de madurez grupal, eficiencia grupal, efectividad grupal, esfuerzo para desarrollar PCUs y rate por grupo y proyecto . . . . .	44
4.6. Correlaciones de Pearson entre las variables de madurez grupal, eficiencia grupal y efectividad grupal - nivel individual . . . . .	47
4.7. Correlaciones de Pearson entre variables de madurez grupal, eficiencia grupal, efectividad grupal, esfuerzo para desarrollar PCUs y rate - nivel grupal . . . . .	47
4.8. Madurez grupal como un constructo de alto nivel . . . . .	49
4.9. Ideas mencionadas con frecuencia durante las sesiones de grupos focales . . . . .	51
4.10. Explicación cualitativa de correlaciones fuertes . . . . .	53
5.1. Descripción de las asociaciones entre variables estudiadas y características de madurez grupal . . . . .	66
5.2. Características de madurez grupal que pueden estudiarse a partir de las variables de comunicación . . . . .	67
5.3. Distribución de los <i>issues</i> extraídos y sus comentarios . . . . .	68
5.4. Distribución de los proyectos estudiados por número de <i>issues</i> y comentarios . . . . .	68
5.5. Funciones de comunicación comunes en comentarios de <i>issues</i> . . . . .	71
5.6. Ejemplos de etiquetado manual de comentarios . . . . .	72

5.7. Mejores resultados para etiquetar comentarios con sus funciones . . . . .	73
5.8. Resumen de las variables utilizadas en los experimentos realizados . . . . .	77
5.9. Resultados de las pruebas <i>Kolmogorov-Smirnov</i> . . . . .	79
5.10. Correlaciones entre el TRI y el porcentaje de mensajes de cada tipo de interactuante	87
5.11. Correlaciones entre el TRI y el porcentaje de comentarios con cada tipo de mensaje	87
5.12. Correlaciones entre el TRI, el número de mensajes, la frecuencia de mensajes y el tamaño promedio de mensajes . . . . .	88
5.13. Correlaciones entre el TRI promedio, el porcentaje de <i>issues</i> exitosos y el porcentaje promedio de mensajes de cada tipo de interactuante a nivel de proyecto . . . . .	89
5.14. Correlaciones entre el TRI promedio, el porcentaje de <i>issues</i> exitosos y el porcentaje promedio de comentarios con cada tipo de mensaje a nivel de proyecto . . . . .	90
5.15. Correlaciones entre TRI promedio, porcentaje de <i>issues</i> exitosos, número de mensajes promedio, frecuencia de mensajes promedio y tamaño promedio de mensajes a nivel de proyecto . . . . .	90
A.1. Estudios primarios incluidos en la RSL. . . . .	109
B.1. Cuestionario de madurez grupal, eficiencia y efectividad, y análisis factorial . . .	111
C.1. Características más relevantes para predecir <i>issues</i> exitosos por tipo de <i>issue</i> . .	113
C.2. Características más relevantes para predecir <i>issues</i> no exitosos por tipo de <i>issue</i> .	113
C.3. Exactitud de experimentos para clasificar <i>issues</i> exitosos y no exitosos . . . . .	114
C.4. Precisión de experimentos para clasificar <i>issues</i> exitosos y no exitosos . . . . .	115
C.5. <i>Recall</i> de experimentos para clasificar <i>issues</i> exitosos y no exitosos . . . . .	116
C.6. Métrica F1 de experimentos para clasificar <i>issues</i> exitosos y no exitosos . . . . .	117



# Introducción

---

## 1.1. Contexto

En el desarrollo de software, es primordial cumplir los objetivos de tiempo y calidad, hacer un adecuado uso de recursos, asegurar la satisfacción de lo usuarios de software y, en general, cumplir todas las metas de los proyectos.

El desarrollo ágil de software (DAS) ha alcanzado gran popularidad en ingeniería de software debido a las ventajas que aporta. Muchas organizaciones han adoptado métodos ágiles para mejorar su eficiencia (relacionada con los recursos invertidos en el desarrollo de software, tales como el tiempo, esfuerzo y presupuesto) y efectividad (relacionada con el cumplimiento de objetivos y la calidad del software). Un reporte sobre el uso de prácticas ágiles (Versionone, 2020) señala que entre las principales razones de las organizaciones para adoptar principios ágiles se encuentran: acelerar la entrega de software, incrementar la productividad, reducir los costos de proyectos, e incrementar la mantenibilidad del software.

A pesar del amplio uso de los métodos ágiles, hay diversos factores que afectan la eficiencia y efectividad en el DAS y conducen al fracaso de los proyectos. Entre estos factores se encuentran los tecnológicos, los organizacionales y los humanos, los cuales, incluyen las interacciones y la comunicación entre los individuos que participan en los procesos de desarrollo de software.

En el DAS, que valora a las personas y la forma en que interactúan más que a las herramientas y procesos (Beck y col., 2001), las personas requieren trabajar en equipo para alcanzar metas y cumplir objetivos. Las ciencias sociales han demostrado que algunos aspectos grupales están fuertemente relacionados con la eficiencia y la efectividad de los equipos y que los “equipos maduros” pueden ser altamente productivos. Los equipos maduros son cohesivos, resuelven conflictos de manera constructiva, se comunican de manera efectiva y cooperan. Es importante que los equipos de DAS sean equipos con un buen desempeño ya que requieren entregar temprana y continuamente software valioso, responder constantemente a cambios, asegurar la satisfacción de clientes, atender los aspectos técnicos, y maximizar la cantidad de trabajo no realizado. Lo anterior está especificado en el “manifiesto ágil” (Beck y col., 2001).

Aunque los individuos y sus interacciones son primordiales en el DAS, existe poca investigación enfocada en estudiar algunos procesos y estados grupales específicos, tales como la

comunicación grupal, en comparación con otros factores como los tecnológicos. Además, casi no se ha realizado investigación sobre características de madurez grupal en el DAS y su relación con una alta eficiencia y efectividad.

### 1.2. Motivación

Ingeniería de software es, en gran parte, una disciplina social en la que las personas deben interactuar; sin embargo, en ocasiones es poco prioritario el estudio o atención de los aspectos grupales y humanos, o resulta difícil el manejo de los mismos.

Si se identifican las características grupales que más impactan la eficiencia y la efectividad en el DAS, pueden proponerse estrategias para mejorar los tiempos de desarrollo, incrementar el número de tareas completadas exitosamente, mejorar la calidad de los productos y artefactos de software, mejorar la productividad de empresas dedicadas al DAS y asegurar la satisfacción de usuarios de software. Debido a esto, la identificación de las características de madurez grupal que son relevantes en el DAS y que están asociadas con niveles altos de eficiencia y efectividad es un tema de investigación relevante para académicos y practicantes de ingeniería de software.

### 1.3. Objetivos generales

Los objetivos generales de este trabajo son: (1) identificar las características de madurez grupal asociadas a niveles altos de eficiencia y efectividad en grupos de DAS, y (2) estudiar a detalle métricas del proceso de comunicación (particularmente aquellas que permitan investigar características de madurez grupal) y su relación con métricas de eficiencia y efectividad en el DAS.

Con base en los objetivos antes mencionados, se plantearon las siguientes preguntas generales de investigación.

1. ¿Cuáles son los factores que impactan el DAS que se han reportado en estudios de investigación primarios? ¿Qué características de madurez grupal se han reportado?
2. ¿Cuáles son las características de madurez grupal que están asociadas a niveles altos de eficiencia y efectividad en grupos de DAS?
3. ¿Cuál es la relación entre métricas del proceso de comunicación (asociadas a características de madurez grupal) y métricas de eficiencia y efectividad en el DAS?

La primer pregunta se formuló para conocer el estado de la investigación sobre factores que afectan el DAS e identificar cuáles de ellos son características de madurez grupal. Conocer la investigación existente sobre un tema es importante para poder proceder con el diseño de otras actividades investigación del tema en cuestión. La segunda pregunta se formuló para identificar las características de madurez grupal asociadas a niveles altos de eficiencia y efectividad en el DAS,

un tema escasamente estudiado en ingeniería de software. La tercer pregunta de investigación se formuló para estudiar a detalle las relaciones que existen entre métricas específicas del proceso de comunicación, eficiencia y efectividad en grupos de desarrollo de software. Esta pregunta derivó de la importancia del proceso de comunicación en el desarrollo grupal y debido a su relación con otros procesos y estados grupales como la toma de decisiones, la confianza mutua, el manejo funcional de conflictos y la claridad de las metas de equipo.

### 1.4. Metodología general

Para contestar la primera pregunta general de investigación, se determinó conducir una revisión sistemática de literatura (RSL) para identificar los factores que más afectan el DAS y que se han reportado en estudios de investigación primarios. Se condujo una RSL debido a que, de acuerdo con Kitchenham y col. (2015), es un método sistemático de investigación, basado en evidencia, cuyo objetivo es recolectar, de manera completa y exhaustiva, el conocimiento existente sobre un tema de interés. En particular, se condujo un *systematic mapping study* (SMS), que es una RSL que permite categorizar los datos extraídos y encontrar “vacíos” de investigación (Kitchenham y col., 2015). El SMS se condujo siguiendo la metodología propuesta por Kitchenham y col. (2015) y permitió identificar trabajos relacionados con el tema investigación. Además, el SMS permitió asentar las bases para las actividades de investigación subsecuentes. El SMS (Ramírez-Mora y Oktaba, 2017) se publicó a detalle en un artículo presentado en el *5th International Conference in Software Engineering Research and Innovation*.

Para contribuir a contestar la segunda y tercer pregunta de investigación, se diseñó, con base en los resultados del SMS, un estudio de casos para identificar las características de madurez grupal (incluyendo la comunicación adecuada) asociadas a niveles altos de eficiencia y efectividad en grupos dedicados al DAS. Durante el estudio de casos, se investigaron nueve grupos dedicados al DAS en una empresa de tecnología CMMI-DEV nivel 5 (Chrissis y col., 2011) a través de entrevistas, grupos focales, métricas de productividad y un instrumento para medir la madurez, la eficiencia y la efectividad de grupos de desarrollo de software. El trabajo realizado durante el estudio de casos derivó en dos publicaciones: un artículo presentado en el *34th International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)* (Ramírez-Mora y Oktaba, 2018); y un artículo publicado en la revista *Journal of Software: Evolution and Process* (Ramírez-Mora y col., 2020c).

Para abordar a detalle y de manera longitudinal la tercer pregunta de investigación, se diseñó un estudio para determinar la relación entre métricas del proceso de comunicación y métricas de eficiencia y efectividad en el DAS. El estudio se basó en la extracción y análisis de información del proceso de comunicación durante la realización de tareas dirigidas al desarrollo de software, incluyendo la frecuencia de mensajes, los tipos de personas que se comunican, el tamaño y número de mensajes, y los tipos mensajes intercambiados entre personas. La información referente al proceso de comunicación, que incluyó una gran cantidad de mensajes verbales escritos, se extrajo de sistemas de seguimiento de incidencias o *Issue Tracking Systems* (ITSs) especializados en el DAS. Durante el estudio, se analizaron las relaciones entre métricas de elementos de comunicación, el tiempo para realizar tareas de software (métrica de eficiencia) y el éxito en la resolución de tales tareas (métrica de efectividad) en distintos lapsos de tiempo y utilizando algunas técnicas

de *machine learning*. El trabajo realizado derivó en diversas producciones científicas, incluyendo un artículo publicado en la prestigiosa revista *Journal of Systems and Software* (Ramírez-Mora y col., 2020a), un artículo en la revista *Information and Software Technology*, y dos datasets publicados en *Mendeley Data* (Ramírez-Mora y col., 2020b; Ramírez-Mora y col., 2021a).

### 1.5. Estructura de la tesis

El Capítulo 2 presenta el marco teórico de este trabajo e incluye la teoría general sobre desarrollo ágil de software, equipos de trabajo, eficiencia y efectividad en el desarrollo de software, y dos métodos de investigación utilizados en esta tesis (revisiones sistemáticas de literatura y estudios de casos).

El Capítulo 3 presenta la RSL enfocada en identificar los factores que afectan el DAS que se han reportado en estudios de investigación primarios, incluyendo características de madurez grupal. La RSL (Ramírez-Mora y Oktaba, 2017) incluye: la definición de preguntas específicas de investigación; el diseño de la investigación; la identificación, selección y evaluación de estudios primarios relevantes (aquellos de utilidad para contestar las preguntas de investigación planteadas); la extracción y síntesis de datos; y el reporte de resultados.

El Capítulo 4 describe el estudio de casos de nueve equipos de DAS en una empresa de tecnología para obtener evidencia sobre cuáles son las características de madurez grupal que se relacionan con niveles altos de eficiencia y efectividad en el DAS. El estudio, descrito en dos artículos académicos (Ramírez-Mora y Oktaba, 2018; Ramírez-Mora y col., 2020c), incluyó: el diseño de la investigación, en el que se definieron las entidades de estudio, se formularon las preguntas de investigación, y se designaron las técnicas para recolectar y analizar datos; el proceso de recolección de datos a partir de entrevistas, grupos focales, métricas de productividad, y un instrumento para medir la madurez, la eficiencia y la efectividad de grupos de desarrollo de software; análisis cualitativos y cuantitativos de los datos; el reporte de resultados; y la discusión de los resultados.

El Capítulo 5 describe el estudio sobre métricas del proceso de comunicación (principalmente aquellas que pueden permitir el estudio de características de madurez grupal) y su relación con métricas de eficiencia y efectividad en comunidades de desarrollo de software de código abierto. El estudio, que derivó en varios datasets y artículos de revista (Ramírez-Mora y col., 2020a; Ramírez-Mora y col., 2021b; Ramírez-Mora y col., 2020b; Ramírez-Mora y col., 2021a), incluyó: la extracción de datos de proyectos alojados en ITSs; el pre-procesamiento de los datos; el análisis de datos, que incluyó técnicas de *machine learning* y de procesamiento de lenguaje natural; el reporte de resultados; y la discusión de los resultados.

Finalmente, el Capítulo 6 presenta las conclusiones sobre el cumplimiento de los objetivos de investigación, los resultados generales, las contribuciones principales y la producción científica derivada de la tesis.

# Marco teórico

---

Este capítulo presenta los fundamentos teóricos sobre desarrollo ágil de software, equipos de trabajo, eficiencia y efectividad en el desarrollo de software, y dos métodos de investigación utilizados en esta tesis: revisiones sistemáticas de literatura y estudios de casos.

## 2.1. Desarrollo ágil de software

El término “ágil” (en ingeniería de software) se creó en 2001 tras una reunión acontecida en Utah (EUA) en la que expertos de la industria del software definieron los lineamientos que debían ser seguidos por los equipos para desarrollar software de manera rápida y adaptarse para responder a los posibles cambios que surgieran durante un proyecto. La propuesta resultó ser una alternativa a los métodos tradicionales de software, los cuales, son rigurosos y están regidos por documentación generada en cada una de las tareas de desarrollo. La filosofía “ágil” está resumida en el “manifiesto ágil” (Beck y col., 2001), a partir del cual, se creó la *Agile Alliance*<sup>1</sup>, una organización no lucrativa que apoya a personas que exploran y aplican valores, principios y actividades ágiles para que las soluciones de software sean más efectivas, humanas y sustentables.

El desarrollo ágil de software (DAS) se basa en el manifiesto ágil de Beck y col. (2001) y valora: personas y sus interacciones sobre herramientas y procesos, software funcionando sobre documentación extensa, colaboración con clientes sobre contratos de negocio, y respuesta a los cambios sobre el seguimiento de un plan. De acuerdo con Beck y col. (2001), existen doce principios que guían el DAS y que enfatizan diversos aspectos incluyendo: la satisfacción del cliente, la generación de software de manera continua, la adaptación ante requerimientos cambiantes, la colaboración cercana entre desarrolladores y personal administrativo (de negocio), la motivación de las personas, la comunicación directa y personal, la excelencia en aspectos técnicos, la realización del trabajo que únicamente sea requerido, equipos que se auto-organicen, y la retroalimentación para mejorar el desarrollo de software.

Muchas organizaciones han adoptado el DAS en los últimos años. Un reporte sobre el uso de prácticas ágiles (Versionone, 2020) señala que entre las principales razones de las organizaciones para adoptar principios ágiles se encuentran: acelerar la entrega de software, incrementar la

---

<sup>1</sup>The Agile Alliance: <https://www.agilealliance.org>



productividad, reducir los costos de proyectos, e incrementar la mantenibilidad del software.

En el DAS se utilizan comúnmente herramientas tecnológicas, incluyendo tableros de seguimiento de tareas, herramientas para gestionar proyectos, y repositorios de código y documentación. Una de las herramientas más populares y usadas en el DAS es Jira, un software para la planificación y administración de proyectos que permite el monitoreo de tareas, facilita la comunicación entre personas, y facilita la generación de reportes. Resultados de un estudio (Versionone, 2020) señalan que el 67 % de las personas involucradas en el DAS utiliza Jira y que el 78 % de las mismas ha recomendado el uso de dicha herramienta.

### 2.1.1. Eficiencia, efectividad y productividad en el contexto de desarrollo de software

En general, la **eficiencia** se define como la tasa de los recursos consumidos entre los recursos que se espera consumir durante la realización de un proceso, actividad, o tarea (Bourque y col., 2014). Eficiencia significa hacer las cosas de manera adecuada de acuerdo con Bourque y col. (2014). La eficiencia en el desarrollo de software está relacionada con el grado en el que los objetivos de tiempo, cronograma y presupuesto se cumplen.

En ingeniería de software, la eficiencia se mide comúnmente en términos de la cantidad de software desarrollado (líneas de código, puntos de función, cantidad de tareas realizadas, cantidad de defectos solucionados) y el tiempo o esfuerzo empleado en el desarrollo de software. Esto ha sido confirmado por diversas investigaciones incluyendo el trabajo de Shah y col. (2015).

Existen algunos principios ágiles relacionados con la eficiencia en el desarrollo de software. El tercer principio ágil, relacionado con el tiempo, recomienda que la entrega de software sea frecuente y preferentemente con la menor escala de tiempo posible (Beck y col., 2001). El décimo principio ágil establece que la simplicidad (evitar realizar la mayor cantidad de trabajo no requerido) es fundamental en el DAS (Beck y col., 2001), lo que implica eficiencia.

En general, la **efectividad** representa la relación entre objetivos logrados y objetivos definidos (Bourque y col., 2014). Efectividad significa hacer las cosas correctas de acuerdo con Bourque y col. (2014). En el desarrollo de software, la efectividad puede ser concebida como el grado en el que los objetivos de proyecto y las metas de calidad se logran, y las necesidades del cliente son cubiertas.

En el desarrollo de software, la efectividad comúnmente se mide en términos de los objetivos cumplidos, la cantidad de defectos encontrados en el software y la satisfacción del cliente.

En cuanto al DAS, el primer principio ágil prioriza la satisfacción del cliente a través de entregarle software valioso de forma temprana y continua (Beck y col., 2001). Esto implica que, además de la cantidad de producto generado, también es importante el valor que el software proporciona a los clientes, lo cual, está relacionado con la calidad de software y la efectividad.

De acuerdo con Bourque y col. (2014), la **productividad** combina eficiencia y efectividad desde una perspectiva “orientada al valor”: maximizar la productividad consiste en generar el valor más alto posible con la menor cantidad de recursos consumidos. En el DAS, la productividad

no sólo implica una alta cantidad de producto generado, también la calidad del software es importante. Es por esto que, la productividad de los equipos de DAS se relaciona con entregas oportunas de producto, el aseguramiento de la calidad y la satisfacción del cliente.

### 2.2. Equipos y grupos de trabajo

En ciencias sociales existe una distinción entre equipos y grupos de trabajo. Un grupo de trabajo está definido como dos o más personas que interactúan de manera libre, que tienen metas y objetivos compartidos, y aspectos en común los identifican (Kinicki y Kreitner, 2007). Por otra parte, un equipo es un pequeño grupo o conjunto de personas con habilidades que se complementan, que se responsabilizan unos a otros por objetivos, y que tienen una orientación común (Kinicki y Kreitner, 2007).

De acuerdo con Kinicki y Kreitner (2007), un grupo se vuelve equipo cuando: se comparte el liderazgo; la responsabilidad y la transparencia no son únicamente individuales (también son grupales); el grupo genera su misión o propósito particular; resolver problemas se vuelve algo habitual, no solamente una actividad esporádica; y la efectividad se mide de acuerdo a los resultados que son generados por el grupo de trabajo.

#### 2.2.1. Desarrollo de grupos de trabajo

Un grupo de trabajo debe pasar por un proceso de desarrollo grupal para convertirse en un equipo maduro y efectivo. Bruce Tuckman explica el proceso de desarrollo grupal mediante las siguientes cuatro etapas (Tuckman, 1965; Tuckman y Jensen, 1977).

- Etapa de “formación”. Es la etapa inicial de un grupo en la que se requiere orientación debido a que las personas no están seguras sobre sus roles. En esta etapa existe dependencia y evaluación hacia el líder del grupo.
- Etapa de “tormenta”. Es un periodo de conflicto intergrupal y de resistencia a la influencia de los integrantes del grupo, con respuestas emocionales a las demandas de las tareas.
- Etapa de “normalización”. En esta etapa surgen sentimientos de grupo y cohesión, nuevos estándares evolucionan y nuevos roles se adoptan. Existe un intercambio abierto de interpretaciones relevantes y hay confianza entre los miembros del grupo, características esenciales de la comunicación efectiva.
- Etapa de “desempeño”. Etapa en la que un grupo se convierte en un equipo maduro. Los roles se vuelven flexibles y funcionales, se han resuelto los asuntos de estructura grupal, y la estructura del equipo permite la realización de tareas. En esta etapa surgen soluciones.

Cada equipo es diferente y puede pasar por las etapas antes mencionadas más de una vez debido a que el desarrollo grupal no siempre es lineal.

### 2.2.2. Características de madurez grupal

La madurez grupal también puede ser definida o descrita mediante indicadores específicos. Schermerhorn y col. (2002) propusieron los siguientes criterios para medir la madurez grupal: toma de decisiones funcional, lealtad/cohesión alta, excelente uso de los recursos de los integrantes del grupo, comunicación clara, objetivos aceptados, relaciones de autoridad interdependientes y alta participación en el liderazgo.

Las siguientes, son ocho características representativas de la madurez grupal basadas en la teoría del desarrollo grupal, el trabajo de Schermerhorn y col. (2002) y el modelo de Tuckman (1965).

- Comunicación clara y efectiva. En un grupo maduro, la comunicación es honesta, implica confianza y es abierta ya que los integrantes se sienten libres de expresar sus sentimientos sobre las tareas y la operación del grupo. Además, la comunicación se realiza fuera de reuniones formales, como indican Kinicki y Kreitner (2007).
- Alto comportamiento de apoyo. Los miembros del grupo asisten a sus compañeros en realizar sus actividades o asumen y completan tareas por ellos (Marks y col., 2001). Incluye la habilidad de intercambiar la carga de trabajo entre los miembros del grupo para lograr un balance durante periodos de mucho trabajo o presión (Salas y col., 2005).
- Manejo de conflictos de manera funcional. Un manejo efectivo de conflictos incluye negociación, formulación de acuerdos y resolución de problemas (Robbins y Judge, 2009). La resolución de problemas de manera efectiva se vuelve una forma de vida en los grupos maduros (Kinicki y Kreitner, 2007).
- Toma de decisiones compartida. Los grupos maduros toman decisiones de manera compartida (Kinicki y Kreitner, 2007), en las cuales, las personas apropiadas participan y contribuyen al proceso de decisión aportando recursos individuales y diversidad.
- Cohesión grupal alta. La cohesión grupal es un sentimiento de equipo que mantiene a los miembros unidos (Kinicki y Kreitner, 2007). La cohesión representa las fuerzas que motivan a las personas a permanecer en el grupo, el compromiso de los integrantes con las tareas grupales, la atracción de los miembros al grupo, y el orgullo grupal (Kozlowski y Bell, 2013).
- Confianza mutua alta. En un grupo maduro, los miembros confían en sus compañeros de grupo. La confianza mutua implica honestidad, confiabilidad, lealtad y apertura entre los miembros del grupo (Robbins y Judge, 2009).
- Conformidad con las reglas grupales. Es el ajuste en el comportamiento de los integrantes para seguir las reglas del grupo (Robbins y Judge, 2009).
- Claridad y aceptación de las metas grupales y de los roles de los miembros del equipo. Los grupos maduros tienen claras expectativas sobre los roles de cada miembro. La visión, misión y tareas en un grupo maduro se han definido y existe un plan de acción (Kinicki y Kreitner, 2007).

La mayoría de las características antes descritas son también características de equipos de alto desempeño y equipos efectivos. Dichas características pueden ser divididas en dos conjuntos: procesos y estados emergentes. Los procesos son actos interdependientes de los miembros del grupo que convierten las entradas en resultados para lograr objetivos colectivos (Marks y col., 2001). Ejemplos de procesos grupales son: comunicación, comportamiento de apoyo, manejo de conflictos y toma de decisiones compartida. Los estados emergentes son actitudes, valores, cogniciones y motivaciones que emergen a nivel individual y se convierten en propiedades a nivel grupal (Marks y col., 2001). Ejemplos de estados emergentes son: cohesión grupal, confianza mutua, conformidad y claridad de metas y roles.

### 2.2.3. Equipos de trabajo en las organizaciones

Las organizaciones buscan alcanzar diversos objetivos (productividad, calidad, eficiencia, etc.), para lo cual, hacen uso de diferentes tipos de recursos, entre ellos, los humanos. Las personas en una organización son indispensables ya que son quienes realizan actividades y procesos para el logro de los objetivos. Debido a esto, se debe cuidar que las personas realicen eficiente y efectivamente su trabajo, el cual, implica colaboración y comunicación con otras personas organizadas en grupos o equipos de trabajo.

#### **Teorías humanistas**

Existen varias teorías sobre las relaciones humanas en el ámbito laboral. Una de estas teorías fue propuesta por Elton Mayo, la cual, surgió a partir del experimento de Hawthorne en 1927. En dicho experimento se investigó el efecto de diversas variables en la productividad laboral de personas en una organización. Como resultado del experimento, Mayo demostró que: el ambiente social genera mayor productividad ya que la amistad mejora los grupos de trabajo; que los empleados trabajan como parte de un grupo; la productividad de un grupo depende de la integración social del mismo; y que una organización no debe tratar a los trabajadores individualmente y debe considerarlos como miembros de un grupo.

Más tarde, Douglas McGregor, un teórico del enfoque del conocimiento en la administración, se preocupó por comparar dos estilos distintos de administrar a los que denominó “teoría x” y “teoría y”. La “teoría x” implica un estilo de administración tradicional, que establece que a las personas les disgusta trabajar y que deben ser dirigidas, motivadas o coaccionadas a ello (Morse y Lorsch, 1970). La “teoría y” destaca el interés natural de una persona en su trabajo, especialmente si puede hacer uso de sus capacidades, tales como ser creativo o imaginativo (Morse y Lorsch, 1970); en este estilo, los directivos se sustentan en que a las personas les gusta trabajar y que les resulta necesario.

Abraham Maslow, psicólogo y psiquiatra enfocado en la psicología humanista, desarrolló una teoría de auto-realización (Maslow, 1943). Maslow propuso una pirámide de necesidades (relacionadas con la fisiología y los sentimientos humanos) que las personas o individuos deben cubrir para sentirse satisfechos. Maslow estableció que antes de satisfacer las necesidades superiores, primero se debe asegurar las necesidades de los escalones inferiores de la pirámide. Los distintos peldaños de la pirámide propuesta por Maslow contemplan: necesidades fisiológicas u orgánicas, seguridad, integridad social o afiliación, reconocimiento por parte de la sociedad, y finalmente la

denominada “auto-realización”. Como indica el modelo de Maslow, la afiliación o integración a la sociedad es parte fundamental de las personas para su auto-realización.

### **Desempeño laboral**

De acuerdo con algunos autores, como Morales (2009), el desempeño laboral puede explicarse como el rendimiento de un trabajador para llevar a cabo las tareas que se le han encomendado de acuerdo a su rol y en su contexto laboral. El desempeño laboral puede implicar diversas competencias tales como habilidades técnicas, conocimientos, experiencias y valores.

Debido a que el desempeño laboral de un empleado engloba diversos aspectos, su evaluación puede implicar la medición de variables como *productividad*, *efectividad* (relacionada con la calidad) y *eficiencia* (relacionada con el uso adecuado de recursos). Además de estas variables, los instrumentos de desempeño laboral comúnmente evalúan diversas habilidades, experiencias, actitudes en el ambiente laboral, destrezas, intereses personales, conocimientos que demandan los puestos laborales y trabajo en equipo debido a que muchas de estas variables son importantes para las organizaciones o empresas.

### **Pertenencia a un grupo**

Anant (1966) define la pertenencia como el sentido de involucramiento de una persona en un sistema (como por ejemplo un grupo laboral) de manera que el individuo se conciba como parte de dicho sistema. Para Maslow (1943), la necesidad de pertenecer a un grupo es una de las necesidades más importantes para una persona (sólo menos relevante que las fisiológicas). Además, distintos autores concuerdan en que el sentimiento de pertenencia es importante para: el aprendizaje; el desarrollo de cogniciones; el comportamiento; el bienestar de un individuo, como investigaron Tajfel y Turner (1979); y la salud de una persona, como lo indican Kitchen y col. (2012).

Los procesos relacionados con la pertenencia, según Levine y col. (1998), son los siguientes: identificación de la persona con los individuos que conforman su grupo; y su compromiso y motivaciones para ser parte activa para cimentar y organizar el grupo.

Para una organización, el sentido de pertenencia de sus empleados es indispensable para compartir sus objetivos y valores, sentir deseos de quedarse, y percibirse aceptados, estimados e involucrados como miembros significativos de un grupo (Goodenow y Grady, 2010).

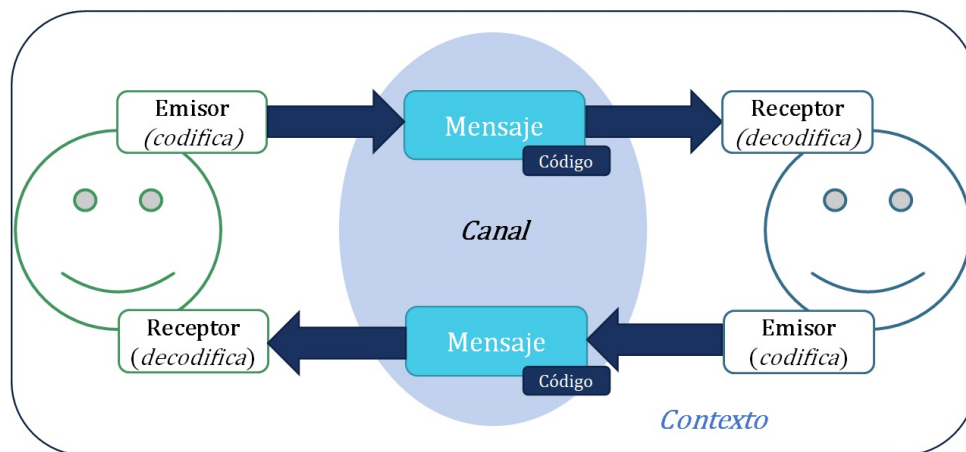
El sentido de pertenencia está asociado con el desarrollo grupal, específicamente con la tercer etapa (normalización), en la que la cohesión grupal emerge y los miembros de un grupo se sienten como parte del mismo, es decir, desarrollan el sentimiento de pertenencia al grupo.

## **2.3. Proceso de comunicación y desarrollo de software**

De forma general, **comunicación** es el proceso mediante el cual se crea y transmite un mensaje (información) de una persona o grupo a otro.

Existen varios componentes en el proceso de comunicación que pueden identificarse en los

modelos de comunicación existentes. Tres tipos populares de modelos de comunicación son los modelos lineales, los modelos transaccionales y los modelos interactivos. Los modelos lineales, como el modelo de Shannon y Weaver (1949) y el modelo de Berlo (1960), son modelos simples en un solo sentido, en los que una fuente envía un mensaje a través de algún canal a un receptor. En estos modelos, los mensajes solo son enviados por la fuente y el receptor solo recibe el mensaje, por lo que no existe retroalimentación. Los modelos transaccionales, como el modelo de Barnlund (1970), se centran en las funciones de comunicación (Littlejohn y Foss, 2009) y relacionan la comunicación con la cultura y la realidad social. En estos modelos, los interactuantes pueden enviar y recibir mensajes, que pueden ser verbales o no verbales. En los modelos interactivos, los interactuantes son simultáneamente decodificadores y codificadores (Littlejohn y Foss, 2009). Schramm (1954) creó un modelo interactivo, en el que los mensajes viajan de un intérprete (codificador) a otro (decodificador), y luego regresan del segundo intérprete (como codificador) al intérprete original (como decodificador). Los modelos interactivos se usan ampliamente en comunicaciones tecnológicas y se pueden usar para modelar la comunicación realizada a través de diversas herramientas de desarrollo de software. La Figura 2.1 muestra un modelo interactivo básico de comunicación.



**Fig. 2.1:** Modelo interactivo de comunicación

Los siguientes, son los elementos más importantes de un proceso de comunicación y se incluyen en la mayoría de los distintos tipos de modelos de comunicación que existen.

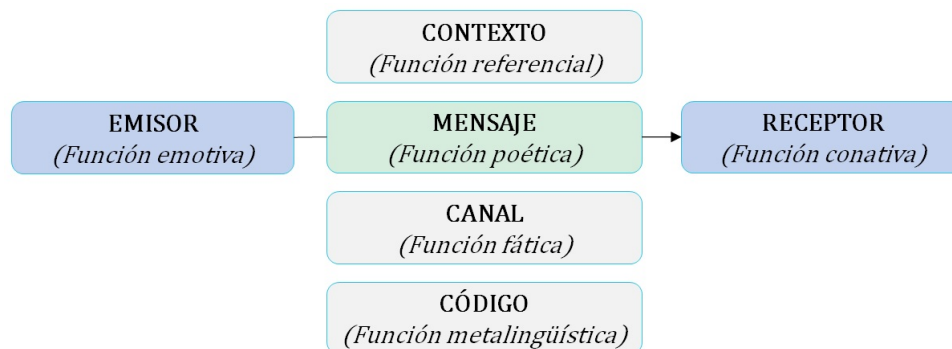
- **Contexto.** Circunstancias en las que tiene lugar la comunicación. El contexto puede incluir factores ambientales, tiempo, cultura y realidad social.
- **Interactuantes.** Personas, cosas o entidades que interactúan en un proceso de comunicación. En los modelos transaccionales, los interactuantes pueden ser emisores y receptores, según los roles que desempeñan.
  - **Emisor/codificador.** Persona, cosa o entidad que crea, codifica y envía un mensaje.
  - **Receptor/decodificador.** Persona, cosa o entidad que recibe y decodifica un mensaje.
- **Mensaje.** Información que se transmite.
- **Canal.** El medio utilizado para transmitir el mensaje.

- **Código.** Símbolos (letras, números, etc.) usados para representar el mensaje.

Los mensajes pueden clasificarse según su función u objetivo. Jakobson (1963) propuso las siguientes seis funciones de comunicación, cada una asociada a un elemento del proceso de comunicación.

- **Función referencial**, que se utiliza para describir un fenómeno y se centra en el contexto o la situación.
- **Función expresiva/emotiva**, que se centra en el emisor para describir sus sentimientos, pensamientos o estado.
- **Función conativa**, que se centra y utiliza para cambiar el comportamiento del receptor del mensaje. Las sentencias imperativas e interrogativas son oraciones conativas.
- **Función fática**, que se centra en el canal de comunicación y se utiliza para construir relaciones entre los interactuantes.
- **Función metalingüística**, que se refiere al uso del lenguaje para describirlo a él mismo.
- **Función poética**, que se centra en el mensaje y su uso.

Las funciones antes descritas y su asociación con los elementos del proceso de comunicación se muestran en la Figura 2.2.



**Fig. 2.2:** Funciones y elementos de comunicación

La comunicación en el desarrollo de software se puede realizar de varias maneras, incluida la comunicación directa o cara a cara, utilizando herramientas de software, y mediante dispositivos móviles. Las personas distribuidas geográficamente a menudo usan herramientas de software (tales como los sistemas de registro de incidencias o *Issue Tracking Systems*) para comunicarse y administrar proyectos de software.

### 2.4. Revisiones sistemáticas de literatura

Una revisión sistemática de literatura (RSL) es un método de investigación que tiene como objetivo buscar e identificar todo el material relevante relacionado con un tema (Kitchenham

y col., 2015).

Una RSL se realiza siguiendo el paradigma “basado en evidencia” ya que se busca recolectar evidencia sólida a través de la selección objetiva de estudios relevantes y la síntesis sistemática de las salidas de esos estudios. Es por lo anterior que una RSL se considera un estudio secundario debido a que genera sus salidas a partir de material de estudios primarios (Kitchenham y col., 2015), es decir, investigaciones en las que se realiza un estudio directo de las fuentes primarias. Ejemplos de estudios primarios son los experimentos y los estudios de casos.

Durante la conducción de una RSL se busca que los procedimientos de la revisión sean objetivos, analíticos, y tan repetibles como sea posible. De acuerdo con la metodología propuesta por Kitchenham y col. (2015), una RSL incluye nueve actividades (Figura 2.3), mismas que se describen a continuación.

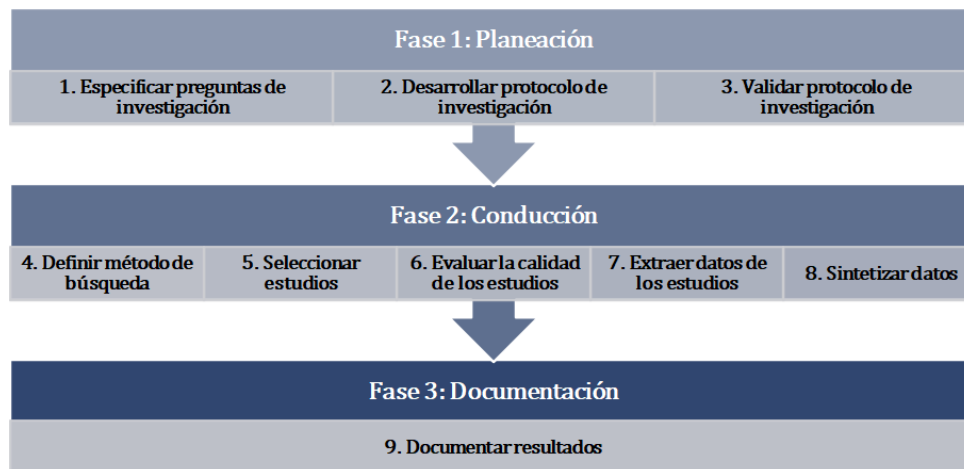


Fig. 2.3: Metodología de la revisión sistemática de literatura

1. **Especificación de las preguntas de investigación.** Etapa en la que se plantean las preguntas que conducen el proceso de revisión proporcionando las bases para: decidir qué estudios primarios incluir en una revisión, y por lo tanto conducir la estrategia de búsqueda; y decidir qué datos deben extraerse y cómo serán sintetizados con el objetivo de obtener información para dar respuesta a las preguntas de investigación.
2. **Desarrollo del protocolo de investigación.** Etapa en la que se fundamenta la necesidad de la RSL, se definen las limitaciones del estudio y las estrategias de búsqueda, selección, y evaluación de estudios primarios. En esta etapa también se especifican las estrategias de extracción y síntesis de datos, y se define el calendario de actividades.
3. **Validación del protocolo de investigación.** Actividad para validar la claridad del protocolo de investigación, la relevancia de la RSL para la comunidad científica, la justificación de la RSL, y la claridad e integridad de cada estrategia propuesta.
4. **Definición del método de búsqueda.** En esta etapa se especifican los criterios para iniciar y terminar la búsqueda de estudios primarios. En esta etapa también se definen las técnicas manuales y/o automáticas de búsqueda (que pueden incluir el uso de bibliotecas



digitales y sistemas de indexamiento), las palabras clave para la búsqueda, y la identificación de los términos de importancia y sus sinónimos.

5. **Selección de estudios.** Etapa en la que se identifican los estudios que pueden aportar la evidencia requerida para responder las preguntas de investigación. Para esto, se definen criterios que permitan incluir y excluir estudios. Una vez definidos los criterios, se revisan los estudios y se consideran solo aquellos que cumplen los criterios especificados.
6. **Evaluación de la calidad.** Actividad realizada para asegurar que los resultados de un estudio empírico sean válidos. Para esto, se pueden definir criterios de calidad de reporte, criterios de rigor (que evalúan detalles del diseño de la investigación), criterios de credibilidad (para determinar si los resultados de los estudios tienen validez), y criterios de relevancia (para determinar la relevancia del estudio en la práctica). Una vez definidos los criterios, se califican los estudios de acuerdo a los criterios definidos y se conservan sólo los estudios de alta calidad.
7. **Extracción de datos.** Actividad en la que se extrae la información indispensable para generar respuestas a las preguntas de investigación. Dicha información puede ser cualitativa (textos) o cuantitativa (datos numéricos).
8. **Síntesis de datos.** Actividad en la que se analizan, clasifican, sintetizan y procesan los datos extraídos. Dependiendo de los tipos de datos extraídos, se pueden usar técnicas cualitativas o cuantitativas.
9. **Reporte.** En esta etapa se planea el reporte de los resultados, y se escribe y valida el reporte de la RSL. El reporte de una RSL debe proporcionar trazabilidad (un claro enlace desde las preguntas de investigación hasta las conclusiones) y repetibilidad (asegurar que la metodología sea definida claramente y con suficiente detalle para su replicación).

Las RSLs pueden subdividirse con base en los datos que sintetizan (cualitativos o cuantitativos). Esto determina la forma en la que la extracción y síntesis de datos deben ser realizadas. En las revisiones cuantitativas, las entradas usualmente provienen de experimentos o actividades de minería de datos de repositorios existentes. Para estas revisiones, es recomendable realizar un meta-análisis estadístico como método de síntesis. Las revisiones cualitativas usualmente incluyen preguntas sobre el uso específico de tecnologías y muchas veces no involucran comparaciones (Kitchenham y col., 2015).

Un estudio de mapeo sistemático o *systematic mapping study* (SMS) es un tipo de RSL cuyo objetivo es inspeccionar o estudiar el conocimiento disponible sobre un tema. Posteriormente, se sintetiza el conocimiento mediante una categorización con el objetivo de identificar “grupos” de estudios (que puedan formar las bases de una revisión más completa) y “vacíos” de investigación (indicando la necesidad de más estudios primarios) (Kitchenham y col., 2015). Un SMS comúnmente se realiza cuando se estudian tendencias de investigación y se requiere analizar cómo ha evolucionado la investigación en un tema en un periodo de tiempo, o cuando se requiere una revisión de literatura del estado del arte relacionada a un tema. Para los estudios de doctorado en los que se planea realizar estudios empíricos, el uso de SMSs puede proporcionar un estado inicial útil para la investigación. Además, los SMSs pueden usarse para estudiar definiciones y tendencias de investigación (Kitchenham y col., 2015).

Algunas actividades de las RSLs se han automatizado mediante herramientas tecnológicas, algunas de las cuales, facilitan las búsquedas y la extracción y síntesis de datos. Sin embargo, aún no existen herramientas que evalúen automáticamente la calidad de estudios primarios, es decir, que permitan validar automáticamente que un estudio cuenta con el rigor, claridad, credibilidad y relevancia necesarios. Un SMS sobre herramientas que soportan actividades de RSLs, conducido por Marshall y Brereton (2013), reportó evidencia sobre esto. En general, las herramientas existentes (incluyendo StArt, propuesta por Fabbri y col. (2016)) facilitan actividades como la colaboración y el registro de datos; sin embargo, no permiten automatizar todo el proceso de una RLS.

### 2.5. Investigación empírica y estudios de casos en ingeniería de software

La investigación empírica es una actividad mediante la que se adquiere conocimiento a través de la observación o experiencia directa y/o indirecta. Este tipo de investigación utiliza evidencia empírica y se ha vuelto una parte muy importante de la práctica y la investigación en ingeniería de software de acuerdo con Shull y col. (2010).

La investigación empírica puede ser de carácter deductivo o inductivo. La investigación empírica es **inductiva** cuando la teoría está inducida a partir de las observaciones: el investigador primero observa con la mente abierta, identifica patrones de observación, establece hipótesis tentativas y finalmente las relaciona a una teoría existente o desarrolla una nueva teoría. La investigación empírica es **deductiva** cuando ésta comienza con una teoría existente, después se establecen hipótesis y finalmente se realizan observaciones.

Un **estudio de casos** o *case study* (CS) es un método de investigación empírica basado en diversas fuentes de evidencia que permitan el estudio de una o algunas pocas entidades sobre un fenómeno contemporáneo, especialmente, cuando el fenómeno y su contexto no cuenten con límites que sean evidentemente claros, tal como lo indican Yin (2014) y Runeson y col. (2012).

Los CSs se usaron originalmente para propósitos exploratorios (saber lo que pasaba, buscar nuevas ideas y establecer nuevas hipótesis), sin embargo, en la actualidad también se usan para describir o explicar una situación o fenómeno (Runeson y col., 2012). Adicionalmente, los estudios de casos pueden usarse para mejorar o producir un cambio en el fenómeno que se estudia en la forma de un *action research* (Wieringa y Morali, 2012).

Los estudios de casos pueden tener tanto características de investigación empírica deductiva como inductiva. Un estudio de casos exploratorio tiene características inductivas, mientras que un estudio de casos explicativo tiene características deductivas.

En un CS se puede recolectar datos cualitativos y cuantitativos. Los datos cualitativos incluyen palabras, descripciones, imágenes, diagramas, etc., y estos datos se analizan usando categorización y ordenamiento. Los datos cuantitativos involucran números y clases, y comúnmente se analizan usando métodos estadísticos. La combinación de datos cualitativos y cuantitativos en un estudio ("*mixed methods*") puede proporcionar un mejor entendimiento del fenómeno estudiado.

El diseño de un CS es típicamente flexible, lo que significa que los principales parámetros pueden cambiarse durante el estudio (Runeson y col., 2012). Por otra parte, los experimentos y *surveys* son estudios con diseño fijo, en los cuales, todos los parámetros se definen desde el comienzo de la investigación (Runeson y col., 2012).

Un estudio de casos es una estrategia factible cuando se estudia un fenómeno contemporáneo en un contexto del mundo real (particularmente cuando no existe claridad de los límites entre el fenómeno y su contexto), tal como lo indican Runeson y col. (2012). Las preguntas de investigación son un criterio importante para la selección de un estudio de casos como método principal de investigación: para las preguntas exploratorias los estudios de casos empatan perfectamente; para las preguntas descriptivas, un estudio de casos puede ser factible si la representatividad de un estudio basado en muestreo puede sacrificarse para un mejor realismo (si la representatividad es crítica puede ser mejor conducir un *survey*); las preguntas explicativas pueden conducirse en estudios de casos, pero la evidencia no es un análisis cuantitativo estadísticamente significativo de un muestreo representativo, sino más bien un entendimiento cualitativo de como el fenómeno funciona en el contexto, si la evidencia cuantitativa es crítica, la estrategia del experimento es mejor opción; para propósitos de mejora, el *action research* es la opción natural. Además un estudio de casos es una buena opción cuando el grado de control no es un asunto crítico (Runeson y col., 2012).

El proceso para conducir un estudio de casos es el mismo para cualquier tipo de estudio empírico e incluye las siguientes actividades: diseño del estudio, preparación para la recolección de evidencia, recolección de la evidencia, análisis de datos y reporte del estudio. A continuación, se describen estas actividades.

### 2.5.1. Diseño del estudio

Actividad en la que se especifican los objetivos y se planea el estudio. A continuación, se listan los elementos que puede incluir el diseño de un estudio de casos (Runeson y col., 2012).

- Razonamiento para la conducción del estudio. Se debe definir una razón clara, que comúnmente es hacer una contribución al conocimiento de un tema.
- Definición del propósito del estudio, es decir, lo que se espera lograr con la conducción del estudio.
- Unidades y casos de estudio. Los casos son las entidades a ser estudiadas (cada una se encuentra en un contexto particular), y las unidades son los elementos de análisis.
- Marco teórico del estudio, el cual clarifica el contexto del estudio y puede expresarse en términos de trabajo relacionado. Verner y col. (2009) recomiendan que se realice una revisión exhaustiva de literatura antes de una investigación para formar una base sólida para el estudio en cuestión.
- Preguntas de investigación. Son declaraciones sobre el conocimiento que se busca o se espera descubrir durante el estudio. Pueden organizarse en una jerarquía con base en la descomposición de los objetivos de investigación.

- Las proposiciones e hipótesis. Las proposiciones son predicciones que pueden deducirse lógicamente de la teoría, y las hipótesis se generan a partir de proposiciones.
- Conceptos y medidas. Son las entidades y atributos definidos y medidos. Los conceptos utilizados en las preguntas de investigación, las proposiciones y las hipótesis deben definirse y, cuando corresponda, también deben definirse las medidas para esos conceptos. Algunos conceptos pueden no ser directamente medibles y puede ser necesario identificar y definir medidas en su sustitución.
- Métodos de recolección de datos.
- Métodos de análisis de datos con base en los datos que se requiere recolectar.
- Estrategia de selección de casos y unidades de análisis.
- Estrategia de selección de datos, que incluye la forma en la que los datos serán identificados y seleccionados. Incluye las directrices para seleccionar las fuentes de datos.
- Estrategia de replicación, en la que se define si el estudio tiene la intención de replicar literal o teóricamente un estudio previo, o si no hay intención de replicación.
- Criterios de validez, fiabilidad y el aseguramiento de la calidad del estudio. Se especifica la forma en la que se verificará la calidad de los datos recopilados y la calidad del análisis.

### 2.5.2. Preparación para la recolección de datos

Etapa en la que se disponen las actividades y protocolos para recolectar datos. Los siguientes tres principios se deben considerar antes y durante la recolección de datos de acuerdo con Verner y col. (2009):

- usar múltiples fuentes de datos;
- crear una base de datos del estudio de casos; y
- validar los datos y mantener una adecuada cadena de evidencia.

### 2.5.3. Recolección de la evidencia

Etapa en la que se ejecutan los procedimientos para recolectar datos. De acuerdo con Lethbridge y col. (2005), existen tres métodos de recolección de datos: los directos, los indirectos y los independientes.

- **Métodos directos o de primer grado.** En estos métodos, el investigador tiene interacción directa con los entrevistados (o entidades estudiadas) y recolecta datos en tiempo real (Runeson y col., 2012). Debido a que estos métodos son principalmente observacionales, son a menudo subjetivos y en ocasiones no permiten medidas de tiempo precisas. Además, es difícil

analizar los datos recolectados y existe el riesgo de cambiar el proceso estudiado por el simple hecho de observarlo (Shull y col., 2010). Entre los métodos directos se encuentran: lluvia de ideas, grupos focales (*focus groups*), entrevistas, cuestionarios, modelos conceptuales, diarios de trabajo, *shadowing* y observación. A continuación, se describen algunos de éstos métodos.

- *Entrevistas*. Es un método común en los estudios de casos. En una entrevista, el investigador platica con el entrevistado y le hace preguntas que el entrevistado trata de contestar. El proceso se guía por una serie de preguntas, las cuales deben estar basadas en un tema de interés. Las preguntas pueden ser abiertas (permiten un amplio rango de respuestas y temas para el entrevistado) o cerradas (ofrecen un conjunto limitado de respuestas). Una entrevista puede ser no estructurada, semiestructurada o completamente estructurada. Una entrevista no estructurada se orienta en la forma en que los individuos experimentan cualitativamente el fenómeno, y las preguntas son abiertas y relacionadas a temas e intereses generales (Runeson y col., 2012). En las entrevistas semiestructuradas se planean las preguntas pero no necesariamente se preguntan en orden, se enfocan en estudiar cómo los individuos experimentan cualitativa y cuantitativamente el fenómeno, y mezcla preguntas abiertas y cerradas (Runeson y col., 2012). Las entrevistas completamente estructuradas están enfocadas en buscar relaciones entre constructos (variables a medir), e incluyen preguntas cerradas que se preguntan en el orden planeado.
  - *Grupos focales*. Es una técnica en la que la recopilación de datos se realiza con varias personas al mismo tiempo en una sesión similar a una entrevista (Kontio y col., 2008). Los grupos focales son muy útiles en la investigación cualitativa y tienen las siguientes ventajas de acuerdo con Kontio y col. (2008): permiten el descubrimiento de nuevas ideas debido a diferentes antecedentes y a la naturaleza de la composición del grupo; las personas pueden confirmar (o rechazar) hechos que hubieran estado ocultos en una entrevista individual; son rentables debido a que varias personas se entrevistan al mismo tiempo; proporcionan profundidad debido a la naturaleza de una discusión en comparación con un cuestionario por ejemplo; proporcionan un beneficio comercial para los participantes, ya que pueden establecer contactos y comparar sus propias formas de trabajo con los otros participantes.
  - *Cuestionarios*. Son conjuntos de preguntas administradas en un formato escrito. Tienen la ventaja de poder administrarse rápida y fácilmente, e involucran costos bajos. Además, los investigadores no tienen que agendar sesiones para proporcionarlos y con ellos se puede recolectar información de un gran número de personas en diferentes lugares geográficos. Resultan un instrumento útil si las preguntas se plantean correctamente.
- **Métodos indirectos o de segundo grado**. Métodos en los que el investigador recopila de manera directa los datos sin tener interacción con los entrevistados durante el proceso de recolección (Runeson y col., 2012). Estos métodos requieren que el investigador tenga acceso al ambiente de las personas o entidades investigadas. Entre estas técnicas se encuentran *Fly on the Wall* (técnica de observación indirecta mediante medios como a grabación de audio o video), y el monitoreo automático de herramientas o sistemas.
  - **Métodos independientes o de tercer grado**. En estos métodos, el investigador analiza independientemente los artefactos de trabajo que tenga a su disposición (Runeson y col.,

2012). Intentan descubrir información sobre cómo trabajan las personas o entidades estudiadas observando sus resultados y productos de trabajo. Entre estas técnicas se encuentran el análisis de bases de datos electrónicas, el análisis de riesgo de uso de herramientas, el análisis de documentación, y el análisis estático y dinámico.

- *Análisis de bases de datos electrónicas.* Análisis de datos provenientes de herramientas como sistemas de registro de incidencias (*Issue Tracking Systems*), sistemas de peticiones de cambios, y sistemas de administración de la configuración. Una de sus ventajas es el gran número de datos disponibles, la estabilidad de los datos, y la ausencia de la influencia de los investigadores (Shull y col., 2010).

### Métricas

Una medición es el proceso de asignar etiquetas (comúnmente números o valores) a un atributo de un objeto o actividad. El proceso de asignación y los números resultado se denominan métricas. Las métricas, en ingeniería de software, permiten, entre otras cosas, la gestión de proyectos y el aseguramiento de la calidad.

Los datos pueden definirse y recolectarse durante el estudio de casos, o pueden estar previamente disponibles para ser usados en el estudio.

#### 2.5.4. Análisis de datos

Etapa en la que se definen los procedimientos para analizar los datos recolectados. En esta fase, los datos se utilizan para comprender lo que realmente sucede en el caso estudiado, comprender los detalles del caso y buscar patrones en los datos. El objetivo básico del análisis de datos es derivar conclusiones de los datos recolectados, manteniendo una clara cadena de evidencia, es decir, un claro seguimiento de la derivación de resultados y conclusiones a partir de los datos recolectados.

Los procedimientos de análisis de datos se dividen en métodos cualitativos y métodos cuantitativos.

- **Métodos cualitativos.** En estos métodos, el análisis de datos se realiza en paralelo con la recolección, muchas veces, a través de varias iteraciones, yendo varias veces de la recolección al análisis y viceversa. Esto es necesario ya que puede revelar la necesidad de recolectar más datos. La observación y las entrevistas son técnicas que permiten la recolección de datos cualitativos. Los siguientes pasos se realizan típicamente durante un análisis cualitativo de acuerdo con Robson (2002).
  - Estudio inicial y a detalle del material que surgió de las actividades de recolección (entrevistas, etc.).
  - Codificación de datos. Se asignan a los textos códigos, que pueden representar temas, áreas, constructos, etc. Se puede asignar un código a varias piezas de texto y varias piezas de texto pueden tener más de un código asignado. Los códigos pueden formar una

jerarquía de códigos y subcódigos. Además, el material codificado puede combinarse con comentarios y reflexiones del investigador.

- Identificar hipótesis. Identificar frases similares en diferentes partes del material, patrones en los datos, diferencias entre grupos y subgrupos, etc.
- Formular generalizaciones, las cuales pueden resultar en un cuerpo de conocimiento formalizado (paso final de una investigación).

De acuerdo con Yin (2014), las siguientes técnicas pueden ser útiles durante el análisis cualitativo: *pattern matching* (un patrón observado se compara con un patrón definido), *explanation building* (los patrones se identifican en función de las relaciones causa-efecto y se buscan explicaciones subyacentes), *time-series analysis* (análisis de lo que sucede en un caso durante el tiempo), *logic models* (análisis que se lleva a cabo con base en modelos lógicos que explican series más complejas de relaciones causa-efecto), *cross-case synthesis* (este análisis puede llevarse a cabo si se ha realizado un estudio de casos múltiple, en el que se pueden comparar los diferentes casos). Además, durante el análisis cualitativo se estudian grandes cantidades de texto, por lo que ciertas herramientas pueden resultar útiles para anotar y editar texto y trabajar con códigos.

- **Métodos cuantitativos.** Métodos que necesariamente asumen algunos procesos de mediciones válidas y precisas de algunos procesos de interés. Estos tipos de análisis generalmente incluyen técnicas matemáticas y estadísticas (Runeson y col., 2012).
  - Descripción estadística. Observación de los datos a través de medidas de tendencia central, medidas de dispersión, medidas de asociación, datos categóricos, datos ordinales, etc. Estas medidas se utilizan para comprender los datos recolectados y es un paso común previo a la aplicación de algunos otros métodos de análisis.
  - Comparación de datos categóricos o datos ordinales.
  - Desarrollo de modelos predictivos. Se realiza para describir cómo una medición en una actividad (posterior) está relacionada con una medición de un proceso realizado anteriormente. Los modelos predictivos pueden utilizar análisis de correlación y/o regresión.
  - Pruebas de hipótesis. Se realizan para saber si existe un efecto con significación de una o más variables (variables independientes) en una o varias variables distintas (variables dependientes).

Los métodos de análisis cuantitativo suelen asumir un diseño de investigación fijo. Esto significa que el diseño se completa antes de que comience la recopilación de datos y no es posible cambiar el diseño cuando la recopilación de datos ha comenzado.

### 2.5.5. Reporte

Etapas en la que el estudio y sus conclusiones se reportan. El reporte de un estudio es importante porque puede ayudar a otros a entender el estudio, a juzgar si el estudio puede incluirse en un meta-análisis o RSL, a entender claramente qué tanto se pueden aplicar los hallazgos del estudio, a hacer decisiones bien informadas sobre cuándo, cómo y dónde conducir nuevos estudios de casos, y para tomar mejores decisiones sobre políticas y prácticas (Runeson y col., 2012).

Los tipos de audiencias que pueden interesarse en el reporte de un estudio de casos pueden incluir a los patrocinadores del estudio, los *stakeholders* y participantes del estudio, las comunidades de práctica, el gobierno y a aquellos que hacen políticas, comunidades de investigación, y comunidades académicas (Runeson y col., 2012).

El reporte de un estudio de casos incluye, de acuerdo con Kitchenham y col. (2006) y Jedlitschka y Pfahl (2005): el título, los autores, un resumen estructurado, la introducción (con la problemática, objetivos de investigación y contexto), el trabajo relacionado (teoría y estudios previos), el diseño del estudio (preguntas de investigación, selección de tema y casos, procedimientos para recolectar y analizar datos, procedimientos de validez), los resultados, conclusiones (hallazgos, implicaciones, limitaciones), trabajo futuro, agradecimientos, referencias y apéndices.

### 2.5.6. Características de un buen estudio de casos

Un buen estudio de casos es flexible (hace frente a la complejidad y al dinamismo del fenómeno del mundo real), sus conclusiones están fundamentadas en una clara cadena de evidencia (basada en la recolección de múltiples fuentes de una manera planeada y consistente), y aporta al conocimiento existente estando basado en teorías establecidas previamente (si tal teoría existe) o construyendo nuevas teorías (Runeson y col., 2012).

Un buen estudio de casos debe poder replicarse, para lo que el estudio debe contar con suficiente transparencia que permita a otros su replicación. Además, debe incluir la validez de los hallazgos de investigación.

La validez de un estudio denota la confiabilidad de los resultados y hasta qué punto éstos no están influenciados por el punto de vista subjetivo de las personas involucradas en la investigación. Los siguientes, son los criterios de validez más relevantes considerando los lineamientos de Runeson y col. (2012), Jedlitschka y Pfahl (2005) y Jedlitschka y col. (2008).

- **Validez de constructo.** Este aspecto de la validez refleja hasta qué punto las medidas operativas que se estudian realmente representan lo que el investigador tiene en mente y lo que se investiga de acuerdo con las preguntas de investigación.
- **Validez interna.** Este aspecto de la validez es de interés cuando se examinan las relaciones causales. Cuando el investigador está investigando si un factor afecta a otro factor investigado, existe el riesgo de que el factor investigado también se vea afectado por un tercer factor.
- **Validez externa.** Este aspecto de la validez se refiere la medida en que es posible generalizar los hallazgos y la medida en que los hallazgos son de interés para otras personas fuera del caso investigado.
- **Confiabilidad.** Este aspecto se refiere a la medida en que los datos y las actividades de análisis dependen de investigadores específicos.

Las siguientes son algunas de las estrategias más útiles que pueden usarse para mejorar la validez de un estudio de casos de acuerdo con Robson (2002).



- *Involucramiento prolongado*. Si el estudio se lleva a cabo durante un período de tiempo prolongado, o si hay otro tipo de relación a largo plazo entre el investigador y alguna organización estudiada, se puede construir una relación de confianza entre los investigadores y la organización.
- *Triangulación*. Significa considerar múltiples perspectivas de la entidad estudiada para generar un entendimiento más amplio. Los tipos de triangulación más usados son los siguientes.
  - Triangulación de datos (fuente), que significa usar más de una fuente de datos (p. ej. múltiples entrevistados) o recolectar los mismos datos en ocasiones diferentes.
  - Triangulación de observación, que implica usar más de un observador en el estudio.
  - Triangulación metodológica, que implica combinar diversos métodos de recolección de datos, como métodos cuantitativos y cualitativos.
  - Triangulación de teoría, que se refiere a usar teorías o perspectivas alternativas.
- *Peer debriefing*. Consiste en realizar investigaciones con un grupo de investigadores en lugar de uno solo, lo cual reduce el riesgo de sesgo por un investigador. Involucrar a un grupo de investigadores también puede ayudar a usar términos que los participantes entiendan, ya que un grupo de investigadores juntos puede saber más sobre el tema.
- *Member checking*. Actividad en la que los participantes de un estudio revisan el material recolectado.
- *Negative case analysis*. La formulación de explicaciones y teorías alternativas durante el análisis para poder mejorarlo.
- *Audit trail*. Es hacer un seguimiento de toda la información y materiales de manera sistemática, incluyendo datos, documentos de desarrollo y transcripciones, y diferentes versiones de documentos de análisis donde se desarrollan modelos e hipótesis y se formulan conclusiones.

# Revisión de literatura y trabajos relacionados

---

Con base en lo expuesto en el Capítulo 2 sobre las metas de eficiencia y efectividad que deben cumplir los equipos desarrollo ágil de software (DAS), y considerando la importancia del desarrollo grupal para el logro de objetivos, es fundamental contar con una revisión sistemática de literatura (RSL) para conocer los aspectos grupales que pueden afectar el DAS.

Este capítulo detalla la conducción de una RSL para identificar los factores que afectan la eficiencia y la efectividad en el DAS y que se han reportado en estudios de investigación primarios. Uno de los objetivos específicos de la RSL fue identificar cuáles de los factores identificados eran características de madurez grupal. La conducción de la RSL permitió establecer parte del trabajo relacionado de esta tesis y se publicó en un artículo presentado en el *5th International Conference in Software Engineering Research and Innovation* (Ramírez-Mora y Oktaba, 2017).

Este capítulo también incluye una sección que analiza los trabajos de investigación que han abordado el tema madurez grupal y su relación con la eficiencia y efectividad en el DAS. Adicionalmente, se incluye el análisis de algunos de los trabajos más importantes sobre comunicación grupal relacionados con madurez grupal, eficiencia y efectividad en el desarrollo de software.

## 3.1. Factores que afectan el DAS: estudio de mapeo sistemático

Se condujo una revisión sistemática de literatura (RSL) para identificar los factores reportados en estudios primarios que afectan la productividad (que involucra eficiencia y efectividad) en el DAS. En particular, se condujo un estudio de mapeo sistemático o *systematic mapping study* (SMS), que es una RSL que permite categorizar los datos extraídos y encontrar “vacíos” de investigación (Kitchenham y col., 2015). Los objetivos generales del SMS se listan a continuación.

- Identificar los factores más reportados que afectan la productividad en el DAS.
- Identificar cuáles de los factores son características de madurez grupal.
- Identificar las principales características de los estudios sobre productividad en el DAS.

Existen trabajos que reportan factores que afectan la productividad (que involucra eficiencia

---

y efectividad) en el DAS; sin embargo, no existen revisiones sistemáticas de literatura que analicen el estado actual de investigación y recopilen los resultados de los estudios en cuestión.

#### 3.1.1. Metodología

El estudio de mapeo sistemático se condujo siguiendo la metodología propuesta por Kitchenham y col. (2015), la cual está resumida en la Figura 2.3 y se explicó en la sección 2.4.

La pregunta general de investigación planteada es la siguiente:

PI: ¿Existen estudios primarios sobre factores que afectan la productividad en el desarrollo ágil de software?

Además, se plantearon las siguientes preguntas específicas de investigación con base en la pregunta general:

- $PI_1$ : ¿Qué métodos de investigación se utilizan en los estudios?
- $PI_2$ : ¿Sobre qué entidades se estudia la productividad?
- $PI_3$ : ¿Los estudios reportan el uso de métricas?
- $PI_4$ : ¿Qué procesos de ingeniería de software se estudian?
- $PI_5$ : ¿Qué metodologías ágiles se estudian?
- $PI_6$ : ¿Cuáles son los factores que afectan la productividad en el DAS? ¿Cuáles son características de madurez grupal?
- $PI_7$ : ¿Los estudios investigan la calidad de software o la satisfacción del cliente?

Las preguntas específicas se plantearon con el objetivo de analizar y categorizar los estudios primarios considerando sus características y contenido.

Con base en las preguntas de investigación planteadas, se estableció la estrategia de búsqueda. Se seleccionaron las siguientes fuentes digitales para la búsqueda de estudios primarios: *IEEEExplore*, *ScienceDirect*, *Scopus*, *Springer*, *Wiley* y la biblioteca digital de ACM (*ACM Digital Library*). Además, se definió la siguiente cadena de búsqueda que permitió identificar los estudios de interés: “(*productivity* OR *performance*) AND (*agile* OR *Scrum* OR *Extreme Programming*) AND ((*software* OR *system*) AND (*development* OR *maintenance* OR *management* OR *creation* OR *construction*))”. La cadena de búsqueda se basó en cuatro conceptos principales derivados de la pregunta de investigación general (productividad, desarrollo, software y ágil).

Para proceder con la búsqueda de estudios, se ingresó la cadena de búsqueda en el buscador de las bibliotecas y bases de datos digitales seleccionadas, considerando el título, el resumen y las palabras clave en la búsqueda. Además, se refinó la búsqueda para considerar solamente artículos escritos en inglés y publicados en los 10 años anteriores.

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA Y TRABAJOS RELACIONADOS

---

Después del proceso de búsqueda, se procedió con la selección de estudios primarios relevantes, para lo cual, se aplicó un conjunto de criterios para incluirlos o excluirlos, y se definió una estrategia de selección. Los criterios de inclusión que se especificaron se listan a continuación.

1. Incluir solamente estudios primarios.
2. Incluir estudios relacionados con la productividad en el DAS.
3. Incluir trabajos publicados a partir de 2006.
4. Incluir estudios escritos en idioma inglés.
5. Incluir estudios realizados con practicantes de ingeniería de software.

Los criterios de exclusión que fueron especificados se listan a continuación.

1. Excluir reportes técnicos, de debate o discusión.
2. Excluir trabajos duplicados.
3. Excluir estudios realizados únicamente con estudiantes.
4. Excluir trabajos cuyo tema principal no sea la productividad en el DAS.

La estrategia de selección incluyó los pasos de la Tabla 3.1 en los que se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión anteriormente definidos.

**Tabla 3.1:** Estrategia para la selección de estudios primarios

<b>Paso</b>	<b>Descripción</b>	<b>Criterios de inclusión</b>	<b>Criterios de exclusión</b>
1	Búsqueda de estudios en las bibliotecas digitales seleccionadas.	2 y 3	-
2	Lectura del título y resumen de cada artículo encontrado.	1, 4 y 5	1, 3 y 4
3	Lectura de los resultados y conclusiones de cada artículo incluido después del paso 2.	1 y 4	1 y 4
4	Eliminación de trabajos duplicados.	-	2
5	Lectura completa de los artículos seleccionados después del paso 4.	1 y 4	1, 3 y 4

Después de concluir el proceso de selección, se evaluó la calidad de los estudios primarios seleccionados con la finalidad de incluir únicamente trabajos de calidad. Para lo anterior, se establecieron los criterios de calidad que se listan a continuación.

1. Criterios de calidad de reporte:

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA Y TRABAJOS RELACIONADOS

---

- a) Relevancia y claridad de los objetivos de investigación.
- b) Definición clara de hipótesis y preguntas de investigación.
- c) Explicación clara del contexto de investigación.

#### 2. Criterios de rigor:

- a) Diseño adecuado de la investigación para dirigir los objetivos de investigación.
- b) Métodos de recolección de datos suficientes para el propósito de la investigación.
- c) Métodos de análisis suficientes para el propósito de la investigación.

#### 3. Criterios de credibilidad:

- a) Claridad de los resultados presentados.

#### 4. Criterios de relevancia:

- a) Valor del estudio para investigadores y practicantes.
- b) Relevancia del tema de productividad o desempeño en el estudio.

Para determinar si un estudio contaba con el nivel de calidad adecuado, se asignó un valor numérico (entre 0 y 2) a cada criterio de acuerdo a lo siguiente: 2 puntos si el criterio se cumplió, 1 punto si el criterio se cumplió parcialmente y 0 puntos si el criterio no se cumplió. Posteriormente se descartaron los estudios con menos del 80 % de los puntos totales posibles.

El proceso de extracción se realizó después del proceso de evaluación de calidad. De cada estudio primario se extrajeron los siguientes datos: nombre de autor(es), el título, fecha (año) de publicación, número de páginas, ISSN y/o DOI, tipo de publicación (congreso o revista), nombre del congreso o revista de publicación, palabras clave, y biblioteca donde se encontró el documento. Además, la Tabla 3.2 incluye la información extraída que permitió analizar y clasificar los estudios para generar las respuestas a las preguntas de investigación.

El proceso de síntesis de datos se realizó después del proceso de extracción de datos. Para sintetizar la información, cada pieza de información extraída se categorizó, y se contó el número de estudios con piezas de información en cada categoría.

#### 3.1.2. Resultados

Como parte del SMS, se analizaron 25 estudios primarios (Apéndice A), de los cuales, 64 % corresponden a trabajos presentados en congresos y 36 % son artículos de revista.

El método de investigación más usado correspondió al estudio de uno o múltiples casos (*case study*), con 48 % del total de los estudios (más dos *field studies*, que corresponden al 8 % y que pueden verse como estudios de casos múltiples). Los *surveys* fueron el segundo método de investigación más utilizado (24 % de los artículos), los cuales se centraron en recopilar información estandarizada de una población específica mediante cuestionarios o entrevistas con el fin de proporcionar una visión general de algunos aspectos de productividad. El 12 % de los trabajos

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA Y TRABAJOS RELACIONADOS

**Tabla 3.2:** Datos extraídos

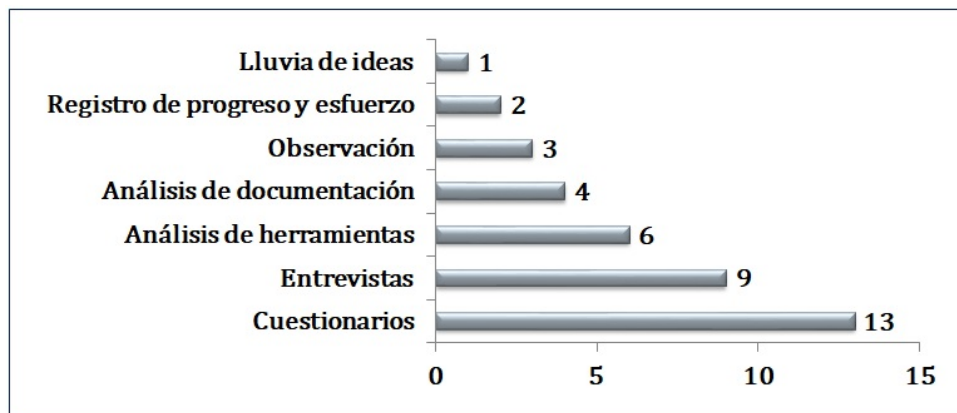
Pieza de información	Descripción	Pregunta de investigación relacionada
Método de investigación	Método general de investigación reportado (estudio de casos, <i>survey</i> , experimento, estudio de campo, etc.).	1
Método de recolección de datos	Métodos de recolección de datos utilizados en el estudio (observaciones, cuestionarios, entrevistas, etc).	1
Tipo de datos	Tipos de datos recolectados y analizados en el estudio (cualitativos, cuantitativos o ambos).	1
Nivel de productividad/desempeño	Si la productividad se estudió a nivel de equipo/grupo, proyecto o general.	2
Métricas	Tipo de métricas utilizadas (productividad, calidad, etc.).	3
Procesos	Tipos de procesos estudiados (de administración de proyecto, de implementación de software, o ambos).	4
Metodología	Metodología ágil estudiada (Scrum, XP, etc).	5
Factores	Factores identificados que afectan la productividad en el DAS, identificando aquellos que corresponden a características de madurez grupal.	6
Calidad	Aspectos de calidad estudiados relacionados con productividad.	7

realizaron experimentos como método de investigación. Otros métodos de investigación reportados (que representan el 8 % del total de los artículos) incluyen un estudio piloto y un estudio cuyo principal método de recolección fue un *focus group*.

La Figura 3.1 presenta las técnicas de recolección de datos reportadas en los estudios primarios. Las entrevistas y cuestionarios resultaron ser las técnicas más reportadas, las cuales son técnicas directas o de primer grado.

Sobre el tipo de datos recopilados, el 48 % de los estudios recopiló solamente datos cuantitativos, el 28 % recopiló solamente datos cualitativos y el 24 % recopiló datos cualitativos y cuantitativos. La mayoría de los estudios recopilaron y analizaron datos cuantitativos (72 %) provenientes de mediciones de productividad o desempeño, y datos sintetizados de entrevistas y cuestionarios. Los datos cualitativos se recopilaron y analizaron principalmente en estudios centrados en explorar factores que afectan la productividad en el DAS.

Se consideraron los siguientes niveles de productividad para clasificar los estudios primarios seleccionados: proyecto (relacionado con procesos de trabajo), equipo/grupo (visto como el desempeño del equipo/grupo) y productividad/desempeño general en el DAS (que puede abarcar los niveles de proyecto y equipo). El nivel de equipo/grupo fue el nivel más estudiado (en 52 % de los estudios primarios), seguido por el nivel general (40 %) y el nivel de proyecto (8 %).



**Fig. 3.1:** Número de estudios que reportaron las distintas técnicas de recolección de datos

En muchos de los artículos analizados, el concepto de desempeño fue más utilizado que el de productividad (64%), particularmente en los estudios que analizaron equipos/grupos se utilizó el término “desempeño del equipo”, relacionado con la eficiencia y la efectividad de equipo. En algunos de los trabajos que estudiaron la productividad a nivel de proyecto y a nivel general, se utilizó el término “desempeño” más que el de “productividad” (especialmente en estudios que consideraban la efectividad y/o la calidad de software). Algunos de los estudios consideraron asociaciones entre la productividad y la eficiencia (20%), y otros (16%) asociaron la eficiencia y la efectividad con la productividad.

Muchos aspectos de la productividad son conceptos medibles, incluyendo el tiempo de desarrollo, la cantidad de trabajo producido, la eficiencia, la calidad de software y la satisfacción de usuarios o clientes. Sin embargo, el 56% de los estudios primarios no consideró ninguna métrica de productividad. Diez de los 11 estudios que reportaron el uso de métricas de productividad midieron la cantidad de software desarrollado (en términos del número de líneas de código, *Story Points* o del número de elementos desarrollados) y el tiempo o esfuerzo invertido en producirlo. Todas las métricas relacionadas con calidad de software consideraron la cantidad defectos en productos de software.

Los estudios se clasificaron de acuerdo con los procesos más estudiados: el proceso de gestión de proyectos o “*project management process*” (PMP) y el proceso de implementación de software “*software implementation process*” (SIP). La mayoría de los trabajos (76%) estudiaron aspectos tanto del PMP como del SIP. Las actividades del SIP se identificaron principalmente en trabajos que investigaron tareas específicas de ingeniería de software (pruebas de código, análisis de requisitos, diseño de software y codificación).

Sobre el contexto de investigación, los estudios primarios se categorizaron de acuerdo con la metodologías ágiles que investigaron. La Figura 3.2 muestra las metodologías ágiles identificadas. Once de los 25 estudios seleccionados (44%) no especificaron la metodología estudiada. Esto se debe a que varios estudios utilizaron encuestas (que no se centran en una unidad de estudio particular), y porque varios estudios aplicaron cuestionarios y entrevistas en varias organizaciones. *Scrum* fue la metodología más estudiada (36% de los estudios), ya sea sola o combinada con otras metodologías. Esto concuerda con un estudio (Versionone, 2020) en el que se indica que la metodología más popular es *Scrum* (75% de los que respondieron la encuesta anual de uso de

### 3. REVISIÓN DE LITERATURA Y TRABAJOS RELACIONADOS

métodos ágiles reportaron el uso de *Scrum*).

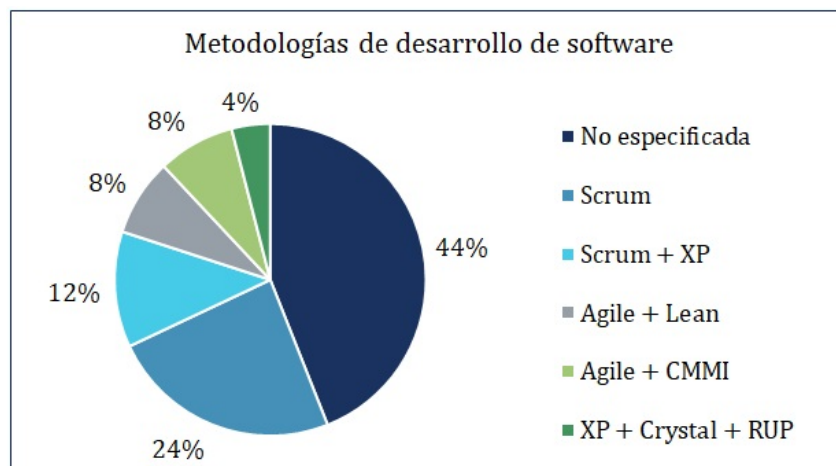


Fig. 3.2: Metodologías de desarrollo de software estudiadas

Se identificó una amplia variedad de factores que de alguna forma afectan aspectos de productividad en el DAS. Se encontró que la mayoría de los factores identificados eran estados y procesos de grupos de trabajo. Entre estos factores se identificaron características de madurez grupal, características de calidad de trabajo en equipo o *Teamwork Quality* (TWQ) (Hoegl y Gemuenden, 2001), y características de trabajo en equipo propuestas por Salas y col. (2005). La Figura 3.3 presenta las categorías en las que se agruparon los factores identificados en los estudios primarios.



Fig. 3.3: Factores que afectan aspectos de productividad y desempeño en el DAS

Los factores grupales en las categorías de *coordinación y liderazgo* y *comunicación* fueron los más reportados. Los factores identificados en la categoría de *coordinación y liderazgo* incluyen: liderazgo de equipo, adecuada administración de tiempo y cronograma, buena estimación de tareas, gestión de interrupciones de manera adecuada y la realización de tareas de planificación. Los factores identificados en la categoría de *tareas de ingeniería de software* incluyeron: tareas de construcción de software, pruebas y tareas de aseguramiento de la calidad. Los factores identificados en la categoría de *comunicación* incluyen: claridad en la comunicación y comunicación cercana



### 3. REVISIÓN DE LITERATURA Y TRABAJOS RELACIONADOS

---

entre las personas. Los factores identificados en la categoría de *contexto organizacional* incluyeron: rotación de personal, clima o ambiente organizacional y políticas organizacionales.

Debido a que la mayoría de los estudios primarios consideraron a los equipos o grupos de trabajo como su principal unidad de estudio, se analizaron por separado los factores que afectan la productividad de los mismos (Tabla 3.3). Los factores más reportados incluyen: adecuada coordinación, comunicación grupal clara, cooperación grupal alta, buen balance de la cantidad de trabajo entre las personas de un equipo, características del contexto organizacional, autonomía grupal alta, y una adecuada gestión de conocimiento.

**Tabla 3.3:** Factores que afectan el desempeño de equipos/grupos de DAS

Factor	No. de estudios
Factores de coordinación y liderazgo de equipo	10
Factores relacionados con la comunicación grupal	8
Factores de comportamiento de apoyo, cooperación y balance de la carga de trabajo	6
Factores relacionados con el contexto organizacional	5
Autonomía	3
Tareas de gestión de conocimiento	3
Cohesión grupal	2
Esfuerzo personal	2
Tareas de ingeniería de software	2
Confianza mutua	1
Adaptabilidad	1

En color azul se muestran los factores más relacionados con características grupales

Las **características de madurez grupal** que se identificaron como factores que afectan el desempeño de un equipo o grupo de trabajo en el DAS incluyen: liderazgo adecuado, toma de decisiones funcional, comunicación clara, mucho apoyo entre los miembros de un grupo, cohesión grupal alta y confianza mutua. Algunos de estos factores fueron los más citados en los estudios primarios analizados. Además, la adaptabilidad y la autonomía se identificaron como factores relacionados con características de agilidad en el desarrollo de software.

Los factores identificados se categorizaron considerando las entidades responsables de evitarlos o propiciarlos (equipo/grupo, organización, o entidades externas). Se encontró que la mayoría de los factores identificados dependen de los equipos o grupos de trabajo (86%), y solo el 14% de ellos dependen de las organizaciones o de entidades externas.

Los factores identificados también se categorizaron de acuerdo a su tipo de impacto (positivo o negativo). La mayoría de los factores identificados se relacionaron con un impacto positivo en la productividad. La Tabla 3.4 muestra el número de factores identificados por responsable y tipo de impacto. El 87% de los factores identificados que dependían de los equipos o grupos de trabajo afectaron positivamente la productividad; más de la mitad de los factores que dependieron de la organización afectaron negativamente la productividad; y todos los factores que dependieron de entidades externas afectaron negativamente la productividad.

**Tabla 3.4:** Distribución de los factores por responsable y tipo de impacto

Tipo de impacto	Responsable		
	<i>Equipo/grupo</i>	<i>Organización</i>	<i>Entidades externas</i>
<i>Positivo</i>	86.90 %	41.70 %	0 %
<i>Negativo</i>	9.50 %	58.30 %	100 %
<i>Positivo o negativo, dependiendo de la situación</i>	3.60 %	0 %	0 %

La calidad de artefactos y productos de software y la satisfacción del cliente son conceptos relacionados con la productividad en el DAS. Poco más de la mitad de los estudios (52%) consideraron la calidad del producto como parte de la productividad; otros consideraron la calidad del producto como un interés en el DAS, pero independientemente de la productividad. Sin embargo, la satisfacción del cliente no se consideró en ningún estudio primario como un interés primordial a pesar de que uno de los principios ágiles más importantes enfatiza la satisfacción del cliente mediante la generación temprana y frecuente de software útil.

#### 3.1.3. Resumen de principales hallazgos

- El estudio de casos fue el método de investigación más reportado en artículos sobre productividad en el DAS.
- Los cuestionarios se utilizaron ampliamente en los trabajos estudiados.
- La mayoría de los estudios analizados son exploratorios.
- La mayoría de los estudios seleccionados utilizaron técnicas directas de recolección de datos.
- La metodología ágil más estudiada es *Scrum*.
- La mayoría de los estudios que midieron la productividad, realizaron mediciones de la cantidad de producto generado y los recursos para producirlo.
- En algunos estudios se midió la calidad del producto, pero en ninguno la satisfacción de clientes o usuarios de software.
- La mayoría de los factores identificados están relacionados con el trabajo en equipo.
- La mayoría de las características de madurez grupal se identificaron como factores que impactan la eficiencia o efectividad de equipos o grupos de trabajo.
- Se identificaron pocos factores que no dependen de la forma de trabajo de los equipos o grupos de DAS.
- La mayoría de los factores identificados tienen un impacto positivo en la productividad en el DAS, particularmente, los factores grupales.

La metodología y resultados de la RSL están publicados a detalle en el artículo “*Productivity in Agile Software Development: A Systematic Mapping Study*” (Ramírez-Mora y Oktaba, 2017), y desde su publicación, se ha consultado y usado de referencia para diversas investigaciones y estudios en el área de ingeniería de software.

#### 3.2. Análisis de trabajos relevantes sobre madurez grupal y comunicación en el DAS

Esta sección presenta un análisis de los trabajos que reportan investigación sobre madurez grupal en el área de ingeniería de software, incluyendo el DAS. También se analizan algunos de los trabajos sobre comunicación grupal que tienen relación con madurez grupal, eficiencia y efectividad en el DAS.

En general, existe muy poca investigación sobre la madurez grupal en el DAS por lo que no fue requerida una revisión de literatura sistemática rigurosa como la presentada en la sección anterior. A continuación se presentan algunos de los trabajos relacionados.

Hoegl y Gemuenden (2001) y Lindsjørn y col. (2016) estudiaron seis facetas de la calidad del trabajo en equipo o *Teamwork Quality* (TWQ): comunicación, coordinación, balance de las contribuciones de los miembros, apoyo mutuo, esfuerzo y cohesión. En el primer trabajo (Hoegl y Gemuenden, 2001), se estudió el efecto del TWQ en el éxito del proyecto, y en el segundo (Lindsjørn y col., 2016), los autores estudiaron el efecto del TWQ en el desempeño, el aprendizaje y la satisfacción del equipo en el DAS. Ambos trabajos (Hoegl y Gemuenden, 2001; Lindsjørn y col., 2016) encontraron un efecto positivo del TWQ en el desempeño del equipo (descrito en términos de eficiencia y efectividad). La comunicación, el apoyo mutuo y la cohesión grupal pueden asociarse a características de madurez grupal aunque en los trabajos mencionados no fueron estudiados desde ese punto de vista.

Gren y col. (2015) estudiaron la correlación entre la agilidad y las etapas del desarrollo grupal utilizando el Modelo Integrado de Desarrollo Grupal o *Integrated Model of Group Development* (IMGD) (Wheelan y Hochberger, 1996). Los resultados sugirieron una relación entre las etapas de madurez grupal y la agilidad (en el desarrollo de software) debido a que estas variables estaban correlacionadas. Sin embargo, los autores declararon que se necesita más investigación para tener un entendimiento del papel de la madurez grupal en el desarrollo de software. Más tarde, Al-Sabbagh y Gren (2018) estudiaron cómo la velocidad y la efectividad de la planificación de los equipos de software estaban relacionadas con el desarrollo grupal. Utilizaron el IMGD y encontraron una fuerte asociación entre la cuarta etapa del desarrollo grupal (desempeño) y la efectividad de la planificación; sin embargo, el IMGD no es útil para un estudio profundo de aspectos específicos de la madurez grupal, como la comunicación efectiva, la confianza mutua y la cohesión grupal. Adicionalmente, Gren y col. (2018) investigaron si las habilidades no técnicas (como la resolución de conflictos y la toma de decisiones) eran importantes en el DAS, y descubrieron que eran poco útiles para predecir el uso de prácticas “maduras” de DAS.

Existen, en general, muchas líneas de investigación sobre madurez grupal que no se han abordado extensamente en el área de ingeniería de software, incluyendo investigación en

organizaciones con procesos maduros y controlados (organizaciones CMMI-DEV Nivel 5).

La comunicación clara y efectiva, característica de la madurez grupal, se ha identificado como un factor relacionado con el éxito de los proyectos de software y la productividad. Nasir y Sahibuddin (2011) descubrieron que la comunicación es uno de los factores críticos en el éxito de los proyectos de software. McLeod y MacDonell (2011) descubrieron que la comunicación a menudo se percibe como una dimensión importante de la interacción entre los usuarios y el personal de desarrollo, esencial para el funcionamiento eficaz del equipo del proyecto y un factor clave para el éxito de los sistemas de software; estas conclusiones se basan en los trabajos de Akkermans y van Helden (2002), Butler (2003), Butler y Fitzgerald (2001), Hartwick y Barki (2001), Sawyer y Guinan (1998), y Somers y Nelson (2001). Garousi y col. (2019) estudiaron la correlación de los factores relevantes con el éxito de los proyectos de software y descubrieron que cuanto mayor es la calidad de la comunicación interna del equipo, mayor es la construcción del equipo y la dinámica del equipo al final de un proyecto. Hummel y col. (2013) realizaron un estudio sobre los roles de la comunicación en el desarrollo ágil, y descubrieron que aunque la comunicación se menciona repetidamente como un aspecto fundamental de los proyectos de DAS, el conocimiento actual del papel de la comunicación en el ámbito de DAS es limitado porque los resultados anteriores son dispersos, poco concluyentes y algunos de ellos son contradictorios. Con base en lo anterior, se requiere más investigación sobre el impacto de elementos de comunicación específicos en el desarrollo de software.

Debido a la relevancia de la comunicación en el desarrollo de software, algunos trabajos han investigado la relación entre los aspectos de comunicación y mediciones de productividad (como la eficiencia y la efectividad) utilizando datos de herramientas de software.

Existen trabajos que han encontrado evidencia de relaciones entre algunas variables de comunicación y aspectos de la resolución de *issues* usando datos de sistemas de seguimiento de incidencias o *Issue Tracking Systems* (ITSs). Específicamente, algunos modelos de predicción relacionados a la resolución de *issues* han utilizado el número y/o la longitud de los comentarios de *issues*. Entre estos, se encuentran los trabajos de Panjer (2007), Giger y col. (2010), Zhang y col. (2012), Bhattacharya y col. (2013), Zhao y col. (2016) y Duc Anh y col. (2011). Además, algunos trabajos sobre la predicción de la severidad de errores de software han utilizado información de comentarios, como mencionan Gomes y col. (2019). Estos trabajos incluyen las investigaciones de Valdivia-Garcia y col. (2018), Xia y col. (2015) y Sharma y col. (2014).

Algunos trabajos han investigado algunas funciones de comunicación específicas en comentarios y descripciones de *issues*. Algunos de estos trabajos han identificado sentimientos (relacionados con la función emotiva) en descripciones de *issues* y de sus comentarios e incluyen los trabajos de Ortu y col. (2015), Destefanis y col. (2015), Murgia y col. (2017), Destefanis y col. (2018), y Mäntylä y col. (2016).

Algunos trabajos han investigado otras funciones específicas de comunicación en los comentarios de *issues* o han identificado información específica a partir de ellos. Algunos de estos trabajos incluyen las investigaciones de Breu y col. (2010) (quienes analizaron y categorizaron preguntas formuladas en las descripciones de *bugs*), Noyori y col. (2019) (quienes investigaron los temas de los comentarios de *bugs* y cómo se relacionaban con el tiempo de resolución de los mismos), Licorish y MacDonell (2014) (quienes estudiaron las actitudes, los comportamientos de intercambio de conocimiento y el desempeño de tareas de los desarrolladores), y Licorish

y MacDonell (2018).

En general, muchos de los trabajos que han estudiado la comunicación utilizando datos de herramientas de software han representado la comunicación como una red o solamente han estudiado algunos aspectos de ella; sin embargo, métricas específicas del proceso de comunicación grupal deberían estudiarse a detalle para comprender cuáles de ellas podrían permitir analizar la madurez grupal y su relación con una alta eficiencia y efectividad en el DAS.

# Madurez grupal, eficiencia y efectividad en grupos de DAS: estudio de casos

---

Con base en la teoría de desarrollo grupal (Capítulo 2) y los resultados de la revisión sistemática de literatura descrita en el Capítulo 3, es indispensable la conducción de estudios empíricos que permitan generar evidencia de la relación que existe entre madurez grupal y el desarrollo ágil de software eficiente y efectivo.

Este capítulo describe un estudio empírico para investigar las asociaciones entre características de madurez grupal, eficiencia y efectividad en nueve grupos de trabajo dedicados al desarrollo ágil de software (DAS). El protocolo de investigación del estudio se publicó en un artículo presentado durante el *34th International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)* (Ramírez-Mora y Oktaba, 2018). Adicionalmente, el estudio detallado se publicó en un artículo en la revista *Journal of Software: Evolution and Process* (Ramírez-Mora y col., 2020c).

## 4.1. Objetivo

El objetivo general del estudio presentado en este capítulo es determinar las características de madurez grupal que están asociadas a niveles altos de eficiencia y efectividad en grupos de trabajo de DAS en una empresa de tecnología CMMI-DEV nivel 5.

## 4.2. Justificación del estudio

Como resultado de la RSL detallada en el Capítulo 3 y publicada en un artículo (Ramírez-Mora y Oktaba, 2017), y con base en la teoría sobre desarrollo grupal, existe suficiente evidencia sobre la existencia de factores grupales que pueden afectar la eficiencia y efectividad en el DAS. Muchos de estos factores están asociados a características de madurez grupal; sin embargo, no se han investigado detalladamente muchos de ellos ni se han priorizado de acuerdo a su relevancia en el DAS. A pesar de la importancia de los equipos de trabajo en el DAS, escasos trabajos

han investigado, desde el punto de vista social, el efecto de variables grupales en la eficiencia y efectividad en el DAS. Además, la investigación sobre madurez grupal en el DAS es demasiado escasa.

Las organizaciones en el nivel 5 del *Capability Maturity Model Integration* (CMMI-DEV) (Chrissis y col., 2011) tienen procesos organizacionales maduros y controlados (que generalmente no se enfocan en aspectos sociales o grupales); sin embargo, se desconoce si la madurez grupal está relacionada con niveles altos de eficiencia y efectividad en grupos de DAS en organizaciones CMMI-DEV nivel 5.

El estudio descrito en este capítulo se diseñó para contribuir a la investigación de los temas antes mencionados y para investigar cuáles de las características de madurez grupal están más relacionadas con niveles altos de eficiencia y efectividad en grupos de DAS.

La razón de investigar la madurez grupal a través de varias características fue identificar aquellas que están más relacionadas con la eficiencia y la efectividad de grupos de trabajo. Al identificar tales características, éstas se pueden gestionar individualmente para mejorar la eficiencia y la efectividad de grupos de desarrollo de software en las organizaciones. Además, la gestión de características individuales resulta más fácil en comparación con la gestión del concepto de madurez grupal (que es un concepto complejo) ya que los administrativos y gerentes en las organizaciones deben definir objetivos de desempeño específicos e identificar las acciones para lograrlos (Schermerhorn y col., 2002).

### 4.3. Metodología

Se condujo un estudio de casos como método general de investigación y abarcó los pasos propuestos por Runeson y col. (2012), explicados en la Sección 2.2.1. A continuación, se presentan los detalles de la metodología del estudio de casos.

#### 4.3.1. Diseño del estudio

Se formularon las siguientes preguntas para guiar la investigación:

PI<sub>1</sub>: ¿Existe una asociación entre las características de madurez grupal y una eficiencia alta en grupos de DAS en organizaciones CMMI-DEV nivel 5?

PI<sub>2</sub>: ¿Existe una asociación entre las características de madurez grupal y una efectividad alta en grupos de DAS en organizaciones CMMI-DEV nivel 5?

Además de las preguntas de investigación, se formularon las siguientes hipótesis:

H<sub>1</sub>: Existen características de madurez grupal asociadas a una eficiencia alta en grupos de DAS en organizaciones CMMI-DEV nivel 5.

H<sub>2</sub>: Existen características de madurez grupal asociadas a una efectividad alta en grupos

de DAS en organizaciones CMMI-DEV nivel 5.

Las características de madurez grupal que se estudian en este trabajo son: comunicación clara y efectiva, comportamiento de apoyo alto, manejo de conflictos funcional, toma de decisiones compartida, cohesión grupal alta, confianza mutua alta, conformidad con las reglas grupales y claridad de los roles de los miembros del grupo y de las metas grupales.

##### *Contexto organizacional*

El estudio se realizó en Ultrasist, una organización de tecnología mexicana con más de 25 años de experiencia. La organización se compone de aproximadamente 400 personas y se enfoca en el desarrollo de software, cómputo en la nube, aseguramiento de calidad, madurez de datos, arquitectura y análisis de negocios. La organización proporciona servicios de desarrollo de software para el gobierno y el sector privado, e integra prácticas ágiles y sólidas de ingeniería de software tomadas de MoProSoft (Oktaba y col., 2005), PMBoK (PMI, 2013), ITIL (*ISO/IEC 20000-1:2011* 2016), ISO 27001 (*ISO/IEC 27000-1:2014* 2014) y MAAGTIC (*MAAGTIC* 2010).

La organización estudiada se encuentra en el nivel 5 del *Capability Maturity Model Integration for Development* (CMMI-DEV), el cual se utiliza para dirigir las actividades de desarrollo aplicadas a productos y servicios (Chrissis y col., 2011). CMMI-DEV define cinco niveles de madurez para indicar si los procesos son *ad hoc* y caóticos (nivel 1), gestionados (nivel 2), definidos (nivel 3), gestionados cuantitativamente (nivel 4) u optimizados (nivel 5) (Chrissis y col., 2011). Los niveles de madurez consisten en prácticas específicas para un conjunto predefinido de áreas de proceso que mejoran el rendimiento de la organización. De acuerdo con Chrissis y col. (2011), las organizaciones maduras están en los niveles 4 y 5 e implementan las siguientes áreas de proceso de alta madurez.

- *Organizational Process Performance* (OPP). Establece y da seguimiento a una comprensión cuantitativa del desempeño de procesos en una organización. OPP involucra las siguientes actividades: establecer objetivos de desempeño de proceso basados en objetivos de negocio; seleccionar procesos o subprocesos para análisis de desempeño; definir las medidas que se utilizarán para analizar el desempeño de proceso; y asentar líneas base de desempeño de proceso y modelos de rendimiento de proceso.
- *Quantitative Project Management* (QPM). Permite la administración cuantitativa de proyectos para establecer y alcanzar objetivos de calidad y desempeño. QPM involucra las siguientes actividades: selección de medidas y técnicas analíticas para la gestión cuantitativa; utilizar técnicas estadísticas y cuantitativas para monitorear el desempeño de proceso y administrar proyectos; y realizar análisis *root cause* para manejar imperfecciones al lograr objetivos cualitativos de proyecto y de rendimiento de proceso.
- *Organizational Performance Management* (OPM). Su propósito es gestionar el rendimiento organizacional para cumplir con sus metas de negocio, incluyendo: mejor calidad de producto, mayor productividad, mayor eficiencia y efectividad de proceso, mayor consistencia en el cumplimiento de presupuesto y de cronograma, menor tiempo de ciclo, mayor satisfacción de clientes y usuarios finales, desarrollo más corto o menor tiempo de producción, rendimiento mejorado de una cadena de suministro y uso mejorado de recursos en toda la organización.



#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

---

- *Causal Analysis and Resolution* (CAR). Su objetivo es la identificación de orígenes de resultados o salidas seleccionadas y adoptar medidas para la mejora del rendimiento de proceso. El CAR involucra las siguientes actividades: tomar acciones para eliminar causas y prevenir la recurrencia de defectos y problemas, analizar datos para identificar posibles problemas y evitar que ocurran, e incorporar las causas de éxito en procesos para mejorar el rendimiento futuro del proceso.

La organización estudiada implementa las siguientes actividades que pertenecen a áreas de proceso de alta madurez del CMMI-DEV y que son particularmente relevantes en este trabajo: establecer medidas para utilizarse en el análisis de desempeño de proceso, lograr líneas base de productividad, lograr la calidad de software, mejorar la eficiencia y efectividad de los procesos de software, y reducir los costos de desarrollo de software.

##### *Entidades de estudio*

Se seleccionaron nueve grupos dedicados al DAS como entidades de estudio. Los grupos estudiados realizaron un desarrollo de software iterativo y eran autogestionados, es decir, grupos de trabajadores con responsabilidades administrativas (como planificación y programación) para realizar sus tareas (Kinicki y Kreitner, 2007). Cinco de los grupos trabajaron en el mismo proyecto y los otros cuatro grupos trabajaron en diferentes proyectos. La Tabla 4.1 presenta las características de los grupos estudiados. En las siguientes secciones de este capítulo, el término “equipo” no se utiliza para los grupos estudiados porque, desde una perspectiva social, eso implicaría grupos completamente maduros.

Tabla 4.1: Grupos estudiados

Grupo	N	Género		Edad promedio (años)	Experiencia promedio (años)	Antigüedad promedio (años)	Antigüedad (último integrante)	Proyecto
		M	F					
<i>G1</i>	9	6	3	28.06	3.17	0.67	3 meses	P1
<i>G2</i>	8	5	3	26.89	1.88	0.56	2 meses	P1
<i>G3</i>	4	4	0	28.75	3.88	0.75	3 meses	P1
<i>G4</i>	3	2	1	30.83	3.67	0.67	4 meses	P1
<i>G5</i>	3	2	1	27.5	1	0.67	2 meses	P1
<i>G6</i>	21	15	6	32.02	2.98	0.95	4 meses	P2
<i>G7</i>	5	5	0	29.5	4.2	0.7	3 meses	P3
<i>G8</i>	3	2	1	25.83	1.17	0.83	6 meses	P4
<i>G9</i>	3	2	1	27.5	2.33	0.67	2 meses	P5
<i>Total</i>	<i>59</i>	<i>43</i>	<i>16</i>	<i>29.45</i>	<i>2.83</i>	<i>0.77</i>	-	-

Se realizó una presentación con los directivos de la organización, en la cual, se explicó la metodología y objetivos del estudio. Los gerentes estuvieron de acuerdo y facilitaron la comunicación con los investigadores. Se designó un par de personas de contacto para agendar reuniones e intercambiar información.

#### 4.3.2. Recolección de datos

##### *Variables estudiadas*

El estudio se enfoca en características de madurez grupal, eficiencia y efectividad de grupos

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

---

de trabajo en el contexto de desarrollo de software. Para investigar dichos conceptos, se estudiaron las variables listadas a continuación.

- *Eficiencia grupal*. Grado en que un grupo cumple con los objetivos de tiempo, cronograma y presupuesto durante el desarrollo de software.
- *Efectividad grupal*. Grado en que un grupo cumple con los objetivos del proyecto, las metas de calidad y satisface las necesidades del cliente.
- *Variables de madurez grupal*. Las características de madurez grupal se estudiaron mediante la medición de las siguientes variables.
  - Comunicación efectiva
  - Comportamiento de apoyo
  - Manejo de conflictos funcional
  - Toma de decisiones compartida
  - Cohesión grupal
  - Confianza mutua
  - Conformidad (con las reglas grupales)
  - Claridad de metas grupales y roles de los miembros del grupo

Con el fin de responder las interrogantes de investigación y estudiar las variables antes mencionadas, se recopilaron datos de interés (cuantitativos y cualitativos). También se desarrolló y utilizó un instrumento de medición. Con el objetivo de fortalecer la investigación, se recopilaron métricas de eficiencia grupal y se realizaron sesiones de grupos focales (*focus groups*) y entrevistas semiestructuradas para garantizar la triangulación de datos y la triangulación metodológica.

##### *Cuestionario*

Se han desarrollado algunos instrumentos para medir las etapas del desarrollo grupal, tales como el IMGD (Wheelan y Hochberger, 1996), y existen algunos marcos de trabajo con prácticas para mejorar la productividad de los desarrolladores de software como el Personal Software Process (PSP) y el Team Software Process (TSP); sin embargo, casi no existen instrumentos para medir variables específicas de madurez grupal. Debido a la falta de un instrumento útil para este estudio, se diseñó un cuestionario basado en la literatura sobre desarrollo grupal.

Se utilizó una herramienta web para desarrollar el cuestionario, el cual, cuenta con 55 ítems (preguntas) evaluados en una escala Likert de 5 puntos: 44 ítems miden variables para estudiar características de madurez grupal, 4 ítems miden la eficiencia grupal y 7 ítems miden la efectividad grupal (Tabla 4.2).

El cuestionario se entregó a dos grupos (20 personas) que trabajaban en un proyecto ágil como prueba piloto; posteriormente, el cuestionario se distribuyó a los 9 grupos estudiados (59 personas). Todos los miembros de cada grupo respondieron el cuestionario anónimamente para proporcionar objetividad al estudio. El cuestionario se contestó vía web y un gerente de la

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

---

organización se encargó de distribuir la información sobre el acceso al mismo. La organización ayudó a asegurar que todos los involucrados en el estudio contestaran el cuestionario.

Se ejecutó un análisis factorial confirmatorio (AFC) (Jöreskog, 1969) para evaluar la validez de constructo, es decir, el grado en que un cuestionario o instrumento mide lo que intenta medir (Cronbach y Meehl, 1955). El AFC permitió probar la hipótesis de que existía una relación entre los ítems (preguntas) y sus constructos (variables a medir) y confirmar que la covarianza entre los ítems de cada variable se debían a un único factor común. El AFC se realizó utilizando los datos de la prueba piloto y, posteriormente, utilizando los datos de los 9 grupos estudiados (59 respuestas). Los ítems de cada variable se validaron porque los resultados mostraron que solamente existía un factor significativo (con un valor propio o *eigenvalue* mayor a 1.0) en el conjunto de ítems de cada variable, lo que indicó que los ítems únicamente midieron la variable para la cual se diseñaron. El Apéndice B presenta el cuestionario y los resultados del AFC usando las 59 respuestas.

Se garantizó la confiabilidad del cuestionario mediante el análisis de los *alfas de Cronbach* (Cronbach, 1951), un método comúnmente usado en ciencias sociales para validar la consistencia general de una medida. Un *alfa de Cronbach* se calcula a partir del número de ítems de prueba y de la covarianza entre los ítems. Los alfas son la correlación esperada de dos pruebas que miden el mismo constructo, por lo que se supone implícitamente que la correlación promedio de un conjunto de ítems es una estimación precisa de la correlación promedio de todos los ítems que pertenecen a un determinado constructo. Los coeficientes de los alfas varían entre 0 y 1, y un instrumento es lo suficientemente confiable cuando sus coeficientes son mayores a 0.7. En este estudio, se calcularon los *alfas de Cronbach* utilizando los datos de la prueba piloto y, posteriormente, utilizando los datos de los 9 grupos estudiados (59 respuestas). La confiabilidad del cuestionario se validó porque los coeficientes de todas las variables estudiadas resultaron ser superiores a 0.7. La Tabla 4.2 muestra los resultados usando las 59 respuestas. El software XLSTAT se utilizó para realizar el AFC y estimar los *alfas de Cronbach*.

**Tabla 4.2:** Estadística descriptiva de las variables medidas con el cuestionario

Variable		N	Media	Var.	Desv. est.	Mín.	Máx.	Alfa
Madurez grupal	Comunicación efectiva	8	4.15	0.29	0.54	2.75	5	0.87
	Comportamiento de apoyo	5	4.1	0.28	0.53	2.4	5	0.77
	Manejo de conflictos	7	3.97	0.34	0.58	2.57	5	0.9
	Toma de decisiones compartida	4	3.64	0.35	0.59	2	5	0.73
	Cohesión grupal	5	4.16	0.48	0.69	2.2	5	0.87
	Confianza mutua	7	3.99	0.3	0.55	2.29	5	0.89
	Conformidad	5	3.9	0.22	0.47	2.2	4.8	0.71
	Claridad de metas y roles	3	4.19	0.36	0.6	2.67	5	0.76
<b>Eficiencia grupal</b>		4	3.99	0.32	0.57	2.25	5	0.87
<b>Efectividad grupal</b>		7	4.26	0.19	0.44	3.29	5	0.9

N = número de ítems.

Tabla publicada en Ramírez-Mora y col. (2020c).

#### Métricas de eficiencia

En ingeniería de software, medir es el proceso de representar entidades de software en datos cuantitativos (Fenton y Bieman, 2014). En el DAS, la eficiencia generalmente se mide en términos de la cantidad de software desarrollado y el tiempo, esfuerzo o costo invertido en el

proceso de desarrollo (Shah y col., 2015). En este estudio, se investigaron dos indicadores de eficiencia medidos con frecuencia en la organización estudiada: esfuerzo para desarrollar puntos por caso de uso (PCU) y “rate”. A continuación se describen ambas métricas.

Los casos de uso describen la forma en que los usuarios interactúan con un sistema para realizar algunas actividades (Dennis y col., 2015) y varían en complejidad y tipo de actores. Los **puntos por caso de uso (PCU)** se utilizan para realizar estimaciones del tamaño del software en función de los casos de uso y la complejidad de los factores técnicos y ambientales relacionados con el sistema que se está desarrollando (Dennis y col., 2015). La fórmula para calcular los PCU es la siguiente:

$$PCU = (UAW + UUCW) * TCF * ECF$$

El *Unadjusted Actor Weight* (UAW) es la suma de los pesos de los actores que participan en los casos de uso; el peso total de casos de uso no ajustado o *Unadjusted Use-Case Weight Total* (UUCW) es la suma del peso de cada caso de uso; el *Technical Complexity Factor* (TCF) es la suma de los pesos de los factores técnicos que intervienen en los casos de uso; y el *Environmental Complexity Factor* (ECF) es la suma de los pesos de los factores ambientales que están involucrados en los casos de uso. Dennis y col. (2015) propusieron pesos específicos de actores, casos de uso, factores técnicos y factores ambientales para estimar UAW, UUCW, TCF y ECF.

Un equipo de métricas realiza la estimación de los PCUs en la organización, por lo que el cálculo no depende de los grupos de software. Una vez que se estiman los PCUs, los gerentes de proyecto registran la cantidad de horas invertidas para desarrollar los PCUs. El número de horas para desarrollar un PCU es un indicador de eficiencia, y un bajo esfuerzo para desarrollar PCUs indica una alta eficiencia. Con base en mediciones históricas del esfuerzo para desarrollar PCUs, el equipo de métricas estima una línea base de productividad, que representa la productividad estándar que los grupos de software deben alcanzar en la organización.

La organización estudiada ha establecido un “rate” para calificar a los empleados con base en su salario y productividad. La organización ha establecido un salario estándar (o promedio) para cada rol de trabajo (ingeniero de software, gerente de proyecto, arquitecto, etc.); sin embargo, el salario de un empleado específico se determina en función de su experiencia, que se clasifica en categorías (la categoría A indica al menos 6 meses de experiencia, la categoría B indica un año de experiencia, y así sucesivamente). Se puede usar la siguiente fórmula para calcular el rate de un empleado:

$$Rate = \frac{salario\_emp*160}{salario\_estandar*horas\_trabajadas}$$

Donde, *salario\_emp* es el salario del empleado, *salario\_estandar* es el salario estándar asignado al rol del empleado, y *horas\_trabajadas* es la cantidad de horas que el empleado trabaja por mes. La organización asigna rates bajos a empleados sin experiencia y rates altos a empleados con mucha experiencia. El rate estándar es 1.0 y comúnmente se asigna a los empleados con salarios estándar que trabajan 160 horas por mes; sin embargo, los rates de los empleados pueden variar entre 0.6 y 2.5 en la organización estudiada. En la organización, se espera que el rate sea proporcional a la productividad, por lo que se espera que los empleados con altos puntajes sean altamente productivos. Los gerentes de la organización intentan integrar grupos de software de tal

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

---

manera que el promedio de los rates de los miembros sea 1.0 o lo más cercano posible a 1.0. De esta manera, se espera que los grupos de software logren la productividad estándar. Un comité de talento evalúa frecuentemente a cada grupo para asegurar el logro de los niveles de productividad de acuerdo con los rates del grupo. Con base en esto, se espera una fuerte correlación entre el rate y la productividad. Además, la organización intenta reducir costos mientras mantiene la productividad estándar, y el rate es una medida útil para analizar el salario y la productividad. La organización proporcionó la información sobre las métricas estudiadas vía correo electrónico y en reuniones presenciales.

##### *Entrevistas semi-estructuradas*

Se realizaron cuatro entrevistas semi-estructuradas con los gerentes de proyecto para explorar los siguientes temas relevantes relacionados con el contexto de los grupos estudiados en la organización: autonomía proporcionada a los grupos de software, políticas y prácticas organizacionales, colaboración entre grupos de trabajo, y consideraciones para la composición de grupos. La mayoría de estos elementos también se identificaron en la RSL, y la Tabla 4.3 muestra las preguntas utilizadas para explorarlos. Las entrevistas duraron 30 minutos e incluyeron un solo participante por sesión. Durante las entrevistas, se registró y transcribió información relevante para su posterior análisis.

**Tabla 4.3:** Temas y preguntas consideradas en las entrevistas semi-estructuradas

<b>Tema explorado</b>	<b>Preguntas</b>
Autonomía de los grupos de desarrollo de software	¿Qué tan autónomos son los grupos de desarrollo de software? ¿Cuáles son las restricciones impuestas a los grupos de desarrollo de software?
Colaboración entre los grupos de trabajo	¿Cómo es la colaboración entre gerentes organizacionales y grupos de desarrollo de software?
Prácticas y políticas organizacionales	¿La organización proporciona alguna recompensa a los mejores grupos de trabajo? ¿La organización proporciona entrenamiento a los grupos de trabajo? ¿La organización monitorea el desempeño de los grupos de trabajo?
Consideraciones para la composición de los grupos de trabajo	¿Qué tan valiosa es la experiencia de las personas para el desarrollo de software en la organización? ¿Cuál es el rol de las personas jóvenes en los grupos de trabajo?

##### *Grupos focales*

Se realizaron tres sesiones de grupos focales (*focus group*) con líderes de grupos y gerentes de la organización para investigar la madurez grupal en el desarrollo de software. Cada sesión duró aproximadamente 1.5 horas e incluyó 10 participantes. Durante las sesiones, se preguntó a los participantes su percepción sobre la relevancia de la madurez grupal en el desarrollo de software con base en su experiencia. También se preguntó a los participantes si habían experimentado problemas grupales que afectarían la calidad de productos de software o el logro de las metas de proyecto (tiempo, presupuesto y cronograma). Se identificaron los participantes que habían experimentado problemas grupales, se grabó audio, y se registraron notas para recopilar información de interés. La Tabla 4.4 muestra los temas explorados durante las sesiones de grupos focales.

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

---

**Tabla 4.4:** Temas explorados durante las sesiones de grupos focales

<b>Tema explorado</b>	<b>Relevancia de características de madurez grupal específicas</b>	<b>Problemas grupales que afectan la eficiencia o efectividad</b>
Grupos en general	Relevancia del trabajo en equipo para lograr las metas de eficiencia y efectividad	Problemas grupales en el DAS
Comunicación efectiva	Características e importancia de la comunicación grupal para cumplir los objetivos del proyecto	Falta de comunicación e información incorrecta
Toma de decisiones compartida	Relevancia de la toma de decisiones compartida y de las decisiones de los líderes de grupo	Problemas en la toma de decisiones compartida y problemas de liderazgo
Comportamiento de apoyo	Apoyo mutuo y cooperación en grupos de software	Falta de cooperación en grupos de software
Manejo de conflictos	Relevancia del manejo de conflictos de manera constructiva	Problemas de autoridad y conflictos personales
Cohesión grupal	Integración grupal en los grupos de desarrollo de software	Subgrupos en equipos de software
Confianza mutua	Percepciones de confianza entre los miembros del grupo y la importancia de la confianza mutua en los procesos de software	Mentiras, información oculta y deslealtad
Conformidad	Personas conformes en grupos de desarrollo de software	Personas inconformes que abandonan sus grupos de trabajo
Claridad de metas y roles	Importancia de la claridad de roles y objetivos en el desarrollo de software	Falta de claridad en los procesos de software

#### 4.3.3. Análisis de datos

##### *Análisis cuantitativo*

El análisis cuantitativo incluyó: un análisis estadístico de las variables medidas con el cuestionario; un análisis de correlación para investigar las asociaciones entre variables de madurez grupal, eficiencia grupal, efectividad grupal, esfuerzo para desarrollar PCUs y rate; un análisis factorial confirmatorio para validar el constructo de madurez grupal; y un análisis de ecuaciones estructurales para probar las hipótesis planteadas.

##### *Análisis de correlación*

El análisis de correlación se realizó utilizando el coeficiente de correlación de Pearson (Pearson, 1895; Stigler, 1989), usado ampliamente en las ciencias sociales. Los coeficientes de correlación varían entre -1.0 y 1.0, donde los valores negativos indican correlaciones negativas y los valores positivos indican correlaciones positivas.

La significación estadística y el tamaño del efecto son útiles para interpretar los resultados de los análisis de correlación. La significación estadística representa la probabilidad de que una correlación no haya surgido por casualidad, y los niveles de significación estadística más utilizados ( $p$ ) son 0.05, 0.01 y 0.001, que representan el 95 %, 99 % y 99.9 % de probabilidad respectivamente. El tamaño del efecto es la fuerza de una relación, y es bajo si el valor de la correlación varía alrededor de 0.10, medio si varía alrededor de 0.30, y grande si es mayor a 0.50 (Cohen, 1992).

Se ejecutó un análisis de correlación a nivel de grupos utilizando los puntajes grupales

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

de la Tabla 4.5. Se calcularon los puntajes grupales de las variables de madurez, eficiencia y efectividad promediando los resultados del cuestionario de las personas en cada grupo. Según Wheelan y col. (1998), se puede encuestar a personas individuales de un grupo para evaluar el estado de desarrollo de su grupo.

Se midió el esfuerzo para desarrollar PCUs por grupo y en horas, y se calculó el *rate* grupal promediando los rates individuales de los miembros en cada grupo. Los gerentes de la organización proporcionaron los rates grupales y el esfuerzo para desarrollar los PCUs correspondientes a cada grupo.

La organización estudiada estima puntajes a nivel de proyecto para algunos propósitos. Debido a esto, se promediaron las respuestas de las personas que trabajaban en cada proyecto para determinar los puntajes a nivel proyecto (Tabla 4.5).

**Tabla 4.5:** Variables de madurez grupal, eficiencia grupal, efectividad grupal, esfuerzo para desarrollar PCUs y rate por grupo y proyecto

Variable		G1	G2	G3	G4	G5	P1	G6 (P2)	G7 (P3)	G8 (P4)	G9 (P5)	Prom.
<b>Madurez grupal</b>	Comunicación efectiva	4.03	4.17	3.97	4.46	3.75	4.07	4.2	4.25	4.5	3.92	4.14
	Comportamiento de apoyo	3.98	4.3	3.85	4.2	3.8	4.06	4.1	4.4	4.07	4.07	4.08
	Manejo de conflictos	3.51	4.13	4.21	4.19	3.81	3.9	3.97	4.26	4.14	3.9	4.01
	Toma de decisiones compartida	3.14	3.75	3.38	3.75	3.5	3.46	3.75	3.75	4.17	3.75	3.66
	Cohesión grupal	3.98	4.13	3.55	4.47	3.67	3.98	4.28	4.36	4.47	4.27	4.13
	Confianza mutua	3.84	3.86	3.71	4	3.86	3.85	4.05	4.17	4.43	4.1	4
	Conformidad	3.67	3.98	3.4	4.2	3.73	3.75	3.93	4.04	4.47	3.93	3.93
Claridad de metas y roles	3.96	4.42	4.08	4.11	4.33	4.17	4.16	4.2	4.56	4.22	4.23	
<b>Eficiencia grupal</b>		3.86	4.03	3.88	4.17	4.25	3.99	3.9	4.15	4.33	4	4.06
<b>Efectividad grupal</b>		4.27	4.32	4.32	4.38	4.1	4.25	4.21	4.14	4.57	4.19	4.28
<b>Esfuerzo para desarrollar un PCU (horas)</b>		8	8	8	8	8	8	10	8	7	7	8
<b>Rate promedio</b>		1.04	0.87	0.93	1.29	0.61	0.95	0.89	1.03	1.05	0.89	0.95

G: grupo; P: proyecto.

Las variables de madurez grupal, eficiencia grupal y efectividad grupal se muestran en escala Likert de 5 puntos. Resultados publicados en Ramírez-Mora y col. (2020c)

#### *Análisis factorial confirmatorio*

Se realizó un análisis factorial confirmatorio (AFC) para asegurar que las ocho variables de madurez grupal (comunicación efectiva, comportamiento de apoyo, manejo de conflictos, toma de decisiones compartida, cohesión grupal, confianza mutua, conformidad y claridad de roles y metas) pudieran estructurarse como un constructo de orden superior (madurez grupal). Se utilizó el método de máxima verosimilitud para realizar el AFC.

#### *Modelado de ecuaciones estructurales*

Se realizó el modelado de ecuaciones estructurales o *Structural Equation Modeling* (SEM) para determinar si la relación entre madurez grupal, eficiencia y efectividad correspondía a un efecto positivo de las variables de madurez grupal en la eficiencia y la efectividad de los grupos estudiados. En un modelo de ecuaciones estructurales, se pueden representar dos tipos de variables: variables observadas (datos disponibles) y variables latentes (estimadas a partir de las variables observadas). El método SEM también permite especificar un modelo estructural

y un modelo de medición simultáneamente: el modelo estructural, que se usa para estimar los efectos y las relaciones entre los constructos (que generalmente son variables latentes); y el modelo de medición, que se usa para estimar una variable latente basada en variables observadas y los errores que afectan las mediciones. Se utilizó el software estadístico AMOS versión 25 para el modelado. Debido al número de grupos (9) y las variables estudiadas (8 variables de madurez grupal, eficiencia grupal y efectividad grupal), el AFC y el SEM se realizaron a nivel individual (59 respuestas).

Finalmente, como parte de las actividades de análisis cuantitativo, se analizaron los datos recopilados de las entrevistas y se compararon las puntuaciones de los grupos estudiados.

##### *Análisis cualitativo*

Comúnmente se utilizan métodos cualitativos de análisis en los estudios de casos debido a su flexibilidad (Seaman, 1999).

La información transcrita durante las entrevistas con los gerentes de proyecto fue analizada y se identificaron aspectos generales del contexto de los grupos en la organización.

También se estudió la información registrada durante las sesiones de grupos focales para investigar las relaciones entre las características de madurez grupal, eficiencia grupal y efectividad grupal. Se analizó el material y se formularon algunos códigos (fragmentos de texto) sobre los efectos y la importancia de la madurez grupal en el desarrollo de software. Se formularon códigos específicos para identificar características relevantes de la madurez grupal en el desarrollo de software en función del número de veces que se mencionaron.

## 4.4. Resultados

### 4.4.1. Comparación cuantitativa de grupos

El Grupo 8 (G8) tuvo los puntajes más altos en 6 variables de madurez grupal, y el Grupo 1 (G1) tuvo los puntajes más bajos en 3 variables. Como se muestra en la Tabla 4.5, la toma de decisiones compartida fue la variable con los puntajes más bajos en general (un promedio de 3.66), y la claridad de roles y metas fue la variable con los puntajes más altos (un promedio de 4.23). Los rates grupales oscilaron entre 0.61 y 1.29.

Se compararon los grupos que lograron los mejores y peores puntajes de eficiencia (esfuerzo para desarrollar PCUs y rate) con el objetivo de comprender la variación máxima de las variables de madurez grupal entre dichos grupos. El grupo que invirtió el menor esfuerzo para desarrollar PCUs y, por lo tanto, fue el más eficiente, obtuvo un puntaje 14 % más grande en conformidad y 11 % en la toma de decisiones compartida que el grupo que realizó el mayor esfuerzo para desarrollar PCUs (Figura 4.1). El grupo con el rate más alto obtuvo un puntaje 22 % más grande en cohesión y 19 % en comunicación efectiva que el grupo con el rate más bajo (Figura 4.2).



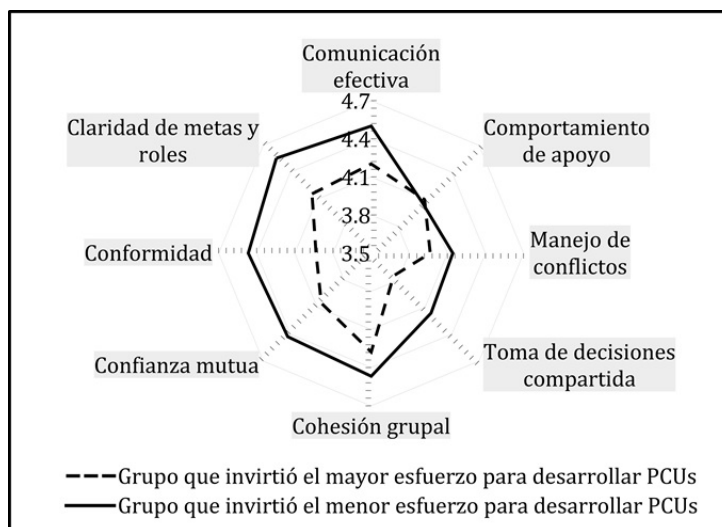


Fig. 4.1: Comparación de los grupos que invirtieron el mayor y menor esfuerzo para desarrollar PCUs

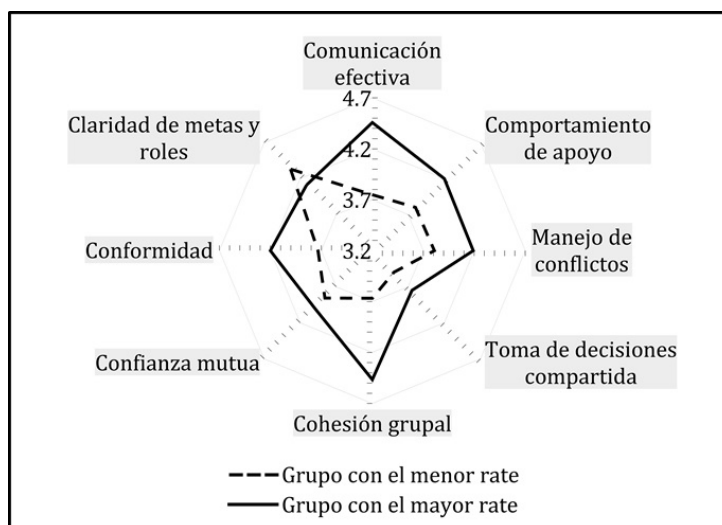


Fig. 4.2: Comparación de grupos con el menor y mayor rate

#### 4.4.2. Correlaciones entre variables de madurez grupal, eficiencia y efectividad

Las tablas 4.6 y 4.7 presentan los resultados de los análisis de correlación a nivel individual y grupal respectivamente. A nivel individual, se encontró que todos los coeficientes entre variables de madurez grupal y eficiencia y efectividad eran estadísticamente significativos. A nivel de grupo, se encontró que cuatro coeficientes de correlación eran estadísticamente significativos, el tamaño del efecto de 15 coeficientes era medio (entre 0.3 y 0.5), y el tamaño del efecto de 9 coeficientes era grande (mayor a 0.5).

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

**Tabla 4.6:** Correlaciones de Pearson entre las variables de madurez grupal, eficiencia grupal y efectividad grupal - nivel individual

Variable de madurez grupal	Eficiencia grupal	Efectividad grupal
Comunicación efectiva	0.44***	0.54***
Comportamiento de apoyo	0.47***	0.44***
Manejo de conflictos	0.39**	0.42***
Toma de decisiones compartida	0.48***	0.37**
Cohesión grupal	0.48***	0.39***
Confianza mutua	0.38**	0.50***
Conformidad	0.49***	0.39**
Claridad de metas y roles	0.37***	0.41**

N = 59 para todas las variables. Significación estadística:  $p < 0.05$  (\*);  $p < 0.01$  (\*\*);  $p < 0.001$  (\*\*\*)

**Tabla 4.7:** Correlaciones de Pearson entre variables de madurez grupal, eficiencia grupal, efectividad grupal, esfuerzo para desarrollar PCUs y rate - nivel grupal

Variable de madurez grupal	Eficiencia grupal	Efectividad grupal	Esfuerzo para desarrollar PCUs	Rate grupal
Comunicación efectiva	0.37	0.72*	-0.01	0.79*
Comportamiento de apoyo	0.15	0.08	0.04	0.49
Manejo de conflictos	0.34	0.33	-0.07	0.32
Toma de decisiones compartida	0.66	0.47	-0.21	0.2
Cohesión grupal	0.37	0.37	-0.08	0.63
Confianza mutua	0.61	0.4	-0.28	0.31
Conformidad	0.70*	0.53	-0.25	0.45
Claridad de metas y roles	0.72*	0.37	-0.37	-0.29
Eficiencia grupal	-	0.27	-0.44	0.02
Efectividad grupal	-	-	-0.34	0.57
Esfuerzo para desarrollar PCU	-	-	-	-0.12
Rate grupal	-	-	-	-

N = 9 para todas las variables. Significación estadística:  $p < 0.05$  (\*).  
Resultados incluidos en Ramírez-Mora y col. (2020c)

Se encontró que, a nivel grupal, la conformidad y la claridad de metas y roles estaban fuertemente correlacionadas con la eficiencia grupal (los coeficientes de correlación resultaron ser 0.70 y 0.72 respectivamente). Se encontró que la comunicación estaba fuertemente correlacionada con la efectividad y el rate grupal (los coeficientes de correlación resultaron ser 0.72 y 0.79 a nivel de grupo respectivamente).

Bajo esfuerzo para desarrollar PCUs indica alta eficiencia, y se encontró que la mayoría de las variables de madurez grupal estaban correlacionadas negativamente con el esfuerzo para desarrollar PCUs; sin embargo, estas correlaciones no resultaron ser estadísticamente significativas (Tabla 4.7).

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

El coeficiente de correlación entre el esfuerzo para desarrollar PCUs y la eficiencia grupal resultó ser negativo y su tamaño de efecto fue medio (-0.44). Esto indica que una alta eficiencia se asocia con un bajo esfuerzo para desarrollar PCUs. Para proporcionar evidencia adicional de esta asociación, la Figura 4.3 muestra que las variables de madurez grupal que se correlacionaron positiva y fuertemente con la eficiencia grupal, también se correlacionaron negativamente con el esfuerzo para desarrollar PCUs.

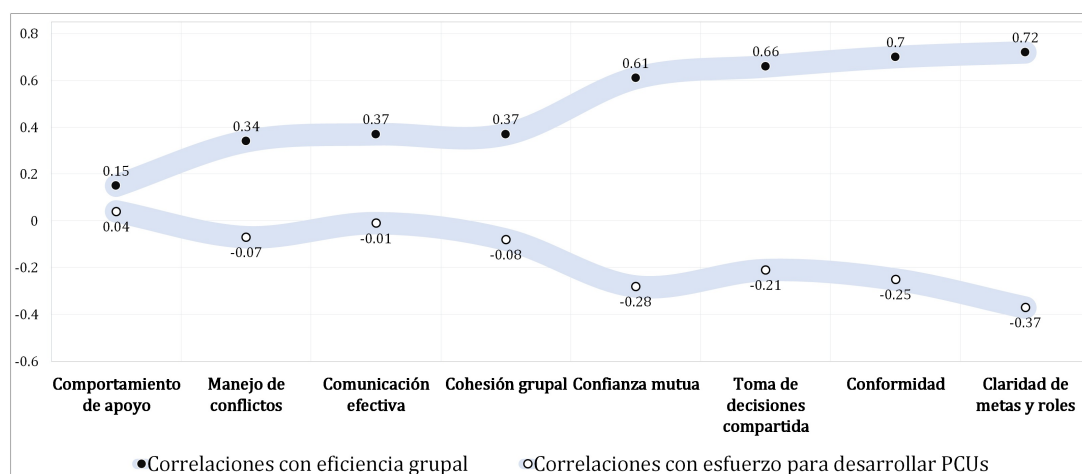


Fig. 4.3: Comparación de las correlaciones entre variables de madurez grupal y medidas de eficiencia

El coeficiente de correlación entre el rate grupal y la efectividad fue fuerte (0.57), y el coeficiente de correlación entre la efectividad grupal y el esfuerzo para desarrollar PCUs fue medio (-0.34). Además, se estimaron algunas correlaciones a nivel de proyecto, y se descubrió que el coeficiente de correlación entre el rate y la eficiencia grupal fue 0.91, que es un coeficiente fuerte y estadísticamente significativo.

El número de mediciones influye en la significación estadística (Lumley, 2008; Figueiredo, 2013), esto explica que se encontraran pocas correlaciones significativas a nivel de grupo (utilizando las puntuaciones de los 9 grupos) en comparación con las correlaciones a nivel individual. Sin embargo, la significación estadística indica que existe una probabilidad muy baja de que una correlación exista por casualidad, por lo que la existencia de las correlaciones significativas encontradas es altamente probable.

#### 4.4.3. Resultados del análisis factorial y del análisis de ecuaciones estructurales

Los resultados del AFC confirmaron que la madurez grupal puede estudiarse a partir de ocho variables (comunicación efectiva, comportamiento de apoyo, manejo de conflictos, toma de decisiones compartida, cohesión grupal, confianza mutua, conformidad y claridad de roles y metas), es decir, que se podría estructurar como variable latente (o constructo de orden superior), con un coeficiente de Cronbach de 0.91. La solución resultó aceptable ya que se identificó un único factor predominante en común a las ocho variables: el segundo factor resultó tener un valor propio de 0.5 (menor a 1.0) y las cargas factoriales de las ocho variables de madurez grupal resultaron ser más altas para el primer factor y todas mayores a 0.57. Como se puede apreciar en la Tabla

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

---

4.8, la variable de madurez grupal con la carga factorial más alta fue la comunicación efectiva (0.90), y la variable con la carga factorial más baja fue la toma de decisiones compartida (0.58).

**Tabla 4.8:** Madurez grupal como un constructo de alto nivel

Variable	Carga factorial
Comunicación efectiva	0.90
Comportamiento de apoyo	0.86
Manejo de conflictos	0.66
Toma de decisiones compartida	0.58
Cohesión grupal	0.83
Confianza mutua	0.83
Conformidad	0.70
Claridad de metas y roles	0.65

Valor propio: 4.61; varianza explicada: 58 %; alfa de Cronbach: 0.91.

En cuanto al análisis de ecuaciones estructurales (SEM), la madurez grupal se representó como una variable latente porque se estimó a partir de ocho variables o indicadores observados (Tabla 4.8). La eficiencia grupal y la efectividad grupal, estimadas a partir de los ítems del cuestionario, también se representaron como variables latentes. Los elementos de eficiencia grupal se representan en el modelo como “EFI1” ... “EFI4”, y los elementos de efectividad grupal se representan como “EFE1” ... “EFE7” (Figura 4.4).

Se obtuvieron datos, tanto del modelo de medición como del modelo estructural. El modelo de medición incluyó las cargas factoriales (representadas por  $\lambda$ ) y los errores (representados por  $\delta$ ) asociados a cada variable observada. Todos las cargas factoriales resultaron ser significativas ( $p = 0,000$ ). La variable de madurez grupal con la carga factorial más alta fue la comunicación efectiva (0.88), que también presentó el error estándar más bajo (0.058). La variable de madurez grupal con la carga factorial más baja y el error estándar más alto fue la toma de decisiones compartida. Las cargas factoriales de los indicadores de eficiencia y efectividad de grupo resultaron ser mayores a 0.581, y los errores estándar menores a 0.249.

Los resultados del modelo estructural proporcionaron evidencia sobre los efectos positivos de la madurez grupal sobre la eficiencia y la efectividad de los grupos estudiados. Los coeficientes estándar (representados por  $\gamma$ ) resultaron ser significativos ( $p < 0.001$ ), confirmando el efecto de la madurez grupal sobre la eficiencia grupal (0.588) y el efecto de la madurez grupal sobre la efectividad grupal (0.613). Además, la madurez grupal explicó el 34,6 % de la varianza de la eficiencia grupal y el 37,6 % de la varianza de la efectividad grupal (Figura 4.4).

Se analizó el modelo general y la mayoría de los indicadores de ajuste sugirieron un modelo adecuado. El coeficiente chi-cuadrado/GL fue de 1.216 (se recomienda un valor inferior a 2.0). El índice de ajuste comparativo o *comparative fit index* (CFI), que tiene en cuenta el tamaño de la muestra, fue de 0.959 (mayor que 0.90 indica un buen ajuste del modelo de acuerdo con Hu y Bentler (1999)). El *root mean square error of approximation* (RMSEA) fue 0.06 (debe estar por debajo de 0.08 de acuerdo con Hu y Bentler (1999), Maccallum y col. (1996) y Steiger (2007)). El *root mean square residual* (RMR) fue 0.025 (un RMR menor a 0.05 indica un buen ajuste de

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

acuerdo con Byrne (1998) y Diamantopoulos y Siguaw (2000)). El índice de bondad de ajuste o *goodness of fit index* (GFI) fue de 0.80 (por debajo del valor recomendado de 0.9). El tamaño de la muestra pudo afectar el valor del GFI: cuando los grados de libertad son grandes en relación con el tamaño de los datos, el GFI tiende a disminuir (Sharma y col., 2005); por otra parte, el GFI tiende a aumentar cuando se usan muestras grandes (Bollen, 1990; Shevlin y Miles, 1998).

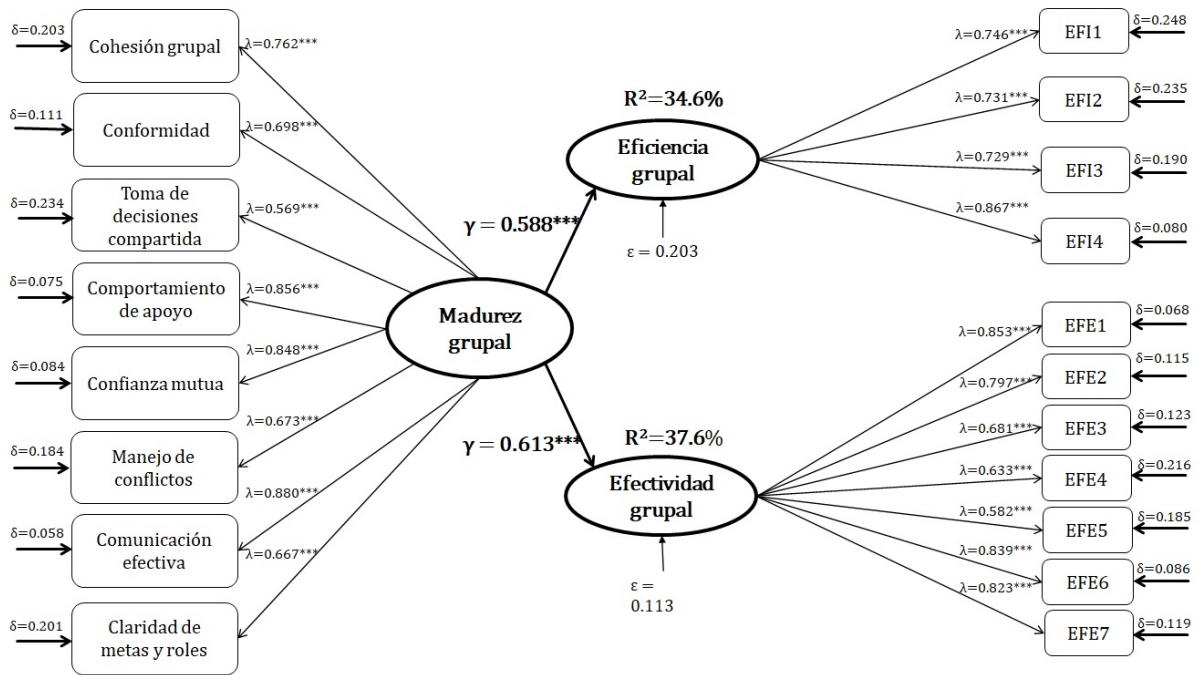


Fig. 4.4: Modelo de ecuaciones estructurales

#### 4.4.4. Resultados cualitativos de entrevistas y grupos focales

Durante las entrevistas, los gerentes de la organización explicaron lo siguiente: aunque los grupos de software son autónomos en la organización, también tienen que seguir los estándares de software y alcanzar objetivos de eficiencia y efectividad en la organización; los gerentes y líderes de equipos se reúnen continuamente (al menos una vez por semana) para monitorear el desempeño de los grupos, resolver conflictos y proponer innovaciones para el desarrollo de software; la organización a menudo proporciona cuestionarios a los clientes para evaluar qué tan conformes están; los grupos de software están completamente capacitados para alcanzar los objetivos del proyecto y reciben recompensas cuando logran resultados satisfactorios; las personas con experiencia son particularmente valiosas en la organización porque conocen su funcionamiento y contribuyen a la adopción de objetivos y prácticas organizacionales; y a menudo se integran personas jóvenes en grupos de software cuando los líderes de equipo tienen experiencia.

Durante las sesiones de grupos focales, la mayoría de los gerentes y líderes de grupo estuvieron de acuerdo en que el comportamiento grupal es esencial para el éxito de los proyectos y que los aspectos grupales son más difíciles de manejar que los tecnológicos. Muchos de los participantes expresaron que el líder de un grupo es esencial en las etapas iniciales del desarrollo del mismo, cuando los miembros del grupo necesitan dirección para adoptar sus roles. Además, la

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

---

organización generalmente selecciona a los empleados más experimentados para convertirse en líderes de equipo.

Algunos gerentes declararon que los grupos integrados por varias personas con rates altos usualmente tienen problemas de autoridad ya que dos o más miembros quieren ser líderes de grupo. Debido a esto, la organización intenta integrar grupos de personas con rate estándar.

Se encontró que la mejora de la comunicación es un objetivo organizacional, que la comunicación es indispensable para las actividades de desarrollo software, y que los grupos estudiados realizaron una comunicación cara a cara, enviaron correos electrónicos y utilizaron WhatsApp para compartir información. Los líderes de equipo expresaron que los grupos de software necesitan formas efectivas de comunicarse y algunos gerentes declararon que la comunicación es importante para realizar otras actividades grupales y puede verse como un habilitador para realizar cualquier tarea grupal. Además, muchos de los participantes declararon que los miembros de un grupo de trabajo necesitan conocer sus roles y cómo realizar sus tareas para lograr los objetivos del proyecto, y que la comunicación es esencial para aclarar los roles y objetivos grupales.

Algunos participantes expresaron que la cohesión y la confianza entre los miembros de un grupo podrían conducir al logro de objetivos de eficiencia y efectividad, y que es poco probable que los grupos pequeños tengan subgrupos ya que son más propensos a volverse cohesivos e integrarse.

La Tabla 4.9 presenta las ideas mencionadas con frecuencia durante las sesiones de grupos focales. La relevancia de aspectos de comunicación en el desarrollo de software se mencionó repetidamente.

**Tabla 4.9:** Ideas mencionadas con frecuencia durante las sesiones de grupos focales

<b>Idea general</b>	<b>N</b>
Los problemas de comunicación (falta de claridad, malentendidos, falta de comunicación) afectan el desarrollo de software.	8
La comunicación efectiva, que es frecuente, confiable y abierta, es esencial para desarrollar software y trabajar en equipo.	7
Los líderes de equipo son clave para el trabajo en equipo (son esenciales en las primeras fases de desarrollo grupal).	6
La integración mejora el desarrollo de software (las personas necesitan pasar tiempo con sus compañeros fuera del trabajo).	5
La inconformidad afecta el desarrollo de software (la gente inconforme renuncia).	5
La claridad de los roles y metas mejora el desarrollo de software.	5
Las personas con experiencia contribuyen a lograr objetivos de eficiencia y efectividad en el desarrollo de software.	4
La cooperación mejora el desarrollo de software.	3
Los problemas de liderazgo afectan el desarrollo de software.	3
La falta de confianza afecta el desarrollo de software.	3

N: número de participantes que mencionaron la idea.

##### 4.4.5. Conexión entre resultados cualitativos y cuantitativos

Los resultados derivados de las sesiones de grupos focales se utilizaron para confirmar los resultados del cuestionario. Durante las sesiones de grupos focales, los líderes de equipo mencionaron las características de madurez grupal que claramente existían en sus grupos y los aspectos en los que habían observado problemas. Posteriormente, se comparó esta información con los puntajes de las variables de madurez grupal de cada grupo (resultados del cuestionario). Se mostraron los resultados del cuestionario a los participantes de las sesiones de grupos focales para conocer su percepción acerca de los datos recopilados, y la mayoría de los líderes de equipo estuvieron de acuerdo en que los resultados del cuestionario eran consistentes con el comportamiento de sus grupos.

Los grupos 1 a 5 trabajaron en el Proyecto 1. Durante las sesiones de grupos focales, el gerente del Proyecto 1 declaró que el desempeño de dos grupos fue alto y el desempeño de tres grupos fue regular. Según los resultados del cuestionario, las puntuaciones del Grupo 4 y el Grupo 2 resultaron ser las más altas en el Proyecto 1; y los puntajes del Grupo 1, el Grupo 3 y el Grupo 5 fueron más bajos que los puntajes del Grupo 2 y del Grupo 4. El líder del Grupo 1 declaró que existían varios conflictos en su grupo, y de acuerdo con los resultados del cuestionario, el Grupo 1 obtuvo los puntajes más bajos en el manejo de conflictos y en la toma de decisiones compartida.

Los miembros del Grupo 6 habían pasado más tiempo en su equipo que los miembros de otros grupos, y durante las sesiones de grupos focales, el líder del Grupo 6 declaró que su grupo estaba altamente integrado (cohesionado). Los resultados del cuestionario mostraron que el puntaje de cohesión fue el puntaje más alto alcanzado por el Grupo 6.

Durante las sesiones de grupos focales, los gerentes declararon que el Grupo 8 y el Grupo 7 lograron la satisfacción del cliente más alta ya que recibieron felicitaciones y comentarios agradables por parte de los clientes. Con base en los resultados del cuestionario, el Grupo 8 logró los niveles más altos de comunicación efectiva, toma de decisiones compartida, cohesión, confianza mutua, conformidad, claridad de metas y roles, eficiencia y efectividad. El Grupo 7 y el Grupo 8 tuvieron rates muy similares, pero el Grupo 8 realizó el menor esfuerzo para desarrollar PCUs.

Durante las sesiones de grupos focales, el líder del Grupo 9 declaró que él había sido esencial para tomar decisiones y que la mayoría de las decisiones no se habían tomado por todos los integrantes del grupo. Según los resultados del cuestionario, el puntaje de la toma de decisiones compartida fue el puntaje más bajo alcanzado por el Grupo 9.

Algunos gerentes de la organización indicaron que el cuestionario fue un instrumento útil y expresaron su motivación para usarlo como una herramienta de gestión organizacional.

Los resultados cualitativos (de entrevistas y sesiones de grupos focales) permitieron explicar y confirmar las correlaciones fuertes encontradas en el análisis cuantitativo. La Tabla 4.10 incluye tales correlaciones y su explicación.

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

**Tabla 4.10:** Explicación cualitativa de correlaciones fuertes

<b>Correlación</b>	<b>Explicación cualitativa</b>
Claridad de metas y roles, y eficiencia (0.72)	Los miembros del grupo que conocen sus roles y las metas de proyecto pueden realizar sus tareas más rápido que las personas que no conocen sus roles. La importancia de la claridad en el desarrollo de software se mencionó 5 veces durante las sesiones de grupos focales.
Conformidad y eficiencia (0.70)	Los miembros del grupo que están de acuerdo con las reglas del grupo realizan sus tareas más rápido que las personas inconformes, quienes posponen la finalización de sus tareas. Los problemas de conformidad que afectan el desarrollo de software se mencionaron 5 veces durante las sesiones de grupos focales.
Comunicación y efectividad (0.72)	Los grupos de software comunican información sobre el software que se está construyendo, y la comunicación de las cosas correctas (como los requisitos correctos o las reglas del sistema) contribuye al desarrollo de software de calidad. Cuando se comunica información incorrecta, se desarrolla software incorrectamente y no se cubren las necesidades de los clientes. La relevancia de la comunicación en el desarrollo de software se mencionó 7 veces durante las sesiones de grupos focales, y los problemas de comunicación que afectan el desarrollo de software se mencionaron 8 veces.
Comunicación y rate (0.79)	Las personas experimentadas y con altos rates conocen las prácticas organizacionales y contribuyen a la comunicación de información esencial durante las actividades de desarrollo de software.
Toma de decisiones compartida y eficiencia (0.66)	La toma de decisiones compartida contribuye al rápido logro de tareas porque evita el consumo de tiempo debido a discusiones. Sin embargo, las decisiones que toman los líderes de equipo son esenciales cuando los grupos no son maduros.
Cohesión y rate (0.63)	Las personas con rates altos contribuyen a mejorar la cohesión grupal al compartir su experiencia con sus compañeros de grupo.
Confianza mutua y eficiencia (0.61)	La confianza mutua es un mediador que contribuye a una comunicación eficiente, a la gestión de conflictos, a la toma de decisiones y a la cooperación durante el desarrollo de software. Cuando las personas confían en sus compañeros, los grupos colaboran directa y rápidamente. Los problemas de confianza que afectan el desarrollo de software se mencionaron 3 veces durante las sesiones de grupos focales.
Rate y efectividad (0.57)	Las personas con experiencia conocen las necesidades del cliente y los objetivos de la organización, por lo que contribuyen al desarrollo de software con calidad y a satisfacer las necesidades de los clientes. La relevancia de las personas con experiencia en el desarrollo de software se mencionó 4 veces durante las sesiones de grupos focales.
Conformidad y efectividad (0.53)	Las personas trabajan de manera efectiva cuando se sienten conformes; las personas inconformes renuncian y trabajan sin calidad porque no están motivadas para alcanzar la excelencia técnica y desarrollar software de calidad.

Resultados incluidos en Ramírez-Mora y col. (2020c).



## 4.5. Discusión de resultados

### 4.5.1. Madurez grupal y eficiencia

Se encontró que la conformidad estaba positiva y fuertemente correlacionada con la eficiencia grupal. Durante las sesiones de grupos focales, algunos participantes declararon que las personas que aceptan las reglas de su grupo de trabajo son más eficientes que las personas inconformes. Esto proporciona evidencia de la relación positiva entre conformidad y eficiencia grupal.

Se encontró una fuerte y positiva correlación entre la claridad de las metas y roles y la eficiencia grupal. Durante las sesiones de grupos focales, algunos participantes declararon que se necesitan roles y metas claras para realizar las tareas de manera eficiente, lo que confirma una relación positiva entre la eficiencia grupal y la claridad de los roles y metas.

Se descubrió que la mayoría de las variables de madurez grupal estaban correlacionadas negativamente con el esfuerzo para desarrollar PCUs. Esto sugiere que la madurez grupal puede contribuir a reducir el esfuerzo para desarrollar software y, por lo tanto, mejorar la eficiencia en grupos de DAS. Las correlaciones entre la eficiencia percibida por los grupos de trabajo y las variables de madurez grupal resultaron ser más fuertes que las correlaciones entre madurez grupal y el esfuerzo para desarrollar PCUs, métrica establecida por los gerentes de proyecto.

Se encontró que la comunicación efectiva estaba fuertemente correlacionada con el rate grupal. Esto sugiere que las personas con experiencia contribuyen a una comunicación efectiva. Además, las personas con rate estándar no representan un costo adicional para la organización y es poco probable que tengan problemas de autoridad.

Los resultados antes descritos proporcionaron evidencia para probar la hipótesis  $H_1$  sobre la existencia de características de madurez grupal asociadas a una eficiencia alta en grupos de DAS en organizaciones CMMI-DEV nivel 5.

Finalmente, los resultados del SEM proporcionaron evidencia del efecto positivo de la madurez grupal en la eficiencia grupal.

### 4.5.2. Madurez grupal y efectividad

Se encontró que la comunicación estaba positiva y fuertemente correlacionada con la efectividad grupal. La relevancia de comunicarse efectivamente en el desarrollo de software se mencionó 7 veces durante las sesiones de grupos focales, y los problemas de comunicación que afectan el desarrollo de software se mencionaron 8 veces. Además, se encontró que la comunicación estaba fuertemente relacionada con otros procesos grupales (como el manejo de conflictos y la toma de decisiones compartida) y se describió como un habilitador para realizar cualquier proceso grupal.

Los resultados antes descritos proporcionaron evidencia para probar la hipótesis  $H_2$  sobre la existencia de características de madurez grupal asociadas a una efectividad alta en grupos de

#### 4. MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD EN GRUPOS DE DAS: ESTUDIO DE CASOS

---

DAS en organizaciones CMMI-DEV nivel 5. Además, los resultados del SEM proporcionaron evidencia del efecto positivo de la madurez grupal en la eficiencia grupal.

La satisfacción del cliente está relacionada con la efectividad e indica el grado en que el software construido cumple con las necesidades de los clientes. En este trabajo, los grupos que alcanzaron los mejores niveles de satisfacción del cliente alcanzaron los niveles más altos en las variables de madurez grupal. Este resultado sugiere que la madurez grupal tiene un efecto positivo en la satisfacción del cliente.

La comunicación fue el factor más citado en la RSL descrita en el Capítulo 3, y en el estudio de casos se corroboró que, como factor grupal, es uno de los más relevantes, sobre todo para la efectividad. En la RSL, se encontró que la cercanía en la comunicación, la eliminación de barreras de comunicación, las retrospectivas, la apertura al intercambio de información, y el conocimiento compartido son aspectos importantes de la comunicación en el DAS.

##### **Implicaciones para la práctica y la teoría**

En las organizaciones CMMI-DEV nivel 5, la mejora de procesos contribuye al logro de los objetivos de eficiencia y efectividad. Sin embargo, se encontró que algunas variables de madurez grupal estaban relacionadas con la eficiencia y la efectividad de grupo, lo que sugiere que los aspectos grupales pueden contribuir a la mejora de la eficiencia y la efectividad en grupos de DAS en organizaciones con procesos maduros. Además, la madurez grupal podría mejorar la satisfacción del cliente porque éstos podrían preferir trabajar con grupos maduros. Además, los grupos maduros logran los objetivos de tiempo, costo y calidad que los clientes esperan.

La organización estudiada valora a las personas con experiencia, que se espera logren objetivos de eficiencia; sin embargo, las personas no trabajan individualmente, por lo que los aspectos grupales también son importantes para lograr objetivos de eficiencia y efectividad. Además, los grupos necesitan tiempo para madurar, por lo que no deben separarse demasiado pronto debido a un bajo rendimiento.

La población estudiada en este trabajo era relativamente joven; sin embargo, los grupos se compusieron de tal manera que el promedio de los rates individuales estuvo cerca del rate estándar, y cuando personas jóvenes trabajaron en un grupo de software, personas experimentadas también formaron parte de dicho grupo (en la mayoría de los casos como líderes de equipo). Los grupos maduran cuando sus miembros se integran, por lo que la cohesión grupal puede ser más importante que la edad de las personas durante el proceso de maduración grupal. No se encontró que la edad de los participantes se correlacionara fuertemente con ninguna variable de madurez grupal, y la mayoría de los grupos estudiados lograron altos puntajes en las variables de madurez grupal a pesar de su edad. Además, algunos grupos estudiados se integraron después de algunas semanas, por lo que los grupos pueden madurar independientemente de la edad de sus miembros.

La madurez organizacional podría conducir al desarrollo grupal debido a que los grupos de software deben cumplir con los objetivos de eficiencia y efectividad, para lo cual, necesitan realizar procesos maduros. La organización estudiada capacita a las personas nuevas para realizar sus actividades de manera adecuada y los grupos de software deben adoptar prácticas maduras (como colaboración frecuente, procesos claros, liderazgo adecuado, comunicación abierta entre grupos y gerentes, confianza entre los miembros del grupo y cohesión entre los grupos), que

podrían conducir a la madurez grupal. Además, el DAS se realiza en iteraciones, y cada iteración se ejecuta más fácilmente que la iteración anterior porque los grupos de software se acostumbran al DAS. Después de algunas iteraciones, los grupos de software podrían lograr los resultados de eficiencia y efectividad requeridos y mejorar algunos procesos como la toma de decisiones y la comunicación. Esto puede explicar los altos niveles de madurez grupal encontrados en este estudio.

##### 4.5.3. Validez del estudio

Se aseguró la validez de constructo del cuestionario mediante un análisis factorial confirmatorio. También se estableció una cadena de evidencia desde las primeras etapas de las actividades de recolección de datos hasta el análisis de resultados. La organización estudiada y los investigadores validaron los resultados intermedios del cuestionario, entrevistas, sesiones de grupos focales y métricas de eficiencia. Las respuestas de los participantes fueron anónimas para proveer objetividad al estudio.

En cuanto a la validez interna, no se identificaron factores que podrían haber afectado la eficiencia y la efectividad de los grupos además de los estudiados. Adicionalmente, todos los grupos estudiados pertenecían a la misma organización, por lo que los factores relacionados con el contexto organizacional no resultaron ser significativos cuando se compararon los grupos.

En cuanto a la validez externa, en ocasiones se critica a los estudios de casos por ser difíciles de generalizar; sin embargo, se pueden aplicar prácticas de investigación adecuadas y considerar que el conocimiento es más que significación estadística (Runeson y col., 2012). Los estudios de casos son sólidos en el sentido de que proporcionan una comprensión profunda de los fenómenos estudiados y se pueden replicar para generalizar los resultados. Para replicar un estudio de casos el protocolo y la descripción precisa del contexto son importantes (Runeson y col., 2012). Con base en esto, se describió el contexto organizacional con el objetivo de permitir que otras organizaciones identifiquen si los resultados son especialmente útiles para ellos con base en similitudes organizacionales. Como parte de la recopilación de datos, se diseñó un instrumento (cuestionario) y entrevistas para aplicarse en cualquier organización, de modo que el estudio pueda replicarse fácilmente. La generalización analítica también se puede usar en un estudio de casos para obtener conclusiones sin la necesidad de estadísticas y usar estas conclusiones para interpretar y relacionar los resultados con otros casos (Runeson y col., 2012). El estudio se realizó en una compañía; sin embargo, se estudiaron, compararon y relacionaron 9 entidades (grupos de DAS) para una mejor comprensión del fenómeno estudiado. Además, cualquier organización (pequeña o grande, ágil o no, madura o no) requiere que las personas trabajen en grupos, por lo que la madurez grupal podría ser un interés general en ingeniería de software.

En cuanto a las amenazas a la confiabilidad del estudio, se aplicó el cuestionario a través de una herramienta web para evitar los efectos de investigadores específicos en los resultados. Los problemas de validez son posibles cuando las entrevistas son abiertas y dependen de los investigadores, pero se mitigaron algunas de las amenazas al validar los resultados intermedios con otros participantes. Además, los gerentes de proyecto validaron las métricas de eficiencia (esfuerzo para desarrollar PCUs y rate).

Según Robson (2002), una participación prolongada, la triangulación en la recopilación de datos, el *peer debriefing* y el *member checking* son algunas formas de aumentar la validez de la investigación, y la mayoría de ellas se implementaron en este estudio. Los investigadores y las personas de la organización construyeron relaciones de confianza durante el estudio. Los gerentes de la organización cooperaron porque se les explicó cada paso del estudio y estaban motivados a participar. Se garantizó la validez de los resultados mediante triangulación: se recopilaron datos cuantitativos y cualitativos utilizando cuatro métodos (entrevistas, sesiones de grupos focales, un cuestionario y métricas de eficiencia) y los datos se obtuvieron de varias fuentes (líderes de equipo, miembros de grupos, gerentes y documentación). Se encontró una fuerte correlación entre los indicadores de eficiencia medidos por los gerentes y la eficiencia percibida por los miembros de los grupos. Esto confirmó que las respuestas del cuestionario y las medidas de eficiencia eran consistentes. Además, se analizaron los datos recopilados utilizando coeficientes de correlación y métodos de análisis cualitativos.

Debido a que varios autores enfatizan la importancia de los estándares éticos de conducta para mantener la confianza y la cooperación en la investigación en ingeniería de software (Runeson y col., 2012; McLeod y col., 2011; Sieber, 2001), se informó a la organización sobre los métodos de recopilación de datos y estuvo de acuerdo con la información publicada.

##### 4.5.4. Resumen de principales contribuciones

- Se investigó un tema nunca antes estudiado: la forma en la que características específicas de madurez grupal están relacionadas con la eficiencia y la efectividad grupal en una organización CMMI-DEV Nivel 5.
- Se desarrolló un instrumento válido y confiable para medir variables de madurez grupal, eficiencia grupal y efectividad grupal. El cuestionario puede usarse en cualquier organización dedicada al desarrollo de software y, al igual que el resto del estudio, se publicó en el artículo “*Group maturity, team efficiency, and team effectiveness in software development: A case study in a CMMI-DEV Level 5 organization*” (Ramírez-Mora y col., 2020c).
- Se identificaron las variables de madurez grupal más relacionadas con la eficiencia y efectividad de grupos de DAS en el contexto del estudio.
- Se corroboró que la comunicación grupal efectiva es una característica de madurez grupal fuertemente relacionada con la eficiencia y efectividad en grupos de DAS. Este resultado se obtuvo previamente en la RSL detallada en el Capítulo 3.



# Comunicación en ITSs y su relación con indicadores de eficiencia y efectividad: estudio en comunidades de software

---

Con base en los resultados de la revisión sistemática de literatura descrita en el Capítulo 3 y en los resultados del estudio de casos del Capítulo 4, la comunicación grupal es indispensable en el desarrollo de software y resulta fundamental identificar las características específicas del proceso de comunicación relacionadas con el desarrollo de software eficiente y efectivo.

Este capítulo presenta un estudio sobre la relación que existe entre variables de comunicación, eficiencia y efectividad en comunidades de desarrollo de software. El estudio se diseñó con la finalidad de investigar un conjunto grande de grupos de desarrollo de software utilizando datos disponibles en sistemas de información. El estudio abarca el análisis de grupos de trabajo de 100 proyectos de desarrollo de software administrados mediante sistemas de seguimiento de incidencias o *Issue Tracking Systems* (ITSs). El trabajo derivó en diversas publicaciones científicas, incluyendo artículos de revista (Ramírez-Mora y col., 2020a; Ramírez-Mora y col., 2021b) y datasets (Ramírez-Mora y col., 2020b; Ramírez-Mora y col., 2021a).

## 5.1. Objetivo general

El objetivo general del estudio es investigar, en comunidades de desarrollo de software, las relaciones que existen entre algunas variables de comunicación (asociadas a características de madurez grupal), el éxito en la resolución de tareas de software o *issues*, y el tiempo invertido en la resolución de dichas tareas mediante la minería de sistemas de seguimiento de incidencias o *Issue Tracking Systems* (ITSs).

## 5.2. Justificación del estudio

Existe evidencia sobre el impacto de la interacción entre personas en el logro de objetivos de eficiencia y efectividad en proyectos de software. En particular, características de madurez grupal, tales como la comunicación efectiva o la claridad de los objetivos grupales, son características de equipos de trabajo de alto rendimiento. En el Capítulo 4 de esta tesis, se describió un estudio del que se obtuvo evidencia empírica sobre la relación positiva entre características de madurez grupal, la eficiencia y la efectividad de grupos dedicados al desarrollo de software en una organización de tecnología. A pesar de esto, casi no se ha investigado la relación entre características específicas de madurez grupal, la eficiencia y la efectividad en comunidades de desarrollo de software, incluyendo aquellas dedicadas a desarrollar software de código abierto. La investigación en este tema es importante debido a que puede proporcionar evidencia para determinar si algunas características de madurez grupal tienen un papel relevante en el desarrollo eficiente y efectivo en grandes comunidades de desarrollo de software.

El estudio de variables específicas del proceso de comunicación entre personas dedicadas al desarrollo de software puede permitir estudiar, al menos parcialmente, la mayoría de las actividades y procesos que caracterizan la madurez grupal debido a su importancia. La comunicación es indispensable para realizar muchos procesos grupales, incluyendo la gestión de conocimiento, la coordinación (que implica actividades de planificación y seguimiento), la colaboración grupal, la toma de decisiones, actividades propias de ingeniería de software y el liderazgo de un equipo. Además, la comunicación permite desarrollar estados grupales emergentes tales como la confianza mutua, la cohesión grupal y la claridad de las metas de un equipo, las cuales caracterizan a la madurez grupal. Algunas variables específicas del proceso de comunicación (tales como el objetivo de los mensajes comunicados y los tipos de interactuantes) son indispensables para estudiar los procesos y estados emergentes antes mencionados. Por ejemplo, el objetivo de los mensajes comunicados durante la realización de una tarea podría permitir estudiar la claridad de la definición de dicha tarea; la frecuencia de la comunicación podría permitir identificar si se realiza una resolución rápida de problemas; los emisores de mensajes pueden estudiarse para analizar quiénes asumen el liderazgo al tomar decisiones; y el número de mensajes que contribuyen a realizar tareas puede usarse para estudiar qué tanta colaboración existe en un grupo de trabajo.

La comunicación es un desafío en el desarrollo de software distribuido; sin embargo, existen diversas herramientas de software que se utilizan para colaborar y comunicar información durante el desarrollo de software, particularmente, cuando las personas trabajan en lugares geográficos diferentes. Algunos sistemas de seguimiento de incidencias o *Issue Tracking Systems* (ITSs) almacenan una gran cantidad de *issues* (tareas de software) y permiten registrar comentarios para la resolución de dichas tareas. Con base en esto, es posible extraer, procesar y analizar los datos de ITSs con el objetivo de estudiar variables de comunicación específicas, tales como las personas que interactúan, los tipos de mensajes comunicados y la frecuencia de la comunicación. También se pueden estudiar algunas métricas de eficiencia y efectividad de desarrollo de software mediante el análisis de datos alojados en ITSs tales como el tiempo de resolución de *issues* (que es una métrica de eficiencia) y el éxito de la resolución de los mismos, que es una métrica de efectividad.

Jira es uno de los ITSs más utilizados en el desarrollo ágil de software (DAS) (Versionone, 2020) y existen ITSs de Jira que alojan centenares de proyectos con datos públicos, por lo que

el alcance de estudiar variables de comunicación y características de madurez grupal usando la información de dichos ITSS puede ser mucho mayor que estudiar otro tipo de evidencia sobre comunicación o interacción (como correos electrónicos que estén disponibles públicamente, mensajes de dispositivos móviles, o audio de conversaciones). Además, la minería de datos públicos alojados en ITSS puede ser más rápida que la obtención de información proveniente de otras fuentes debido a las restricciones de seguridad y políticas sobre datos personales que pudieran existir en éstas últimas. Una de las ventajas de minar ITSS sobre el estudio de la documentación de procesos y artefactos de software es que éstos últimos usualmente no aportan suficiente evidencia sobre la comunicación en grupos de trabajo. Adicionalmente, los ITSS facilitan la planificación de tareas, son útiles para el seguimiento y la administración de proyectos, facilitan la toma de decisiones compartida, promueven la colaboración, y facilitan la asignación de trabajo y el balance de la carga de trabajo en los equipos de software.

Aunque es posible estudiar la relación entre variables de comunicación (asociadas a características de madurez grupal) e indicadores de eficiencia y efectividad utilizando datos almacenados en ITSS, no existe mucha investigación sobre estos temas. Algunos de los trabajos relacionados existentes se mencionaron en la Sección 3.2. Tales trabajos proporcionan evidencia de relaciones entre la resolución de *issues* y diversas variables de comunicación. Algunos trabajos estudiaron el número y la longitud de los comentarios, otros realizaron análisis de sentimientos, y otros pocos estudiaron funciones específicas de comunicación en los comentarios de *issues*; sin embargo, se necesita más investigación sobre otras variables de comunicación y su relación con la resolución rápida y exitosa de *issues* para obtener evidencia que permita mejorar el desarrollo de software. El estudio descrito en este capítulo tiene como objetivo contribuir en la investigación de los temas antes mencionados.

### 5.3. Metodología

#### 5.3.1. Preguntas de investigación e hipótesis

Esta sección presenta las interrogantes de investigación que guiaron el estudio y las hipótesis asociadas a las mismas. Tanto las preguntas de investigación como las hipótesis se formularon considerando el marco teórico y los trabajos relacionados (descritos en el Capítulo 2).

**PI<sub>1</sub>: ¿Cómo se relaciona la cantidad de mensajes de las distintas personas con el tiempo y el éxito en la resolución de *issues*?**

H<sub>1,1</sub>: La cantidad de mensajes de las distintas personas es diferente en *issues* resueltos exitosamente e *issues* no exitosos.

H<sub>1,2</sub>: Existen correlaciones estadísticamente significativas entre la cantidad de mensajes de las distintas personas y el tiempo de resolución de *issues*.

**PI<sub>2</sub>: ¿Cómo se relaciona la cantidad de los distintos tipos de mensajes (de acuerdo a su objetivo) con el tiempo y el éxito en la resolución de *issues*?**

H<sub>2,1</sub>: La distribución de los tipos de mensajes es diferente en *issues* resueltos exitosamente



e *issues* no exitosos.

H<sub>2,2</sub>: Existen correlaciones estadísticamente significativas entre la cantidad de los diferentes tipos de mensajes y el tiempo de resolución de *issues*.

**PI<sub>3</sub>: ¿Cómo se relaciona el número total de mensajes intercambiados con el tiempo y el éxito en la resolución de *issues*?**

H<sub>3,1</sub>: La cantidad total de mensajes es diferente en *issues* resueltos exitosamente e *issues* no exitosos.

H<sub>3,2</sub>: Existen correlaciones estadísticamente significativas entre la cantidad total de mensajes y el tiempo de resolución de *issues*.

**PI<sub>4</sub>: ¿Cómo se relaciona la frecuencia de comunicación con el tiempo y el éxito en la resolución de *issues*?**

H<sub>4,1</sub>: La frecuencia de mensajes comunicados es diferente en *issues* resueltos exitosamente e *issues* no exitosos.

H<sub>4,2</sub>: Existen correlaciones estadísticamente significativas entre la frecuencia de mensajes comunicados y el tiempo de resolución de *issues*.

**PI<sub>5</sub>: ¿Cómo se relaciona el tamaño de los mensajes con el tiempo de resolución de *issues* y el éxito en la resolución de *issues*?**

H<sub>5,1</sub>: El tamaño de mensajes es diferente en *issues* resueltos exitosamente e *issues* no exitosos.

H<sub>5,2</sub>: Existen correlaciones estadísticamente significativas entre el tamaño de mensajes y el tiempo de resolución de *issues*.

La metodología general de investigación incluyó los siguientes pasos: la selección de un conjunto de proyectos de software para el estudio, la extracción de los datos de los proyectos seleccionados, la limpieza y el pre-procesamiento de los datos, la transformación de los datos preprocesados, el análisis de datos, y el reporte de resultados. Las siguientes secciones detallan estos pasos, los cuales permitieron responder las interrogantes de investigación y probar las hipótesis planteadas.

### 5.3.2. Contexto, entidades y variables de estudio

#### Contexto del estudio

Jira<sup>1</sup> es una herramienta de software ampliamente utilizada para administrar proyectos, monitorear *issues* (tareas de software a realizarse) y registrar comentarios, los cuales, permiten proporcionar información adicional de los *issues* y facilitan la comunicación e interacción entre

---

<sup>1</sup><https://www.atlassian.com/software/jira>

personas. Jira se utiliza como un sistema de seguimiento de incidencias o *Issue Tracking System* (ITS) y algunas comunidades dedicadas al desarrollo de software (como Apache, Red Hat y Spring) tienen ITSs públicos para registrar las tareas de sus proyectos. Los siguientes, son algunos de los tipos de *issues* más comunes en ITSs de Jira.

- **Errores.** Defectos que deterioran o impiden las funciones de un producto de software y que deben corregirse. La resolución de errores y defectos son tareas correctivas en el desarrollo de software.
- **Mejoras.** Actualizaciones y mejoras de una función o componente existente que deben desarrollarse. La implementación de mejoras suele ser una tarea perfecta en el desarrollo de software.
- **Nuevas funcionalidades.** Nuevas características de productos de software aún no desarrolladas pero que se implementarán. El desarrollo de nuevas funcionalidades suele ser una tarea adaptativa en el desarrollo de software.

Los programadores, usuarios, administradores o cualquier persona autorizada en un proyecto puede registrar *issues* en un ITS de Jira. Para la resolución de *issues*, se asigna una persona (generalmente un desarrollador de software) a cada uno.

Las personas pueden vigilar el progreso de las tareas mediante los ITSs de Jira debido a que los *issues* cuentan con una etiqueta de acuerdo a su estado. El estado de un nuevo *issue* es “Abierto” cuando se crea el *issue* inicialmente, y cuando las personas comienzan a resolverlo, el estado del *issue* cambia a “En progreso”. Cuando se completa la resolución de un *issue*, el estado de éste cambia a “Resuelto”, y si se acepta la resolución, el estado del *issue* cambia a “Cerrado”, de lo contrario, el estado cambia a “Reabierto”. La Figura 5.1 muestra un ejemplo del ciclo de vida de un *issue*.

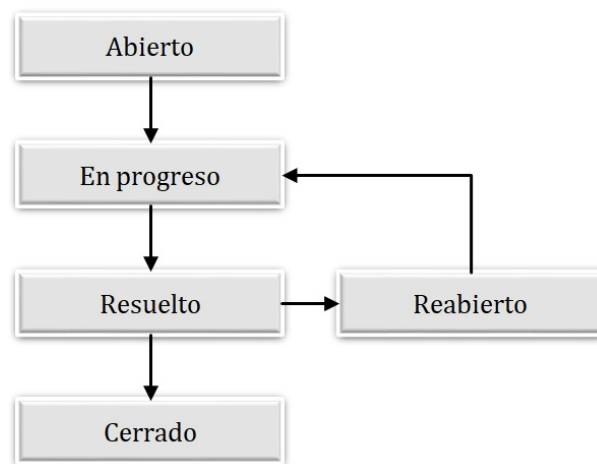


Fig. 5.1: Ejemplo de los posibles estados de un *issue* durante su ciclo de vida

Cuando el estado de un *issue* cambia a “Resuelto”, se debe etiquetar el *issue* con un tipo de resolución. Las etiquetas más comunes para un *issue* resuelto con éxito generalmente incluyen: “Completo”, “Hecho”, “Corregido” y “Resuelto”. Las etiquetas más comunes para un *issue*

no exitoso incluyen: “Abandonado”, “No se puede reproducir”, “Incompleto”, “Tiempo de espera agotado”, “Sin resolver”, “No se hará” y “No se solucionará”.

Un *issue* resuelto generalmente cuenta con una descripción, las fechas de su registro y resolución, un identificador único, la descripción de su resolución, su estado, el proyecto al que pertenece, los datos de la persona que lo registró y la información de la persona asignada a resolverlo. La información antes mencionada puede permitir determinar algunos indicadores de eficiencia (como el tiempo de resolución del *issue*) e indicadores de efectividad (como el éxito en la resolución del *issue*).

Los comentarios representan una parte importante de la comunicación realizada durante las actividades de desarrollo de software y cualquier persona autorizada puede registrarlos con el objetivo de proporcionar información útil para resolver un *issue*, solicitar información, o comunicar cualquier información a la comunidad de desarrollo. Un comentario almacenado en un ITS de Jira comúnmente incluye una descripción, información de la persona que lo reportó, un identificador único, la fecha de su creación y el *issue* al que pertenece. Las descripciones de los comentarios son textos que a menudo incluyen información técnica (URLs, fragmentos de código, especificaciones de software, directorios) e información sobre la resolución de los *issues*. A partir de los datos de los comentarios se pueden estudiar variables de comunicación como los tipos de interactuantes, los tipos de mensajes, el número de mensajes y la frecuencia de los mensajes.

A continuación, se mencionan tres ITSs públicos de Jira que almacenan un número considerable de proyectos de software de algunas de las comunidades más importantes dedicadas al desarrollo de software, en específico, organizaciones dedicadas al desarrollo de software de código abierto.

- ITS de Apache<sup>2</sup>, que es un ITS abierto que almacena más de 600 proyectos de software.
- ITS de Red Hat<sup>3</sup>, que reemplazó al ITS de JBoss y almacena más de 400 proyectos de software, incluidos productos de software para el funcionamiento del sistema operativo Red Hat.
- ITS de Spring<sup>4</sup>, que es un sistema para el seguimiento de más de 80 proyectos de Spring y sus derivados.

### Entidades de estudio

Las entidades de estudio son proyectos de desarrollo de software pertenecientes a las comunidades de Apache, RedHat y Spring, y cuyos datos se alojan en ITSs de Jira. Estas organizaciones trabajan en proyectos de desarrollo de software de código abierto (*open source software* (OSS)). El desarrollo de OSS es el desarrollo de software en el que se publica el código fuente bajo una licencia que niega a cualquiera el derecho de explotar exclusivamente un trabajo con el objetivo de llegar a un público amplio (Laurent, 2008). En el desarrollo de OSS los usuarios cuentan con los derechos para estudiar, cambiar y distribuir el software.

---

<sup>2</sup><https://issues.apache.org/jira/secure/Dashboard.jspa>

<sup>3</sup><https://issues.redhat.com/secure/Dashboard.jspa>

<sup>4</sup><https://jira.spring.io/secure/Dashboard.jspa>

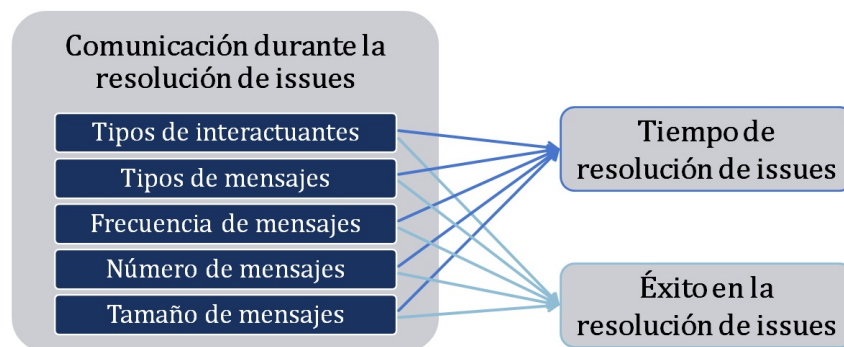
Específicamente, se seleccionaron 100 proyectos de software (81 desarrollados por Apache, 13 por Red Hat y 6 por Spring) para el estudio. Los proyectos seleccionados son algunos de los proyectos con el mayor número de comentarios e *issues* alojados en sus respectivos ITSs (tienen al menos 150 *issues* cerrados que incluyen errores o defectos, nuevas funcionalidades y mejoras) y son proyectos grandes (su duración es mayor a 10 años y cuentan con suficiente información para estudiar variables de comunicación, el éxito en la resolución de *issues* y tiempo de resolución de *issues*). En la mayoría de los proyectos seleccionados, se utilizó Java o JavaScript como lenguaje de programación para desarrollar los productos de software (incluidos complementos y componentes de software, herramientas de desarrollo, interfaces web, *frameworks* y lenguajes de programación).

### Variables de estudio

A continuación, se listan las variables definidas con base en las preguntas de investigación.

- Cantidad de mensajes de los diferentes **tipos de interactuantes** en el proceso de comunicación (administradores de proyecto, personas que reportan *issues* y personas asignadas a la resolución de *issues*).
- Cantidad de los distintos **tipos de mensajes** de acuerdo a su objetivo en el proceso de comunicación (mensajes referenciales, emotivos, conativos y fáticos) de acuerdo con las categorías propuestas por Jakobson (1963) y descritas en el Capítulo 2.
- **Frecuencia** con la que se comunican los mensajes durante la resolución de *issues*.
- **Número total de mensajes** comunicados durante la resolución de *issues*.
- **Tamaño de los mensajes** comunicados durante la resolución de *issues*.
- **Tiempo de resolución** de los *issues*.
- **Éxito en la resolución** de los *issues*.

La Figura 5.2 muestra las relaciones estudiadas entre las variables antes mencionadas.



**Fig. 5.2:** Relaciones entre variables estudiadas

Debido a que las variables de comunicación estudiadas tienen relación con algunos procesos y estados grupales, las tablas 5.1 y 5.2 describen como, a partir de las variables de comunicación

## 5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE

---

investigadas, es posible estudiar, al menos parcialmente, características de madurez grupal.

**Tabla 5.1:** Descripción de las asociaciones entre variables estudiadas y características de madurez grupal

Variables	Asociación
Tipos de interactuantes - Comportamiento de apoyo	Los tipos de interactuantes corresponden a las personas que apoyan en la resolución de tareas (p. ej., proporcionando información relevante).
Tipos de interactuantes - Manejo de conflictos	Los interactuantes permiten identificar a las personas que participan en la resolución de <i>issues</i> y en el manejo de los problemas que se presentan durante los mismos.
Tipos de interactuantes - Toma de decisiones compartida	El número y tipo de personas que se comunican durante la resolución de un <i>issue</i> permiten saber si todos los involucrados participan en la toma de decisiones.
Tipos de interactuantes - Cohesión	Los interactuantes permiten identificar si todas las personas interactúan de la misma manera al resolver un <i>issue</i> .
Tipos de interactuantes - Confianza	Los interactuantes permiten identificar si todos los miembros de un grupo tienen la confianza para comunicarse durante la resolución de <i>issues</i> .
Tipos de mensajes - Comportamiento de apoyo	Algunos tipos de mensajes indican si existe apoyo para resolver un <i>issue</i> (p. ej. mensajes referenciales para resolver preguntas o proporcionar información útil).
Tipos de mensajes - Manejo de conflictos	Algunos tipos de mensajes indican si se resuelven los problemas constructivamente (p. ej. mensajes conativos para sugerir soluciones o alternativas).
Tipos de mensajes - Toma de decisiones compartida	Algunos tipos de mensajes indican si los miembros del equipo están de acuerdo con las decisiones tomadas (p. ej. mensajes emotivos que indiquen conformidad con las decisiones tomadas).
Tipos de mensajes - Confianza mutua	Algunos tipos de mensajes indican si los miembros de un grupo confían o no en los demás (p. ej. mensajes emotivos que indiquen certeza o confianza).
Tipos de mensajes - Conformidad	Algunos tipos de mensajes pueden indicar si los miembros de un grupo están conformes (p. ej. mensajes emotivos).
Tipos de mensajes - Claridad	Algunos tipos de mensajes pueden indicar si existe claridad en la resolución de <i>issues</i> (p. ej. mensajes objetivos o la ausencia de preguntas debido a malos entendidos).
Frecuencia de mensajes - Comportamiento de apoyo	La frecuencia de mensajes intercambiados durante la resolución de <i>issues</i> podría indicar si el apoyo es constante.
Frecuencia de mensajes - Manejo de conflictos	La frecuencia de mensajes indica qué tan constante y rápida es la comunicación durante la resolución de conflictos.
Número de mensajes - Comportamiento de apoyo	La cantidad de mensajes intercambiados durante la resolución de <i>issues</i> puede indicar la cantidad de apoyo y participación de los miembros de un equipo en la resolución de tareas.
Tamaño de mensajes - Comportamiento de apoyo	El tamaño de los mensajes puede indicar la cantidad de participación y apoyo de los miembros de un equipo en la resolución de tareas.

## 5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE

**Tabla 5.2:** Características de madurez grupal que pueden estudiarse a partir de las variables de comunicación

Variable estudiada	Característica de madurez grupal							
	Comunicación efectiva	Comportamiento de apoyo	Manejo de conflictos	Toma de decisiones compartida	Cohesión grupal	Confianza mutua	Conformidad con las reglas grupales	Claridad de metas
Tipo de interactuantes	X	X	X	X	X	X	-	-
Tipo de mensajes	X	X	X	X	-	X	X	X
Frecuencia de mensajes	X	X	X	-	-	-	-	-
Número de mensajes	X	X	-	-	-	-	-	-
Tamaño de mensajes	X	X	-	-	-	-	-	-

X: se puede estudiar parcialmente la característica de madurez grupal mediante la variable de comunicación estudiada.

### 5.3.3. Extracción de datos

Se extrajeron un total de 153,905 *issues* y sus comentarios (846,836) de los 100 proyectos seleccionados utilizando la API de Jira<sup>5</sup>. Los *issues* extraídos se categorizaron en errores (o defectos), mejoras y nuevas funcionalidades con el objetivo de estudiar las relaciones entre las variables de comunicación, y el tiempo y éxito en la resolución de las tareas de software más comunes y relevantes. La Tabla 5.3 presenta la distribución de los *issues* y comentarios extraídos. La Tabla 5.4 muestra cómo se distribuyen los proyectos estudiados según su número de *issues* y comentarios.

Los *issues* extraídos son públicos, se escribieron principalmente en inglés (solamente algunos pocos de ellos incluyeron frases en otros idiomas como español o francés) y su fecha de registro abarca desde enero de 2001 hasta septiembre de 2019. El estado de los *issues* extraídos es “Cerrado”, lo que indica que existe una resolución para cada *issue* y que los *issues* se han finalizado. Los datos extraídos se almacenaron en una base de datos y están parcialmente publicados en dos datasets (Ramírez-Mora y col., 2020b; Ramírez-Mora y col., 2021a). La Figura 5.3 muestra el modelo de datos utilizado.

<sup>5</sup><https://docs.atlassian.com/jira-software/REST/7.0.4/>

## 5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE

**Tabla 5.3:** Distribución de los *issues* extraídos y sus comentarios

<i>Issues resueltos exitosamente</i>								
<i>Tipo de issue</i>	<i>Issues</i>				<i>Comentarios</i>			
	Apache	Red Hat	Spring	Total	Apache	Red Hat	Spring	Total
Errores	68770	16648	4654	90072	414107	65362	12934	492403
Mejoras	30827	809	3822	35458	196648	2862	10335	209845
Nuevas funcionalidades	7875	3363	949	12187	70544	13845	3502	87891
<b>Total</b>	<b>107472</b>	<b>20820</b>	<b>9425</b>	<b>137717</b>	<b>681299</b>	<b>82069</b>	<b>26771</b>	<b>790139</b>

<i>Issues no resueltos exitosamente</i>								
<i>Tipo de issue</i>	<i>Issues</i>				<i>Comentarios</i>			
	Apache	Red Hat	Spring	Total	Apache	Red Hat	Spring	Total
Errores	7211	3585	447	11243	24688	11521	1448	37657
Mejoras	2476	92	378	2946	10204	275	1243	11722
Nuevas funcionalidades	1018	873	108	1999	4716	2169	433	7318
<b>Total</b>	<b>10705</b>	<b>4550</b>	<b>933</b>	<b>16188</b>	<b>39608</b>	<b>13965</b>	<b>3124</b>	<b>56697</b>

**Tabla 5.4:** Distribución de los proyectos estudiados por número de *issues* y comentarios

	<i>Número de issues estudiados</i>				
	<i>0 - 1000</i>	<i>1001 - 2000</i>	<i>2001 - 3000</i>	<i>3001 - 4000</i>	<i>Más de 4000</i>
<b>No. de proyectos</b>	57	18	10	4	11

	<i>Número de comentarios estudiados</i>				
	<i>0 - 1000</i>	<i>1001 - 2000</i>	<i>2001 - 3000</i>	<i>3001 - 4000</i>	<i>Más de 4000</i>
<b>No. de proyectos</b>	18	22	14	7	39



**Fig. 5.3:** Diagrama general de datos

#### 5.3.4. Pre-procesamiento de datos

Como parte del procesamiento previo de datos, se realizaron las actividades descritas a continuación.

- Los datos extraídos se transformaron en un formato único antes de analizarse debido a que provenían de tres ITSS diferentes y algunos de ellos (incluyendo algunas fechas) no se encontraban en el mismo formato.
- Se identificaron algunos valores nulos en los campos de fechas y nombres. Estos valores se manejaron adecuadamente antes del análisis de datos.

Con el fin de estudiar los comentarios a detalle, se construyó un dataset alternativo. Se realizaron las siguientes tareas sobre dicho dataset para eliminar información irrelevante de *issues* y comentarios con el objetivo homogeneizar la información y reducir la cantidad de información a procesarse en algunas tareas de análisis.

- Las URLs se reemplazaron con la cadena “url\_específica”.
- Se identificaron nombres de usuario específicos y se reemplazaron con la cadena “usuario\_específico”.
- Los números se reemplazaron con “número\_específico”.
- Las versiones de software se reemplazaron con “versión\_específica”.
- Los correos electrónicos específicos se reemplazaron con la cadena “correo\_específico”.
- Algunos comentarios incluyeron fragmentos de código de software que se reemplazaron con la cadena “código\_específico”.
- Algunos comentarios incluían rutas para especificar directorios de archivos que se reemplazaron con la cadena “ruta\_específica”.

#### 5.3.5. Etiquetado de comentarios

##### *Etiquetado de tipos de interactuantes*

Los comentaristas de *issues* (personas que reportan comentarios), que son los interactuantes estudiados en el trabajo reportado en este capítulo, suelen ser emisores y receptores de mensajes durante las actividades de desarrollo de software. Para responder las preguntas de investigación sobre los tipos interactuantes, se identificaron los roles de los comentaristas de cada tarea (*issue*). Los siguientes roles se propusieron para tipificar interactuantes:

- **Administrador de proyecto (ADP).** Un comentarista que también es el administrador del proyecto al que pertenece el *issue* que comenta.



- **Reportero de *issue* (RI)**. Un comentarista que también reportó el *issue* que comenta.
- **Rol de asignación**. El papel de una persona de acuerdo con su asignación para resolver un *issue* específico. Se propusieron los siguientes roles de asignación.
  - **Asignado al *issue* (AI)**. Un comentarista que también está asignado a resolver el *issue* que comenta.
  - **Asignado al proyecto (AP)**. Un comentarista que está asignado a resolver otro(s) *issue(s)* en el mismo proyecto al que pertenece el *issue* que comenta pero no está asignado al *issue* que comenta.
  - **Asignado general (AG)**. Un comentarista que no está asignado a ningún *issue* en el proyecto al que pertenece el *issue* que comenta, pero está asignado a resolver uno o más *issues* de otro(s) proyecto(s) en el mismo ITS.
  - **No asignado (NA)**. Un comentarista que no está asignado a resolver ningún *issue* en ningún proyecto.

Para identificar los mensajes comunicados por cada tipo de interactuante durante la resolución de un *issue*, se realizó un etiquetado de cada comentario de acuerdo con los roles que desempeña la persona que lo reportó. Para cada rol, se asignó un “1” a un comentario si su reportero desempeñó el rol, de lo contrario, se asignó un “0”. Cada comentario se etiquetó con al menos uno de los roles anteriores utilizando los datos de los *issues*, comentarios y proyectos extraídos previamente (Figura 5.3).

#### *Etiquetado de comentarios con tipos de mensajes*

Para analizar las funciones de los comentarios de *issues* y responder algunas de las preguntas de investigación, se etiquetaron los comentarios de los *issues* de acuerdo a sus funciones de comunicación considerando las categorías propuestas por Jakobson (1963) explicadas el Capítulo 2. Se seleccionaron dichas categorías debido a que están asociadas a los principales elementos del proceso de comunicación y, a partir de ellas, se pueden estudiar otras características de madurez grupal.

Debido a la cantidad de comentarios estudiados (más de 800K), se realizaron actividades manuales y automáticas para etiquetarlos. Se realizaron los siguientes tres pasos generales:

1. *Paso 1: Etiquetado manual*. Se etiquetaron seis mil comentarios manualmente para generar un corpus de funciones de comunicación.
2. *Paso 2: Identificación de algoritmos útiles*. Se identificaron algoritmos de aprendizaje automático o *machine learning* útiles para realizar el etiquetado automático de comentarios.
3. *Paso 3: Etiquetado automático*. Con base en los resultados del Paso 2, se utilizaron los mejores algoritmos y el corpus de comentarios que fue generado en el Paso 1 para etiquetar los comentarios automáticamente con sus funciones de comunicación.

#### *Paso 1: Etiquetado manual*

## 5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE

Se seleccionaron aleatoriamente seis mil comentarios (2,000 de cada ITS) para etiquetarlos manualmente. Los comentarios pertenecen a 1,959 *issues* y el número de comentarios de *issues* exitosos y no exitosos fue el mismo (alrededor de 3,000) para garantizar que el corpus estuviera balanceado.

Los comentarios se etiquetaron con base en las categorías propuestas por Jakobson (1963); sin embargo, no se estudiaron las funciones “poética” ni “metalingüística” debido a que después de analizar los comentarios no se encontraron suficientes mensajes con estas funciones (más del 99 % de los comentarios analizados tenían mensajes referenciales, emotivos, conativos y/o fáticos). Adicionalmente, se identificaron algunas funciones emotivas y conativas específicas que fueron recurrentes en los comentarios. La Tabla 5.5 resume estas funciones.

**Tabla 5.5:** Funciones de comunicación comunes en comentarios de *issues*

Función general	Función específica	Ejemplos
<b>Referencial (R)</b>	Comunicar información objetiva sobre la situación o el contexto de la resolución de <i>issues</i> .	“El <i>issue</i> se encontró en la versión 2.0”, “Ese error se solucionó”, “El sitio se bloqueó”, “El código se actualizó en el repositorio”, “Eliminemos el código incorrecto”, “Adjunto los detalles del error”
<b>Emotiva (E)</b>	Expresar opiniones, pensamientos, puntos de vista o estados mentales.	“Estoy de acuerdo contigo”, “Pienso que esto es mejor”, “Creo que puede funcionar”, “En mi opinión, está bien”, “No entiendo”
	Expresar emociones y sentimientos.	“Me siento feliz”, “Estoy enojado”, “Me preocupa :”, “Perdón por el error”, “¡Dios mío!”
	Expresar deseos y anhelos.	“Quisiera ver el documento”, “Me gustaría saber el motivo”
<b>Conativa (C)</b>	Expresar órdenes.	“Descarga el proyecto”, “Por favor, agregue la descripción de la variable”
	Expresar sugerencias o dar consejos.	“Deberías borrar el código”, “Debes actualizarlo”
	Preguntar.	“¿Puedes arreglar el error, por favor?”, “¿Cuál es el siguiente paso?”, “¿Dónde incluiste el código?”
<b>Fática (F)</b>	Probar, comenzar, prolongar o finalizar la comunicación.	“Hola”, “Confirmado”, “Ok”, “Seguro”, “Adiós”, “Gracias”

Se asignó más de una etiqueta al 40 % de los comentarios porque incluían frases con más de una función. Para realizar el etiquetado manual, se construyó una matriz con los comentarios y funciones (referencial, conativa, emotiva y fática), tal como se muestra en la Tabla 5.6. Se asignó un valor de “X” a una celda cuando un comentario tenía mensajes con una función específica, de lo contrario, se asignó un valor de “0”. Cuando fue lo suficientemente claro, se registró la función específica de los comentarios emotivos y conativos considerando la información de la Tabla 5.5. La Tabla 5.6 muestra algunos ejemplos del etiquetado manual de comentarios.

Una vez que se completó el etiquetado manual, dos personas distintas volvieron a realizar el etiquetado con el fin de validar las funciones de los mensajes identificados en cada comentario.

**Tabla 5.6:** Ejemplos de etiquetado manual de comentarios

Comentario	Referencial	Emotivo	Conativo	Fático
Estoy de acuerdo en que ambas clases deberían registrarse principalmente en el nivel de depuración, así que las he adaptado en consecuencia.	X	X	0	0
No puedo reproducir esto ... ¿Puede enviar un caso de prueba mínimo que reproduzca su problema?	X	0	X	0
OMG, esto fue rápido;) marcado como "arreglado" antes de que pudiera cargar los archivos mencionados :P	X	X	0	0
OK, gracias. El enlace ahora funciona ...	X	0	0	X

Las dos personas recibieron un documento con la descripción de las funciones de comunicación, ejemplos de cada función (Tabla 5.5) y ejemplos de comentarios etiquetados (Tabla 5.6) para tener un entendimiento común del etiquetado. Se compararon los resultados del etiquetado manual y se encontraron y gestionaron algunos desacuerdos en aproximadamente 1% de los comentarios. Luego de esta actividad, se consideró válido el corpus de funciones de comentarios generado.

*Paso 2: Identificación de algoritmos útiles*

El corpus generado consta de 6,000 comentarios etiquetados con sus correspondientes funciones de comunicación. El corpus se utilizó para entrenar e identificar algoritmos de *machine learning* útiles para detectar automáticamente funciones de comunicación en los comentarios. Este proceso incluyó la ejecución y evaluación de tareas de clasificación binaria, en las que algunos algoritmos asignaron un valor de "X" o "0" a los comentarios con base en sus funciones específicas (referencial, conativa, emotiva y fática). El proceso incluyó los pasos descritos a continuación.

1. Extracción de características. Se extrajeron las siguientes características de los comentarios etiquetados manualmente: palabras, secuencias de palabras (n-gramas de palabras) que variaban de 2 a 10 palabras y secuencias de caracteres (n-gramas de caracteres) que variaban de 2 a 10 caracteres.
2. Vectorización. Los comentarios se transformaron en una representación numérica para construir modelos de clasificación. Para vectorizar los comentarios, se utilizaron las características definidas y el *Term Frequency-Inverse Document Frequency* (TF-IDF), que es un indicador numérico para evaluar la importancia de una palabra para un texto o documento en un conjunto o corpus (Rajaraman y Ullman, 2011; Wu y col., 2008). La biblioteca scikit-learn para Python (Pedregosa y col., 2011) resultó de utilidad para la vectorización de textos.
3. Entrenamiento de algoritmos. Los comentarios vectorizados permitieron entrenar los siguien-

tes cuatro algoritmos de aprendizaje automático para construir modelos de clasificación: *Multinomial Naïve Bayes* (MNB), *Logistic Regression* (LR), *Random Forest Classifier* (RFC) y *Gradient Boosting Classifier* (GBC). Estos algoritmos están implementados en la biblioteca scikit-learn para Python (Pedregosa y col., 2011) y la mayoría de ellos se describen en (Garreta y Moncecchi, 2013; Manning y Schütze, 1999). El entrenamiento de algoritmos permitió identificar aquellos con los mejores resultados. Los algoritmos entrenados se seleccionaron porque algunos trabajos que han realizado tareas de clasificación utilizando información de *issues* los han encontrado útiles (Guo y col. (2010), Di Sorbo y col. (2019), y Menzies y col. (2007)).

El entrenamiento de los algoritmos se realizó para cada función de comunicación (referencial, emotiva, conativa y fática) con el fin de construir modelos útiles para determinar si un comentario tenía o no mensajes con cada función. Para el proceso de entrenamiento, el 75% de los comentarios constituyeron el conjunto de entrenamiento y el 25% el conjunto de prueba. Los datos de entrenamiento se equilibraron para evitar sesgos hacia las clases predominantes (comentarios con y sin funciones específicas).

4. Evaluación de algoritmos. Los conjuntos de datos de prueba se utilizaron para evaluar los algoritmos después de las tareas de entrenamiento. Se calcularon las siguientes cuatro medidas para comparar los resultados de los algoritmos: *precisión*; que es la relación entre las observaciones predichas correctamente en una clase y el total de observaciones predichas en dicha clase; *exactitud (accuracy)*, que es la relación entre las observaciones predichas correctamente y el total de observaciones; *recall*, que es el ratio de las observaciones predichas correctamente en una clase y todas las observaciones en dicha clase; y la medida *F1*, que es el promedio ponderado de precisión y *recall*. La Tabla 5.7 muestra los mejores resultados de experimentos para etiquetar comentarios de acuerdo con sus funciones de comunicación.

**Tabla 5.7:** Mejores resultados para etiquetar comentarios con sus funciones

<b>Función</b>	<b>Algoritmo</b>	<b>Precisión</b>	<b>Exactitud</b>	<b>Recall</b>	<b>F1</b>
Referencial	LR	90 %	90 %	90 %	90 %
Emotiva	GBC	97 %	97 %	97 %	97 %
Conativa	GBC	98 %	98 %	99 %	99 %
Fática	GBC	96 %	99 %	92 %	96 %

### *Paso 3: Etiquetado automático*

Con base en los resultados de la Tabla 5.7, se utilizaron los mejores algoritmos para etiquetar automáticamente otro conjunto de más de 800K comentarios de acuerdo con sus funciones de comunicación. El etiquetado automático constó de los pasos descritos a continuación.

1. Extracción de características y vectorización. Se extrajeron palabras, n-gramas de palabras que variaban entre 2 y 10 palabras y n-gramas de caracteres que variaban entre 2 y 10 caracteres de los más de 800,000 comentarios sin etiquetar. Posteriormente, los comentarios se vectorizaron utilizando las características mencionadas y el TF-IDF.
2. Etiquetado. Para cada función (referencial, conativa, emotiva y fática), se utilizaron los mejores algoritmos (Tabla 5.7), entrenados con el corpus vectorizado de 6,000 comentarios

en el “Paso 2”, como modelos de probabilidad. Estos modelos permitieron calcular las probabilidades de que los más de 800,000 comentarios sin etiquetar tuvieran mensajes con las funciones específicas. Se etiquetaron los comentarios de acuerdo a sus funciones de comunicación con base en las probabilidades obtenidas. Casi la totalidad de los comentarios resultaron etiquetados con al menos una función (referencial, emotiva, conativa o fática), y solamente un pequeño porcentaje de ellos (menos del 1 %) no se etiquetaron con ninguna función debido a que todas las probabilidades resultaron ser demasiado pequeñas. En la mayoría de los casos, esto fue causado por información insuficiente en los comentarios.

### 5.3.6. Cálculo de variables

Las variables descritas a continuación se calcularon con el objetivo de realizar el análisis de datos y responder las preguntas de investigación.

- **Éxito de *issue* (EI)**. Variable binaria que indica si un *issue* se resolvió con éxito o no, es decir, si se implementaron o no los requerimientos del *issue*. Un valor de “1” denotó *issues* exitosos (*issues* con alguna de las siguientes etiquetas: “Completo”, “Hecho”, “Corregido” o “Resuelto”) y un valor de “0” denotó *issues* fallidos o no exitosos (*issues* con alguna de las siguientes etiquetas: “Abandonado”, “No se puede reproducir”, “Incompleto”, “Tiempo de espera agotado”, “Sin resolver”, “No se hará” o “No se solucionará”).
- **Tiempo de resolución de *issue* (TRI)**. El número de días entre la fecha de creación y la fecha de resolución de un *issue*.
- **Número de mensajes (NM)**. El número de comentarios comunicados durante la resolución de un *issue*. El número de comentarios se calculó con el objetivo de estudiar la cantidad de mensajes comunicados.
- **Tamaño promedio de mensaje (TPM)**. Tamaño promedio (número de caracteres) de los comentarios de un *issue*. El TPM se calculó para cada *issue* con el objetivo de comprender la cantidad de información comunicada durante la resolución de un *issue*.

$$TPM = \frac{Tam\_comentario_1 + Tam\_comentario_2 + \dots + Tam\_comentario_N}{NM} \quad (5.1)$$

- **Frecuencia de mensajes (FM)**. Número promedio de comentarios comunicados en un día durante la resolución de un *issue*. La FM se calculó para cada *issue* con el objetivo de estudiar la frecuencia de comunicación. Para los *issues* resueltos el mismo día de su creación, la FM fue igual al número de comentarios del *issue*.

$$FM = \frac{NM}{TRI} \quad (5.2)$$

- Variables referentes al porcentaje de comentarios informados por cada tipo de interactuante:
  - **Porcentaje de mensajes de ADP (PADP)**. Porcentaje de comentarios de un *issue* comunicados por personas con el rol “ADP”.

- **Porcentaje de mensajes de RI (PRI).** Porcentaje de comentarios de un *issue* comunicados por personas con el rol “RI”.
- **Porcentaje de mensajes de AI (PAI).** Porcentaje de comentarios de un *issue* comunicados por personas con el rol “AI”.
- **Porcentaje de mensajes de AP (PAP).** Porcentaje de comentarios de un *issue* comunicados por personas con el rol “AP”.
- **Porcentaje de mensajes de AG (PAG).** Porcentaje de comentarios de un *issue* comunicados por personas con el rol “AG”.
- **Porcentaje de mensajes de NA (PNA).** Porcentaje de comentarios de un *issue* comunicados por personas con el rol “NA”.

Además, se identificaron los mensajes que no fueron registrados por personas (aquellos generados automáticamente por los ITSs).

- Variables referentes al porcentaje de comentarios con mensajes de cada tipo:
  - **Porcentaje de mensajes referenciales (PMR).** Porcentaje de comentarios de un *issue* con al menos un mensaje referencial.
  - **Porcentaje de mensajes emotivos (PME).** Porcentaje de comentarios de un *issue* con al menos un mensaje emotivo.
  - **Porcentaje de mensajes conativos (PMC).** Porcentaje de comentarios de un *issue* con al menos un mensaje conativo.
  - **Porcentaje de mensajes fáticos (PMF).** Porcentaje de comentarios de un *issue* con al menos un mensaje fático.

Además de la información calculada para cada *issue*, se calcularon, para cada proyecto, los promedios de EI, TRI, NM, TPM, FM, PADP, PRI, PAI, PAP, PAG, PNA, PMR, PME, PMC y PMF.

### Construcción de secuencias de comunicación

Con el objetivo de estudiar la comunicación durante la resolución de *issues*, y con base en los tipos de interactuantes y los tipos de comentarios de cada *issue*, se identificaron las siguientes secuencias en cada *issue* para estudiar los patrones de comunicación en *issues* exitosos y no exitosos y en *issues* con tiempos de resolución cortos y largos:

- Secuencias de tipos interactuantes. Secuencias de los tipos de interactuantes que intervinieron durante la resolución de un *issue*. Como ejemplo, la secuencia “RI, AI - AP” indica un interactuante con roles “RI” y “AI” que comunicó un mensaje antes que un interactuante con el rol “AP”.
- Secuencias de tipos de comentarios. Secuencias de los tipos de mensajes comunicados durante la resolución de un *issue*. Como ejemplo, la secuencia “R - E,C” indica un comentario con sentencias referenciales comunicado antes de un comentario con frases emotivas y conativas.

- Secuencias de tipos de comentarios y tipos de interactuantes. Secuencias de tipos de mensajes comunicados por tipos de interactuantes durante la resolución de un *issue*. Como ejemplo, la secuencia “RI(R) - AP(C)” indica un interactuante con el rol “AP” que comunicó un mensaje conativo después de que un interactuante con el rol “RI” comunicara un mensaje referencial.

### 5.3.7. Análisis de datos

Se seleccionaron principalmente métodos de análisis cuantitativos para responder las preguntas de investigación, incluyendo estadística descriptiva, análisis de correlación y técnicas de *machine learning*. Además, se analizó el éxito en la resolución de *issues*, el tiempo de resolución de *issues* y las variables comunicación estudiadas a lo largo del tiempo de vida de los proyectos.

#### Estadística descriptiva

Se calcularon valores estadísticos para responder algunas preguntas de investigación sobre el éxito en la resolución de *issues*. Se analizaron los datos de los *issues* y sus comentarios considerando dos subconjuntos de datos (datos de *issues* exitosos y datos de *issues* no exitosos) para estudiar las diferencias entre errores, mejoras y nuevas funcionalidades, tanto exitosos como no exitosos.

Se utilizó la prueba *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) (Kolmogorov, 1933), que es una prueba no paramétrica para comparar las distribuciones de dos conjuntos de datos, para determinar si las distribuciones de las variables estudiadas variaban con respecto a *issues* exitosos y no exitosos. Las pruebas K-S permitieron obtener evidencia para responder las preguntas de investigación y probar algunas de las hipótesis planteadas.

#### Análisis de comentarios con PLN y machine learning

Los comentarios, que son uno de los principales elementos del proceso de comunicación estudiados, fueron analizados mediante técnicas de procesamiento de lenguaje natural (PLN) y *machine learning* con el objetivo de identificar cuáles eran los elementos léxicos y sintácticos más relacionados con el éxito en la resolución de los *issues*. Además, se utilizaron técnicas de *machine learning* para investigar la utilidad de los comentarios y de las descripciones de *issues* para detectar automáticamente *issues* exitosos y no exitosos.

El subconjunto preprocesado de datos resultó de utilidad para realizar las actividades de *machine learning*, que incluyeron diversos experimentos que implicaron los pasos descritos a continuación.

- Extracción de características. Se seleccionaron y extrajeron las siguientes características de las descripciones preprocesadas de *issues* y comentarios: palabras y n-gramas de palabras entre 2 y 10 palabras como características léxicas; y n-gramas de etiquetas de partes de lenguaje o *Part of Speech* (PoS), las cuales son características morfológicas utilizadas para clasificar una palabra de acuerdo con su función sintáctica (sustantivos, adjetivos, verbos, etc.)

- **Vectorización.** Se realizó una vectorización de textos con base en el conjunto de características antes definidas y los siguientes esquemas de pesado: frecuencia de término o *Term Frequency* (TF), que representa el número o las ocurrencias de un término en un documento (Jones, 1972); y Frecuencia de Término - Frecuencia de Documento Inversa o *Term Frequency - Inverse Document Frequency* (TF-IDF). La extracción de características se realizó usando el lenguaje de programación Python y las funcionalidades *CountVectorizer* y *TfidfVectorizer* de la biblioteca scikit-learn para Python (Manning y Schütze, 1999; Pedregosa y col., 2011).
- **Entrenamiento.** Se optó utilizar los siguientes clasificadores para detectar automáticamente *issues* exitosos y no exitosos: *Multinomial Naïve Bayes* (MNB), *Logistic Regression* (LR), *Support Vector Classifier* (SVC), *Decision Tree Classifier* (DTC), *MLP Classifier* (MLPC), *Random Forest Classifier* (RFC) y *Gradient Boosting Classifier* (GBC). Estos algoritmos están implementados en la biblioteca scikit-learn para Python (Pedregosa y col., 2011).
- **Evaluación.** En cada experimento se calculó la precisión, el *recall*, la exactitud y el valor *F1*, las cuales, son métricas que permiten evaluar el rendimiento de los algoritmos de aprendizaje automático. El 75 % de los textos representó el conjunto de entrenamiento y el 25 % representó el conjunto de prueba, con el cual se evaluaron los resultados. Cuando el número de *issues* exitosos fue mayor que el número de *issues* no exitosos (o viceversa), se equilibró el conjunto de entrenamiento para realizar experimentos con el mismo número de textos en cada clase utilizando un equilibrio de submuestreo (reduciendo el tamaño de la clase más grande). Se equilibró el conjunto de entrenamiento para representar ambas clases por igual. Se realizaron experimentos con conjuntos de prueba equilibrados para calcular la exactitud (que es sensible a clases no equilibradas) y luego, se realizaron experimentos con conjuntos de prueba no equilibrados para calcular la precisión, el *recall* y la puntuación *F1* de manera más realista (considerando la distribución real de los *issues* por períodos de tiempo).

Debido al número de variables, se hicieron diversos experimentos para determinar aquellas que produjeran los mejores resultados. La Tabla 5.8 resume los experimentos realizados.

**Tabla 5.8:** Resumen de las variables utilizadas en los experimentos realizados

Tipos de <i>issues</i> (T)	Algoritmos (A)	Periodos de tiempo en días (D)	Características (C)	Esquemas de pesado (P)
Errores, mejoras y nuevas funcionalidades	MNB, LR, DTC, SVC, RFC, MLPC, GBC	1, 5, 10, 20, 30, ..., 100, 150, 200, 250, ..., 3500. Se consideraron 80 lapsos de tiempo.	N-gramas de palabras, n-gramas de etiquetas PoS	TF, TF-IDF

### Análisis de correlación

Se condujo un análisis de correlación para responder las preguntas de investigación sobre la relación entre las variables de comunicación y el tiempo de resolución de errores, mejoras y nuevas funcionalidades. En el análisis, se utilizaron los datos de *issues* individuales y el coeficiente de correlación de Spearman (1904) debido a su flexibilidad con respecto a la distribución de datos. La Figura 5.4 muestra las correlaciones calculadas a nivel de *issue*.



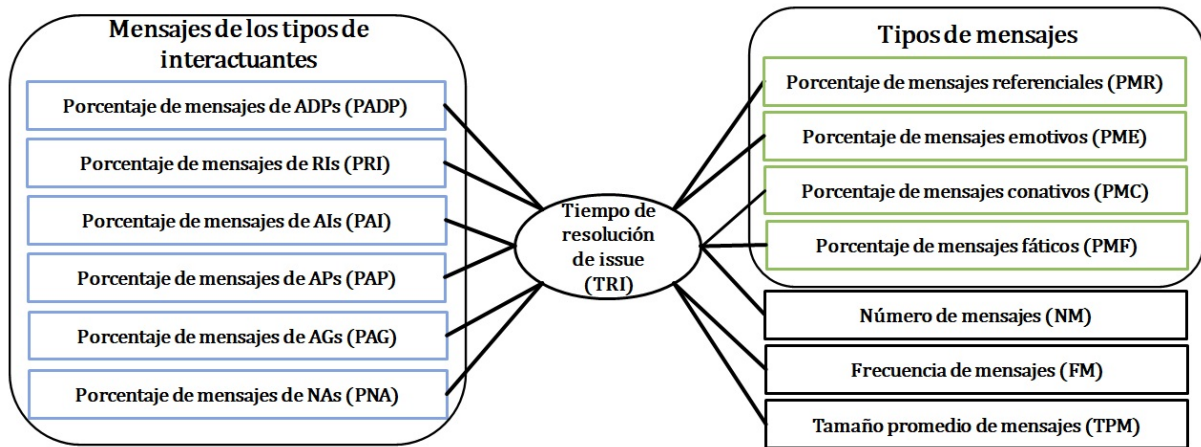


Fig. 5.4: Correlaciones calculadas a nivel de *issue*

Para estudiar las relaciones entre comunicación, tiempo de resolución de *issues* y éxito en la resolución de *issues* a un nivel más general, también se calcularon los coeficientes de correlación a nivel de proyecto (utilizando el porcentaje de *issues* exitosos, el tiempo promedio de resolución de *issues* y las variables de comunicación promedio de cada proyecto). La significación estadística y el tamaño de efecto se utilizaron para interpretar los resultados de los análisis de correlación.

### Análisis de patrones de comunicación

Se realizó un análisis para identificar los patrones de comunicación asociados a un desarrollo de software eficiente y efectivo. En el análisis, se identificaron los patrones más recurrentes de tipos de mensajes y tipos de interactuantes a partir de las secuencias de comunicación descritas en la sección 5.3.6 para identificar patrones asociados a *issues* exitosos y no exitosos y patrones asociados a *issues* con tiempos de resolución cortos y largos.

### Análisis en el tiempo

Con el fin de estudiar algunas variables de comunicación, y la eficiencia y efectividad del proyecto a lo largo del tiempo, se analizó el tiempo de resolución de *issues* (TRI) y el éxito en la resolución de *issues* durante el tiempo de vida de los proyectos considerando intervalos de 30 días. Para cada período de tiempo, se calcularon el porcentaje de *issues* exitosos, el TRI promedio y las medidas promedio de las variables de comunicación. Además, se estudiaron algunas variables de comunicación considerando el TRI por períodos de 30 días.

## 5.4. Resultados

### 5.4.1. Variables de comunicación e *issues* exitosos

La Tabla 5.9 muestra los resultados de cada prueba *Kolmogorov-Smirnov*, incluyendo la significación estadística resultante y el valor  $D$ , que es la desviación máxima entre las dos muestras (los datos de *issues* exitosos y no exitosos). Se estableció un nivel de significación estadística de

## 5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE

0.05 para probar las hipótesis nulas de que los datos de los dos conjuntos (*issues* exitosos y no exitosos) tenían distribuciones iguales respecto a cada variable.

**Tabla 5.9:** Resultados de las pruebas *Kolmogorov-Smirnov*

Variable	Errores		Mejoras		Nuevas func.	
	valor <i>D</i>	Sig.	valor <i>D</i>	Sig.	valor <i>D</i>	Sig.
Número de mensajes (NM)	.159	.000	.117	.000	.184	.000
Tamaño promedio de mensajes (TPM)	.115	.000	.152	.000	.088	.000
Frecuencia de mensajes (FM)	.394	.000	.415	.000	.507	.000
Porcentaje de mensajes de ADP (PADP)	.029	.000	.039	.001	.084	.000
Porcentaje de mensajes de RI (PRI)	.176	.000	.143	.000	.240	.000
Porcentaje de mensajes de AI (PAI)	.343	.000	.350	.000	.443	.000
Porcentaje de mensajes de AP (PAP)	.156	.000	.188	.000	.266	.000
Porcentaje de mensajes de AG (PAG)	.033	.000	.039	.001	.030	.106
Porcentaje de mensajes de NA (PNA)	.082	.000	.062	.000	.056	.000
Porcentaje de mensajes referenciales (PMR)	.086	.000	.128	.000	.115	.000
Porcentaje de mensajes emotivos (PME)	.096	.000	.239	.000	.111	.000
Porcentaje de mensajes conativos (PMC)	.232	.000	.287	.000	.109	.000
Porcentaje de mensajes fáticos (PMF)	.238	.000	.230	.000	.188	.000

Como se observa en la Tabla 5.9, la significación estadística (Sig.) resultó menor que .05 en casi la totalidad de las pruebas. Esto proporcionó evidencia para el rechazo de la hipótesis nula respecto a que los datos de *issues* exitosos y no exitosos tenían distribuciones iguales. Las siguientes secciones presentan resultados detallados del estudio de la comunicación en *issues* exitosos y no exitosos.

### Comunicación de los tipos de interactuantes

Las figuras 5.5 y 5.6 muestran el porcentaje promedio de comentarios comunicados por reporteros de *issues* y administradores de proyecto durante la resolución de *issues* exitosos y no exitosos. El porcentaje promedio de mensajes comunicados por reporteros de *issues* fue mayor durante la resolución de *issues* exitosos que durante la resolución de *issues* no exitosos (Figura 5.5). El porcentaje promedio de mensajes comunicados por los administradores de proyecto fue mayor durante la resolución de errores y la implementación de mejoras de manera exitosa (Figura 5.6).

La Figura 5.7 muestra el porcentaje promedio de comentarios comunicados por cada rol de asignación durante la resolución de *issues* exitosos y no exitosos. El porcentaje promedio de mensajes comunicados por los asignados a *issues* fue mayor durante la resolución de tareas exitosas. El porcentaje promedio de mensajes comunicados por los asignados al proyecto fue mayor durante la resolución de tareas no exitosas. Los porcentajes promedio de comentarios comunicados por los asignados generales y los no asignados fueron similares durante la resolución

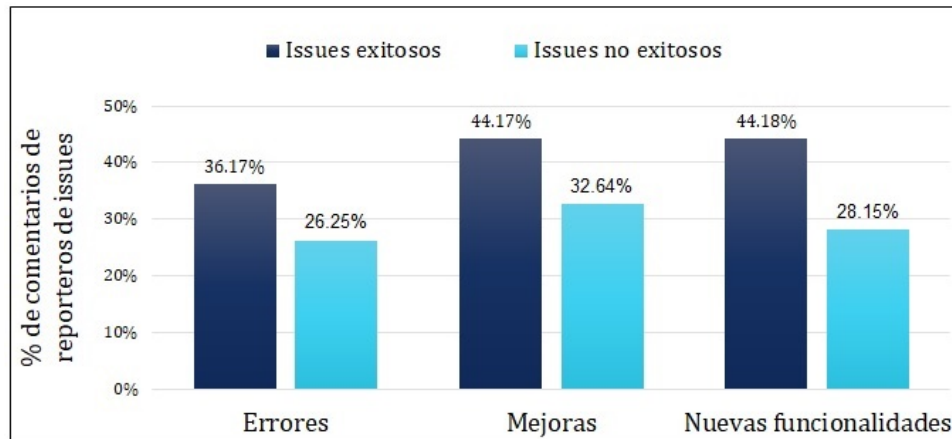


Fig. 5.5: Porcentaje promedio de comentarios comunicados por reporteros de *issues*

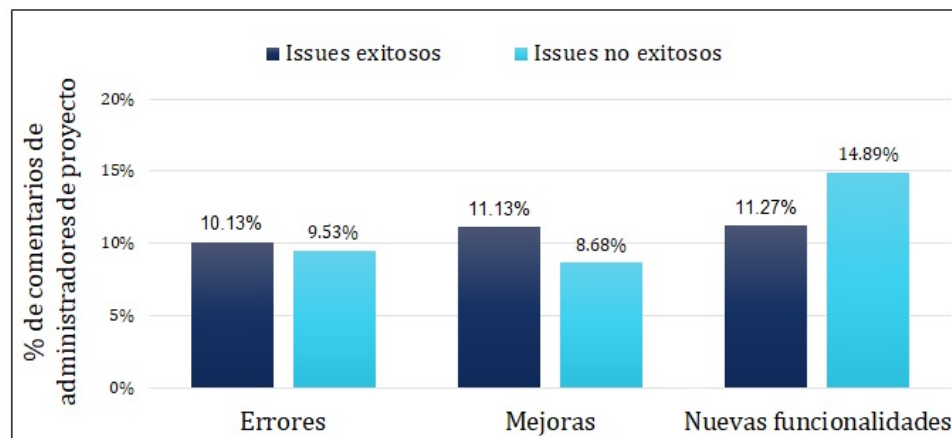


Fig. 5.6: Porcentaje promedio de comentarios comunicados por administradores de proyecto

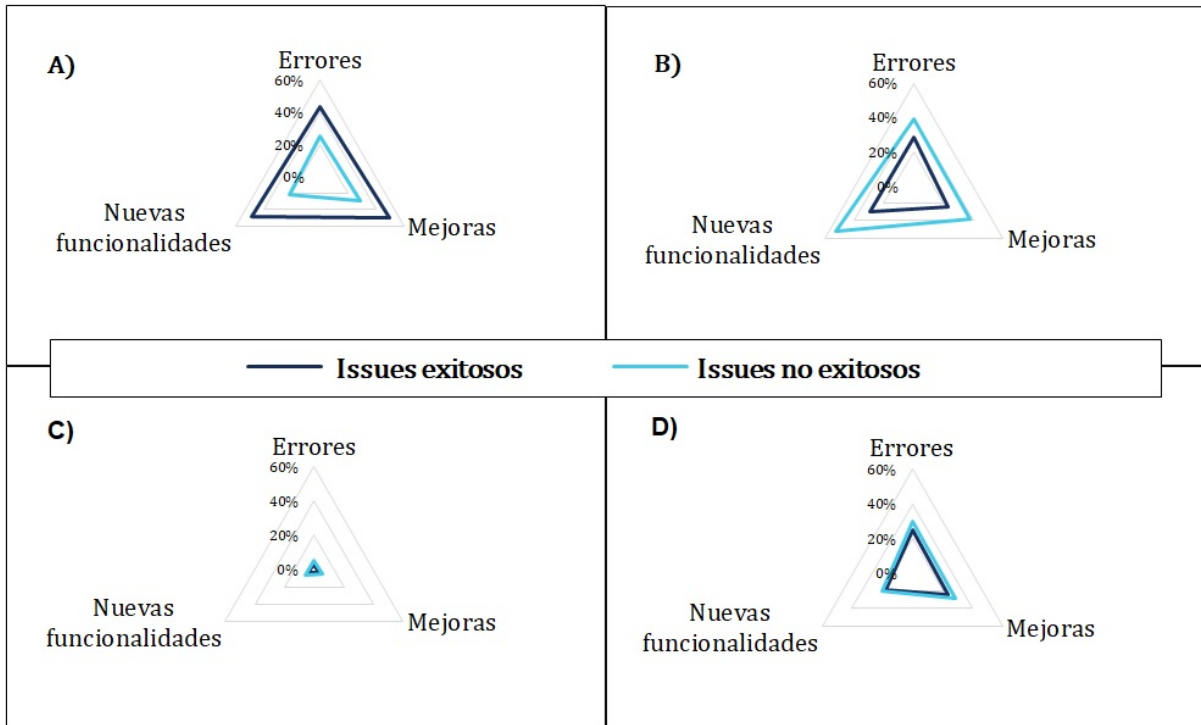
de *issues* exitosos y exitosos.

Los asignados al proyecto, los asignados al *issue*, los reporteros de *issues* y los no asignados informaron la mayoría de los comentarios. El número de comentarios reportados por los administradores de proyecto fue menor que el número de comentarios reportados por los roles antes mencionados. Como muestra la Figura 5.7, los asignados generales informaron el menor número de comentarios durante la resolución de *issues*.

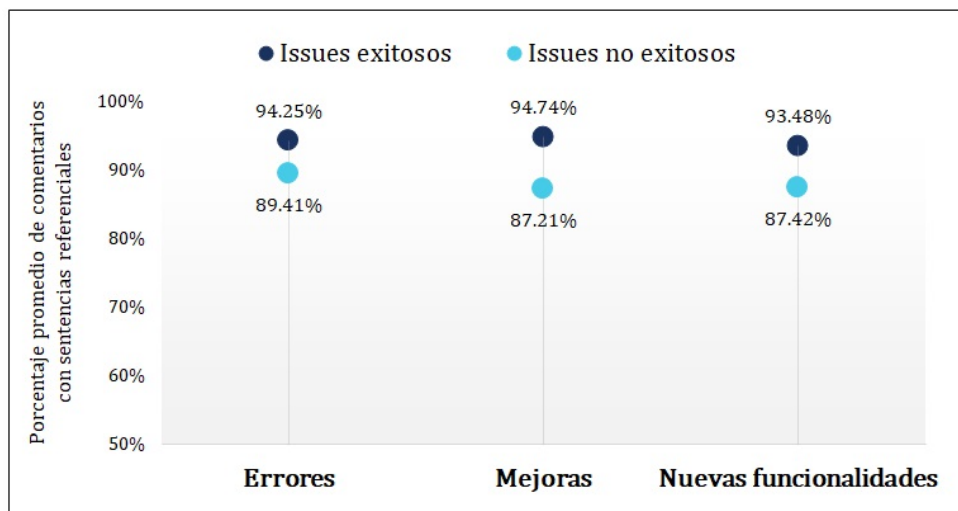
### Tipos de mensajes y éxito en la resolución de *issues*

Las figuras 5.8, 5.9, 5.10 y 5.11 muestran el porcentaje promedio de comentarios con mensajes referenciales, emotivos, conativos y fáticos informados durante la resolución de tareas de software. Los porcentajes promedio de mensajes referenciales y fáticos fueron mayores durante la resolución de errores y la implementación de mejoras y nuevas funcionalidades de manera exitosa. Los porcentajes promedio de mensajes conativos y emotivos fueron mayores durante la resolución de *issues* no exitosos. El estudio detallado de las funciones de comunicación se publicó en un artículo en la revista *Information and Software Technology* (Ramírez-Mora y col., 2021b).

## 5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE



**Fig. 5.7:** Porcentaje promedio de comentarios comunicados por personas: A) Asignadas al *issue*, B) Asignadas al proyecto, C) Asignadas generales y D) No asignadas



**Fig. 5.8:** Porcentaje promedio de comentarios referenciales por tipo de *issue*

En general, los asignados a *issues*, los asignados a proyectos, los asignados generales, los reporteros de *issues* y los administradores de proyectos informaron más comentarios referenciales que mensajes conativos y emotivos durante la resolución de *issues* exitosos y no exitosos.

Los no asignados a *issues* (NAs) informaron más comentarios conativos que comentarios referenciales y emotivos durante la resolución de errores, mejoras y nuevas funcionalidades no exitosas y durante la resolución de mejoras y nuevas funcionalidades exitosas. En particular, el

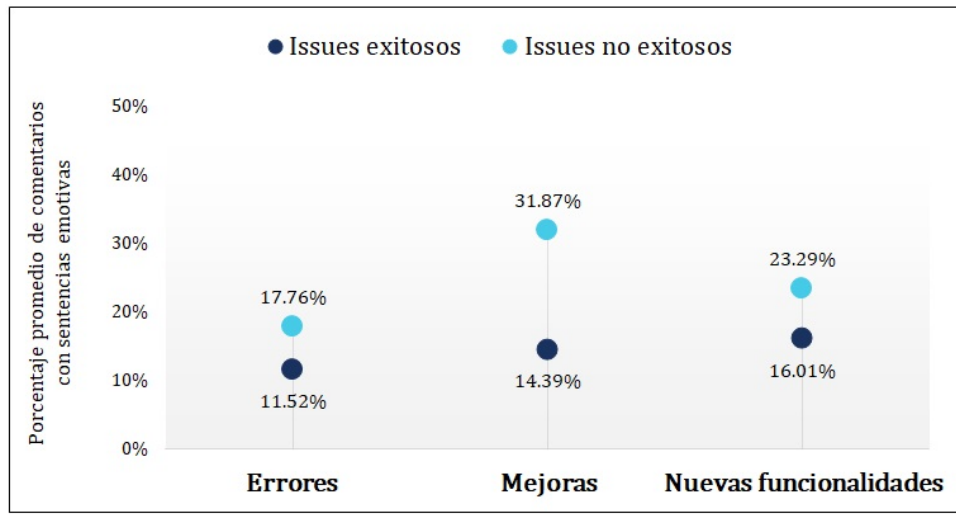


Fig. 5.9: Porcentaje promedio de comentarios emotivos por tipo de issue

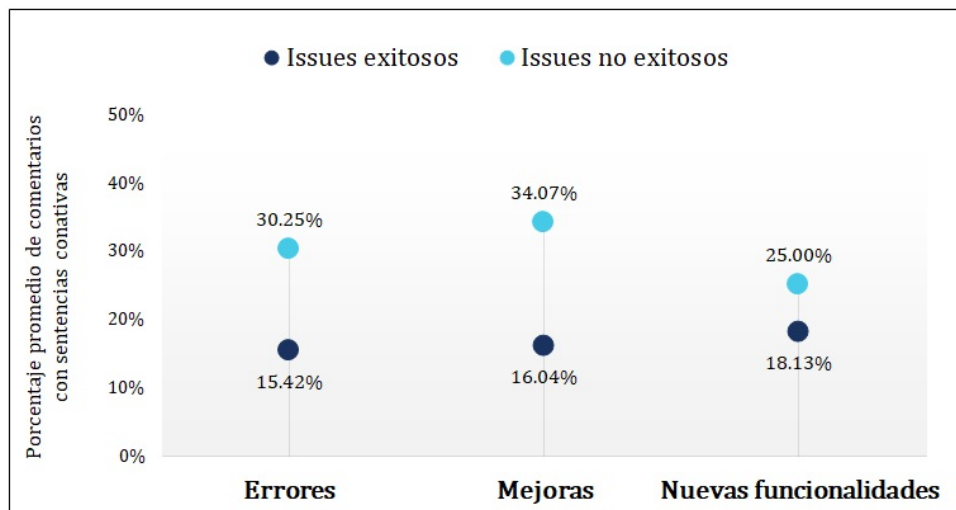


Fig. 5.10: Porcentaje promedio de comentarios conativos por tipo de issue

número de comentarios conativos comunicados por los NAs resultó ser el doble del número de comentarios referenciales comunicados por ellos mismos durante la resolución de mejoras exitosas y no exitosas.

El análisis con técnicas de *machine learning* incluyó tareas de clasificación automática para determinar si los comentarios por sí solos son útiles para detectar *issues* exitosos y no exitosos. La Figura 5.12 muestra las medias promedio de precisión, exactitud, recall y *F1* para clasificar automáticamente *issues* exitosos y no exitosos utilizando el clasificador MNB. Como se observa, la detección de errores exitosos y no exitosos fue más precisa y exacta. El algoritmo MNB, los n-gramas de palabras y el TF-IDF permitieron obtener los mejores resultados durante las tareas de clasificación. La Figura 5.13 muestra la exactitud de clasificar los *issues* en exitosos o no exitosos considerando los tres tipos de *issues* por lapsos de tiempo.

Durante las tareas de *machine learning*, se corroboró que las frases más relevantes en

5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE

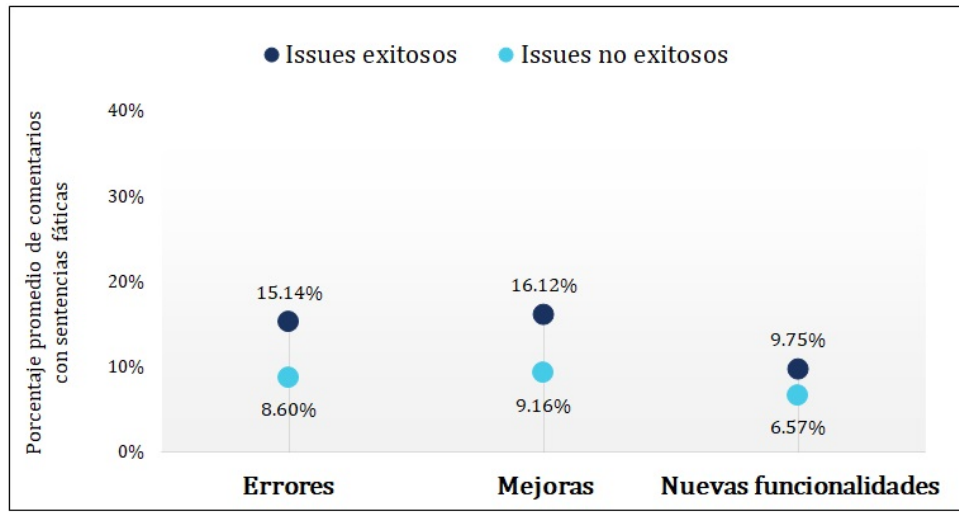


Fig. 5.11: Porcentaje promedio de comentarios fálicos por tipo de *issue*

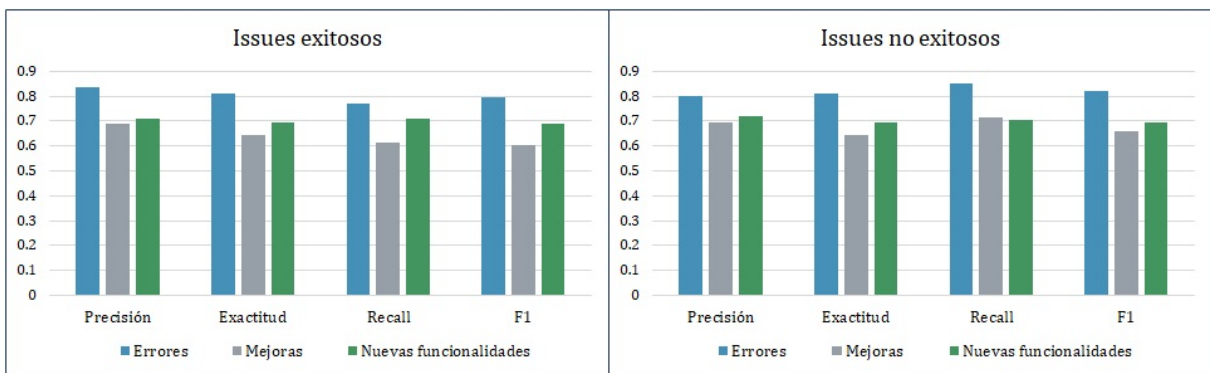


Fig. 5.12: Medidas promedio de las predicciones de *issues* exitosos y no exitosos utilizando MNB

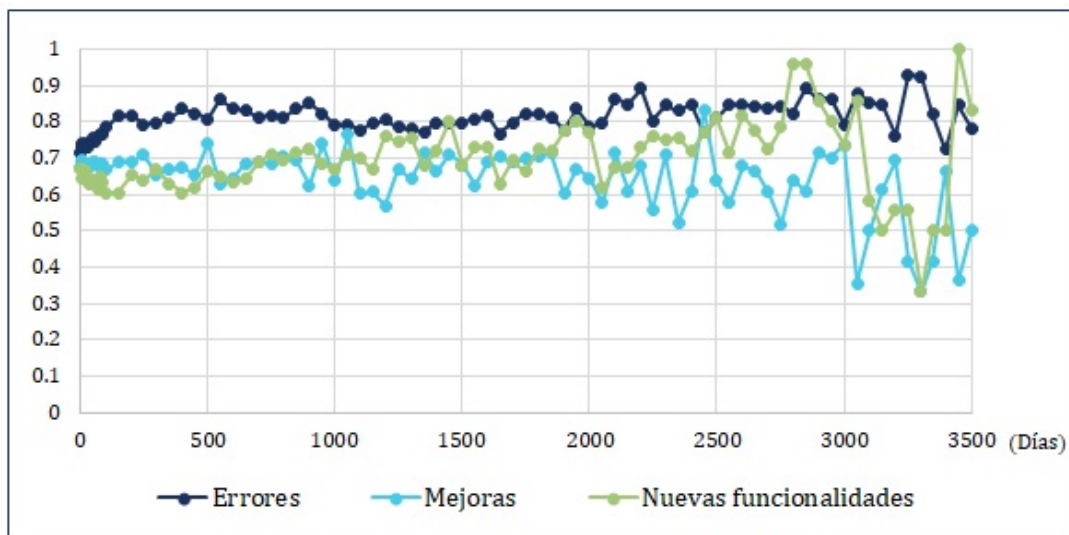


Fig. 5.13: Exactitud de la predicción del éxito de *issues* utilizando MNB en el tiempo

## 5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE

*issues* exitosos son las referenciales, seguidas por las conativas y las emotivas, las cuales son muy comunes en *issues* no exitosos. Las figuras 5.14 y 5.15 muestran algunos fragmentos de las frases más frecuentes identificadas en *issues* exitosos y no exitosos. Las frases se muestran en idioma inglés con el objetivo de no afectar su sintaxis y semántica original. Además, se indica la función principal de las frases en las que se identificaron.

Errores	Mejoras	Nuevas funcionalidades
<input type="checkbox"/> Created an attachment (Id=number_specification)	<input type="checkbox"/> It is not possible to...	<input type="checkbox"/> It should be possible to...
<input type="checkbox"/> Bug number_specification has been marked ...	<input type="checkbox"/> It needs to be...	<input type="checkbox"/> There is no way to...
<input type="checkbox"/> This is fixed in...	<input type="checkbox"/> It will not be...	<input type="checkbox"/> You should be able to...
<input type="checkbox"/> The attached patch fix this problem	<input type="checkbox"/> Created an attachment (Id=number_specification)	<input type="checkbox"/> Feel free to submit a...
<input type="checkbox"/> <The resolution> should/will appear in the next release	<input type="checkbox"/> It should be possible to...	<input type="checkbox"/> Add support for...
<input type="checkbox"/> I've created a patch to fix...	<input type="checkbox"/> Remember to have the...	<input type="checkbox"/> You have to....
<input type="checkbox"/> I have/attach a patch to fix...	<input type="checkbox"/> Review and benchmark xml backup speed...	<input type="checkbox"/> Make it easier to...
<input type="checkbox"/> Please let me know (if this work/what you think/if you)	<input type="checkbox"/> Let me know if you...	<input type="checkbox"/> I'd like/need to be able to...
<input type="checkbox"/> Thanks for ...	<input type="checkbox"/> I'd like to see...	<input type="checkbox"/> It would be better if...
<input type="checkbox"/> I don't know if...	<input type="checkbox"/> I think it would be...	<input type="checkbox"/> I would like to see...

Referencial   
  Conativa   
  Emotiva   
  Fática

Fig. 5.14: Frases más comunes en *issues* exitosos

Como información adicional a los resultados de las actividades de clasificación automática, el Apéndice C muestra cuatro tablas con el máximo, el mínimo, la media, la varianza y la desviación estándar de las mediciones de precisión, exactitud, *recall* y F1 por tipo de *issue* y algoritmo. Cada valor se calculó a partir de los resultados de 80 experimentos, que corresponden a los 80 intervalos de tiempo incluidos en la Tabla 5.8. Adicionalmente, el Apéndice C incluye las características que resultaron más relevantes para la predicción de *issues* exitosos y no exitosos. Los resultados de las actividades de *machine learning* están publicados en el artículo “*Descriptions of issues and comments for predicting issue success in software projects*” (Ramírez-Mora y col., 2020a).

### Número de mensajes y éxito en la resolución de *issues*

El número promedio de comentarios reportados durante la resolución de *issues* exitosos resultó mayor que el número promedio de comentarios reportados durante la resolución de *issues* no exitosos. La Figura 5.16 muestra el número promedio de comentarios de *issues* exitosos y no exitosos por tipo de *issue*. Las nuevas funcionalidades desarrolladas de manera exitosa tuvieron el

5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE

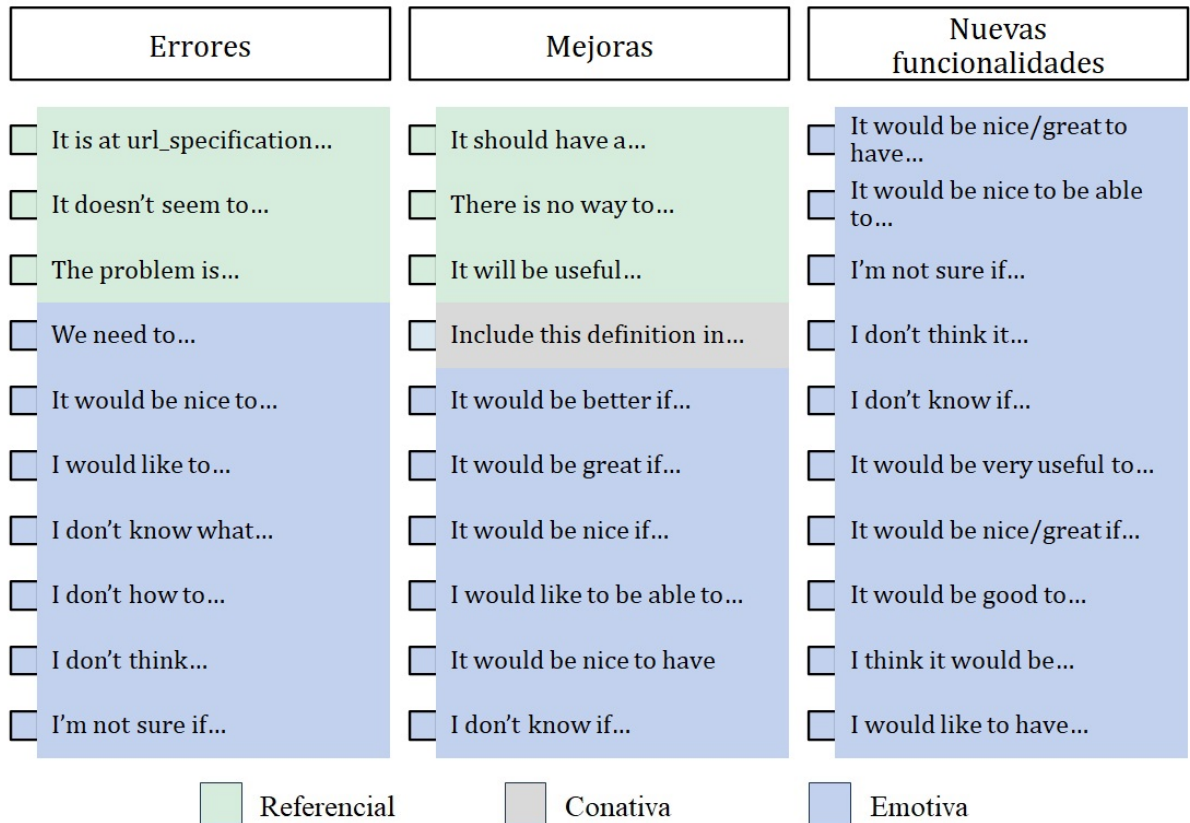


Fig. 5.15: Frases más comunes en *issues* no exitosos

mayor número de comentarios, seguidas por las mejoras exitosas y errores resueltos exitosamente.

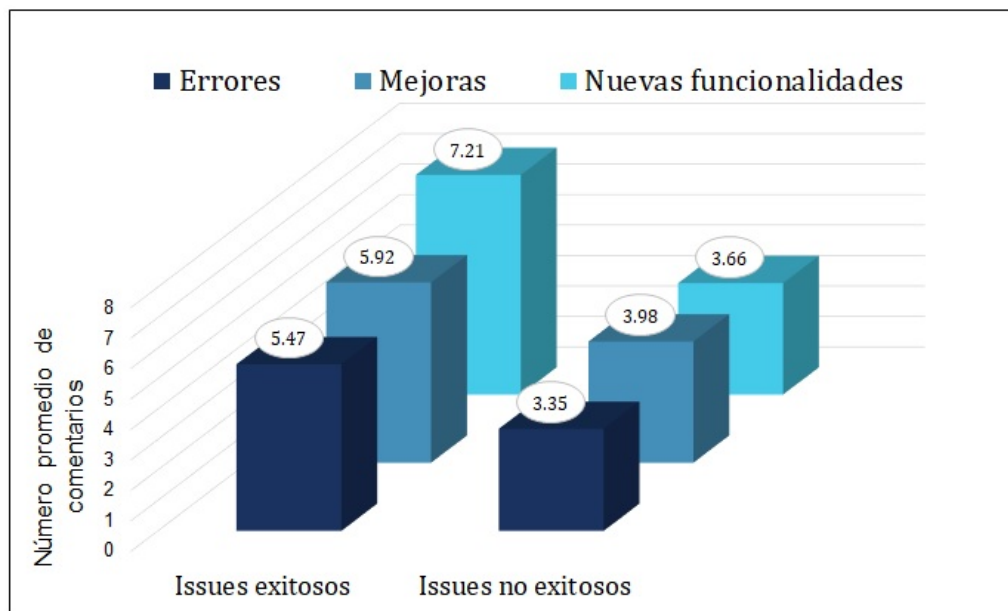


Fig. 5.16: Número promedio de comentarios por tipo de *issue*



### Frecuencia de mensajes e *issues* exitosos

La Figura 5.17 muestra el número promedio de comentarios comunicados en un día durante la resolución de tareas exitosas y no exitosas. La frecuencia promedio de mensajes fue mucho mayor durante la resolución de *issues* exitosos. En particular, la frecuencia de los mensajes se triplicó durante la resolución de errores y nuevas funcionalidades de manera exitosa con respecto a los mismos tipos de *issues* resueltos sin éxito.

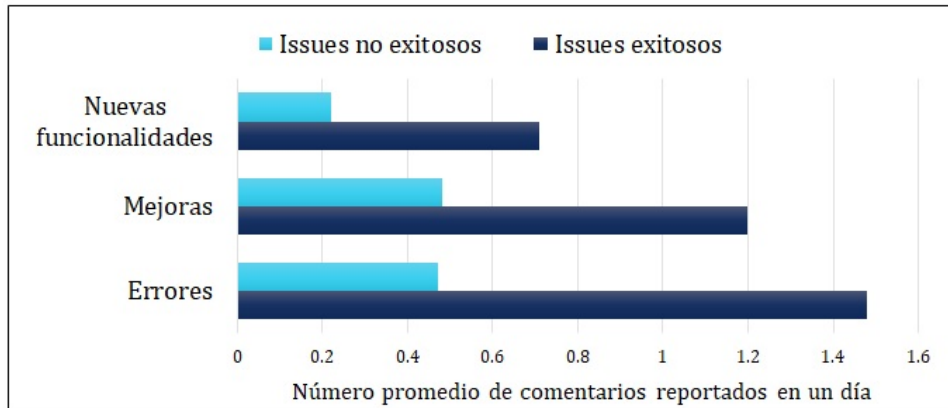


Fig. 5.17: Frecuencia promedio de mensajes de *issues* exitosos y no exitosos por tipo de *issue*

### Tamaño de mensajes y éxito en la resolución de *issues*

En general, no se encontraron diferencias significativas entre el tamaño promedio de mensaje (TPM) de errores exitosos y no exitosos y entre el TPM de mejoras exitosas y no exitosas. En promedio, el TPM de las nuevas funcionalidades implementadas de manera exitosa fue un 17% mayor que el TPM de las nuevas funcionalidades no completadas con éxito. La Figura 5.18 muestra el TPM promedio de cada tipo de *issue*.

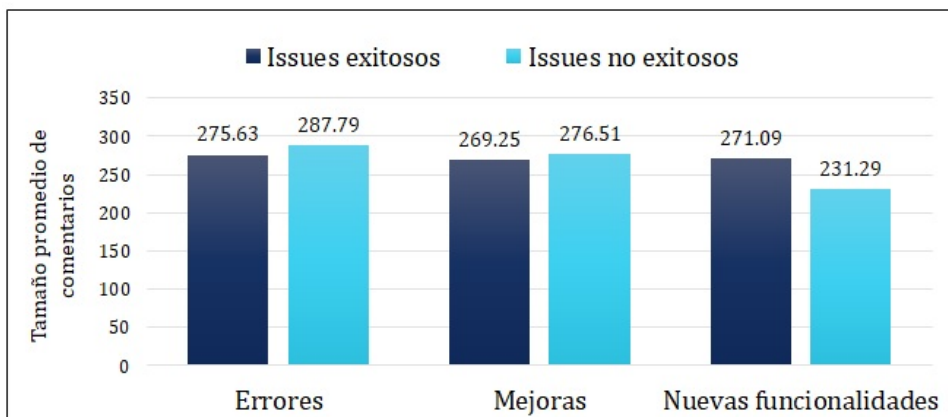


Fig. 5.18: Tamaño promedio de mensajes por tipo de *issue*

#### 5.4.2. Variables de comunicación y tiempo de resolución de *issues*

Esta sección detalla los resultados del análisis de correlación a nivel de *issue*, el cual, permitió estudiar las relaciones entre las variables de comunicación y el tiempo de resolución de *issues* (TRI). La Tabla 5.10 muestra los coeficientes de correlación entre el TRI y el porcentaje de comentarios informados por cada tipo de interactuante. Se encontró que los coeficientes de correlación entre el TRI y el porcentaje de comentarios reportados por personas no asignadas a resolver *issues* resultaron estadísticamente significativos y positivos. También se encontraron correlaciones significativas y negativas entre el TRI y el porcentaje de comentarios informados por los reporteros y los asignados a *issues*.

**Tabla 5.10:** Correlaciones entre el TRI y el porcentaje de mensajes de cada tipo de interactuante

	<i>Porcentaje de mensajes de los tipos de interactuantes</i>					
	<b>Reportero de <i>issue</i></b>	<b>Admin. de proyecto</b>	<b>Asignado a <i>issue</i></b>	<b>Asignado a proyecto</b>	<b>Asignado general</b>	<b>No asignado</b>
<i>TRI (errores)</i>	-.229**	.009**	-.252**	.078**	.119**	.165**
<i>TRI (mejoras)</i>	-.268**	.054**	-.258**	.173**	.076*	.182**
<i>TRI (nuevas funcionalidades)</i>	-.333**	.086**	-.271**	.217**	.104**	.121**

Significación estadística:  $p < .01$  (\*\*);  $p < .05$  (\*).

La Tabla 5.11 muestra los coeficientes de correlación entre el TRI y el porcentaje de comentarios con cada tipo de mensaje. Los coeficientes de correlación entre el TRI y el porcentaje promedio de comentarios con mensajes referenciales y fáticos fueron negativos (y significativos en el caso de los mensajes referenciales), y los coeficientes de correlación entre TRI y el porcentaje de comentarios con mensajes emotivos y conativos fueron significativos y positivos.

**Tabla 5.11:** Correlaciones entre el TRI y el porcentaje de comentarios con cada tipo de mensaje

	<i>Porcentaje de comentarios con cada tipo de mensaje</i>			
	<b>Referencial</b>	<b>Emotivo</b>	<b>Conativo</b>	<b>Fático</b>
<i>TRI (errores)</i>	-.087**	.137**	.187**	-.072**
<i>TRI (mejoras)</i>	-.123**	.247**	.245**	-.021**
<i>TRI (nuevas funcionalidades)</i>	-.101**	.189**	.165**	-.011

Significación estadística:  $p < .01$  (\*\*);  $p < .05$  (\*).

La Tabla 5.12 muestra los coeficientes de correlación entre el TRI, la frecuencia de los mensajes, el tamaño promedio de los mensajes y la cantidad de mensajes en *issues*. Se encontraron correlaciones fuertes, negativas y estadísticamente significativas entre el TRI y la frecuencia de los mensajes. Se encontró que los coeficientes de correlación entre el TRI y el número de mensajes, y los coeficientes de correlación entre el TRI y el tamaño promedio de los mensajes eran positivos y, en su mayoría, significativos.

Con el fin de mostrar claramente la correlación negativa encontrada entre el TRI, los comentarios referenciales, los comentarios de asignados a *issues* (AIs) y los comentarios de reporteros de *issues* (RIs), las figuras 5.19 y 5.20 muestran el porcentaje promedio de comentarios referenciales reportados por los RIs y los AIs considerando *issues* agrupados por su TRI (en meses). Los porcentajes promedio de comentarios referenciales de RIs y AIs fueron mayores para

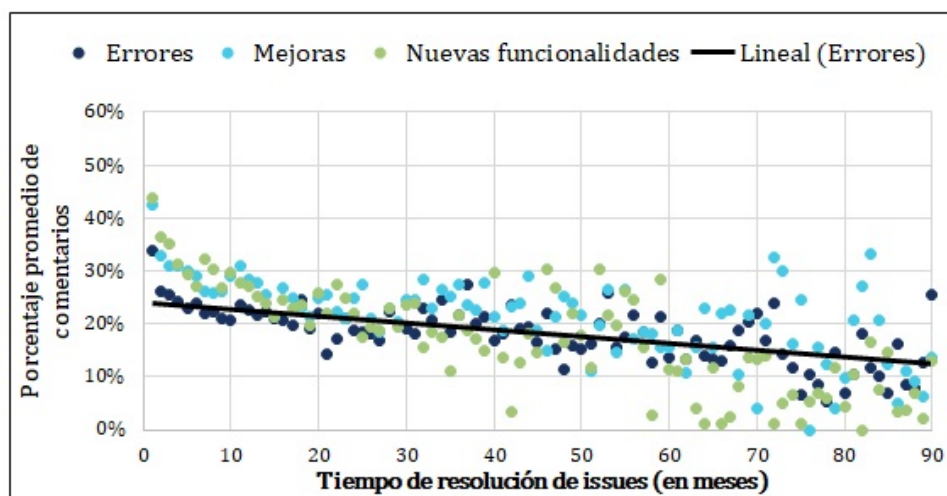
## 5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE

**Tabla 5.12:** Correlaciones entre el TRI, el número de mensajes, la frecuencia de mensajes y el tamaño promedio de mensajes

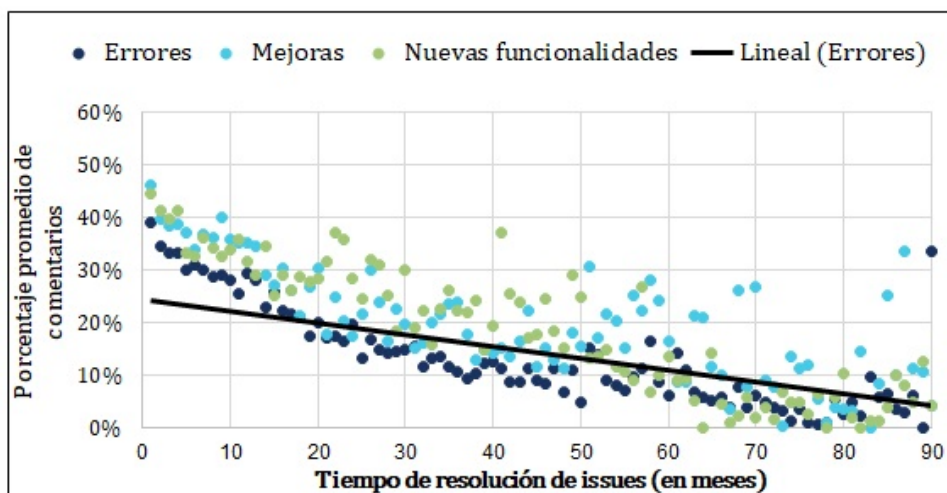
	Número de mensajes	Frecuencia de mensajes	Tamaño promedio de mensajes
<i>TRI (errores)</i>	.206**	-.700**	.150**
<i>TRI (mejoras)</i>	.308**	-.650**	.235**
<i>TRI (nuevas funcionalidades)</i>	.238*	-.674**	.193

Significación estadística:  $p < .01$  (\*\*);  $p < .05$  (\*).

*issues* resueltos en corto tiempo.



**Fig. 5.19:** Porcentaje promedio de comentarios referenciales de reporteros de *issues* por intervalos de TRI



**Fig. 5.20:** Porcentaje promedio de comentarios referenciales de asignados a *issues* por intervalos de TRI

Tiempos de resolución largos indican baja eficiencia porque el desarrollo de *issues* requiere muchos recursos (tiempo), por lo que los resultados del análisis de correlación indican lo siguiente: la frecuencia de comunicación, los comentarios referenciales, los comentarios de los asignados a

*issues* y los comentarios de los reporteros de *issues* se relacionan positivamente con la eficiencia en el desarrollo de software; y los comentarios de los no desarrolladores y los comentarios emotivos y conativos se relacionan negativamente con la eficiencia en el desarrollo de software.

### 5.4.3. Variables de comunicación, tiempo de resolución de *issues* y porcentaje de *issues* exitosos a nivel de proyecto

Esta sección detalla los resultados del análisis de correlación a nivel de proyecto. Se encontró que los porcentajes promedio de comentarios de los reporteros de *issues* y de los asignados a *issues*, el porcentaje promedio de comentarios con mensajes referenciales y la frecuencia promedio de mensajes estaban correlacionados negativamente con el TRI promedio y correlacionados positivamente con el porcentaje de *issues* exitosos a nivel de proyecto. Se encontró que los porcentajes promedio de mensajes de personas no asignadas a *issues* y de los asignados generales, y los porcentajes promedio de comentarios con mensajes emotivos y conativos estaban positivamente correlacionados con el TRI promedio y negativamente relacionado con el porcentaje de *issues* exitosos a nivel de proyecto. Las tablas 5.13, 5.14 y 5.15 presentan estos resultados, los cuales, confirman los resultados del análisis de correlación a nivel de *issue*.

**Tabla 5.13:** Correlaciones entre el TRI promedio, el porcentaje de *issues* exitosos y el porcentaje promedio de mensajes de cada tipo de interactuante a nivel de proyecto

	<i>Porcentaje promedio de mensajes de cada tipo de interactuante</i>					
	<b>Reportero de <i>issue</i></b>	<b>Admin. de proyecto</b>	<b>Asignado a <i>issue</i></b>	<b>Asignado a proyecto</b>	<b>Asignado general</b>	<b>No asignado</b>
<i>TRI prom. (errores)</i>	-.342**	-.244**	-.468**	-.075	.369**	.506**
<i>TRI prom. (mejoras)</i>	-.347**	-.109	-.354**	.031	.206*	.409**
<i>TRI prom. (nuevas funcionalidades)</i>	-.358**	.084	-.265*	-.013	.215*	.270**
<i>% de errores resueltos exitosamente</i>	.349**	.293**	.190	.310**	-.354**	-.289**
<i>% de mejoras desarrolladas exitosamente</i>	.442**	.296**	.291**	.025	-.352**	-.247*
<i>% de nuevas funcionalidades desarrolladas exitosamente</i>	.355**	.108	.357**	-.079	-.291**	-.249*

Significación estadística:  $p < .01$  (\*\*);  $p < .05$  (\*).

Se encontró que los coeficientes de correlación entre el TRI y el porcentaje de mensajes de los administradores de proyecto (ADP) eran muy pequeños a nivel de *issue*; sin embargo, se encontró una correlación significativa y negativa entre el TRI promedio (de errores y mejoras) y el porcentaje promedio de comentarios de los ADPs a nivel de proyecto. Se encontró que los porcentajes de errores exitosos y mejoras exitosas estaban correlacionados positiva y fuertemente con el porcentaje de comentarios de los ADPs a nivel de proyecto. Estos resultados indican que, a

## 5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE

**Tabla 5.14:** Correlaciones entre el TRI promedio, el porcentaje de *issues* exitosos y el porcentaje promedio de comentarios con cada tipo de mensaje a nivel de proyecto

	Porcentaje promedio de comentarios con cada tipo de mensaje			
	Referencial	Emotivo	Conativo	Fático
<i>TRI prom. (errores)</i>	-.140	.221*	.228*	-.102
<i>TRI prom. (mejoras)</i>	-.149	.239*	.224*	.015
<i>TRI prom. (nuevas funcionalidades)</i>	-.216*	.164	.188	-.016
% de errores resueltos exitosamente	.236*	-.186	-.274**	.255*
% de mejoras desarrolladas exitosamente	.317**	-.385**	-.369**	.163
% de nuevas funcionalidades desarrolladas exitosamente	.416**	-.333**	-.249*	-.013

Significación estadística:  $p < .01$  (\*\*);  $p < .05$  (\*).

**Tabla 5.15:** Correlaciones entre TRI promedio, porcentaje de *issues* exitosos, número de mensajes promedio, frecuencia de mensajes promedio y tamaño promedio de mensajes a nivel de proyecto

	Porcentaje promedio de mensajes	Frecuencia promedio de mensajes	Tamaño promedio de mensajes
<i>TRI prom. (errores)</i>	.074	-.678**	.094
<i>TRI prom. (mejoras)</i>	.078	-.547**	.005
<i>TRI prom. (nuevas funcionalidades)</i>	-.104	-.572**	.026
% de errores resueltos exitosamente	.055	.618**	-.037
% de mejoras desarrolladas exitosamente	-.049	.495**	.085
% de nuevas funcionalidades desarrolladas exitosamente	.003	.353**	.153

Significación estadística:  $p < .01$  (\*\*);  $p < .05$  (\*).

nivel de proyecto, los mensajes comunicados por los ADPs son relevantes para resolver errores y mejoras de una manera exitosa y rápida.

Además, el TRI promedio y el porcentaje de *issues* exitosos se correlacionaron fuerte y negativamente a nivel de proyecto: el coeficiente de correlación fue  $-.599$  para errores,  $-.588$  para mejoras y  $-.571$  para nuevas funcionalidades. La Figura 5.21 muestra el porcentaje promedio de *issues* exitosos considerando *issues* agrupados por su TRI (en meses). El porcentaje de *issues* exitosos fue mayor para *issues* con TRI corto (Figura 5.21), lo que indica una asociación positiva entre eficiencia y efectividad en el desarrollo de software de los proyectos estudiados.

Se estudió el TRI, el éxito en la resolución de *issues* y algunas variables de comunicación relevantes durante el tiempo de vida de los proyectos. Las figuras 5.22 y 5.23 muestran el TRI promedio y el porcentaje promedio de *issues* exitosos considerando intervalos de tiempo de 30 días. Como muestra la Figura 5.22, el TRI promedio tendió a aumentar durante el tiempo del proyecto, y el porcentaje de *issues* exitosos tendió a disminuir, particularmente para las nuevas funcionalidades (Figura 5.23).

Los comentarios referenciales de los reporteros de *issues* (RIs) y de los asignados a *issues* (AIs), que se relacionaron positivamente con el éxito en la resolución de *issues* y negativamente con el TRI, disminuyeron a medida que aumentó el tiempo en los proyecto (figuras 5.24 y 5.25).

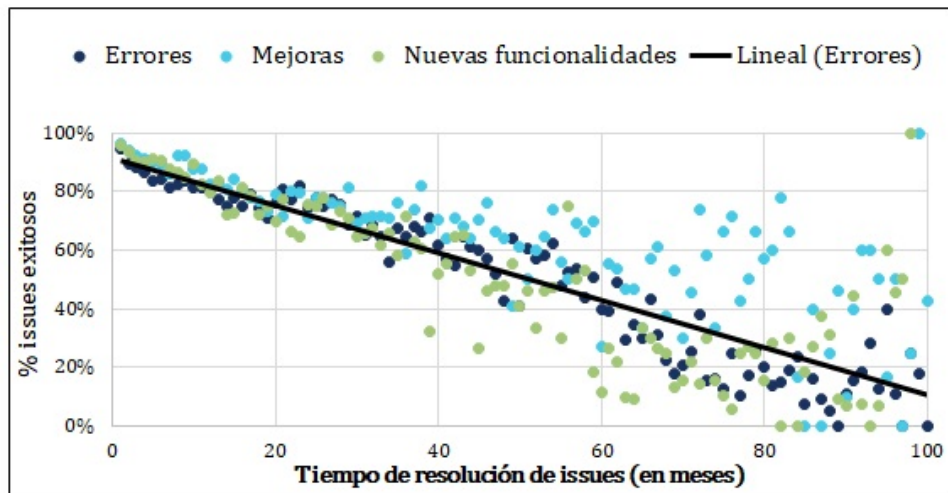


Fig. 5.21: Éxito en la resolución de *issues* por intervalos de TRI

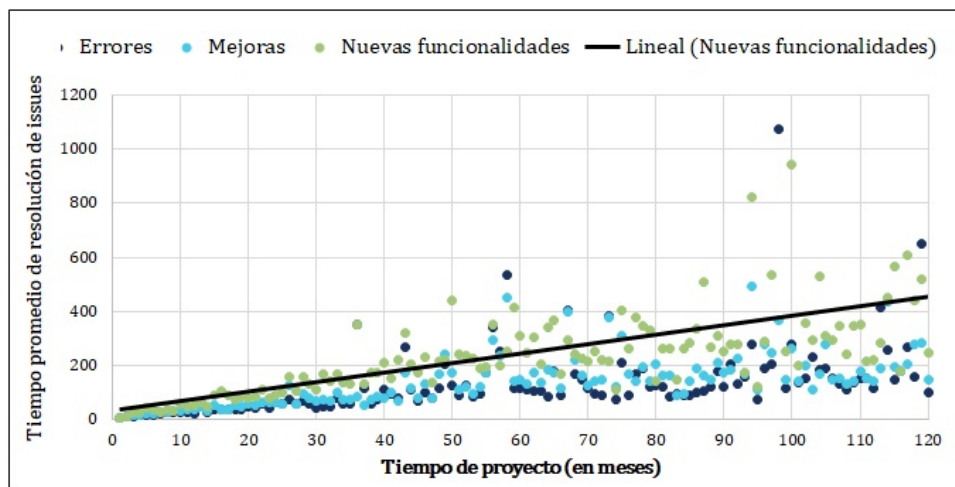


Fig. 5.22: Tiempo de resolución de *issues* durante el tiempo de los proyectos

Los comentarios de los asignados al proyecto (APs), los cuales se relacionaron positivamente con el TRI y negativamente con éxito en la resolución de *issues*, tendieron a aumentar a medida que aumentaba el tiempo en los proyectos (Figura 5.26).

#### 5.4.4. Patrones de comunicación

Las figuras 5.27, 5.28 y 5.29 muestran los tres patrones de comunicación más recurrentes (de tipos de interactuantes, tipos de mensajes y de ambos respectivamente) asociados con *issues* exitosos y no exitosos, y los patrones más recurrentes asociados a *issues* con algunos valores de TRI cortos y largos. Las figuras 5.27 y 5.29 resaltan con color los patrones de comunicación más recurrentes en los que se comunicaron diferentes interactuantes (verde para *issue* exitosos e *issues* con TRI de menos de 60 días, y azul para *issues* sin éxito e *issues* con TRI de más de 1000 días).

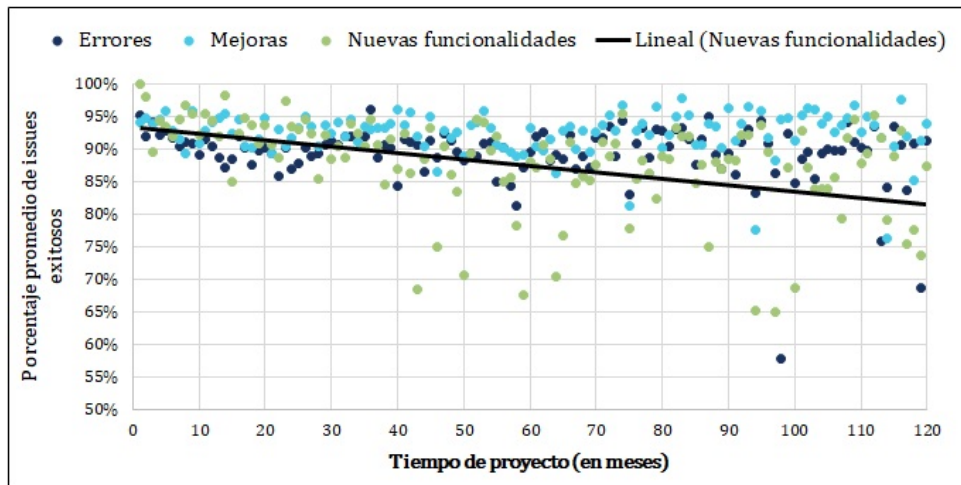


Fig. 5.23: Éxito en la resolución de *issues* durante el tiempo de los proyectos

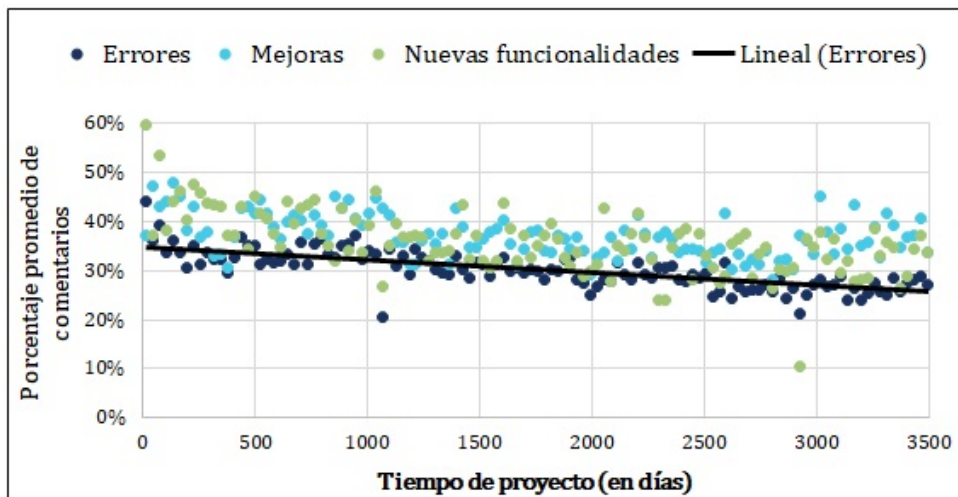


Fig. 5.24: Promedio de comentarios de reporteros de *issues* con mensajes referenciales durante el tiempo de los proyectos

Los patrones más recurrentes de tipos de interactuantes durante la resolución de *issues* exitosos e *issues* con TRI cortos incluyeron los asignados a *issues* (AIs), los reporteros de *issues* (RIs) y los asignados a proyectos (APs), y los patrones más recurrentes de tipos de interactuantes durante la resolución de *issues* no exitosos e *issues* con TRI largo incluyeron a los no asignados (NAs) y APs (Figura 5.27).

Los mensajes referenciales comunicados después de otros mensajes referenciales representaron el patrón más recurrente de tipos de mensajes comunicados durante la resolución de todos los tipos de *issues*. Los comentarios referenciales y conativos seguidos de comentarios referenciales también fueron muy recurrentes durante la resolución de *issues* sin éxito (Figura 5.28).

Las secuencias más recurrentes de tipos de mensajes comunicados por diferentes tipos interactuantes durante la resolución de *issues* exitosos e *issues* con TRI cortos incluyeron comentarios referenciales comunicados por AIs y RIs seguidos de comentarios referenciales

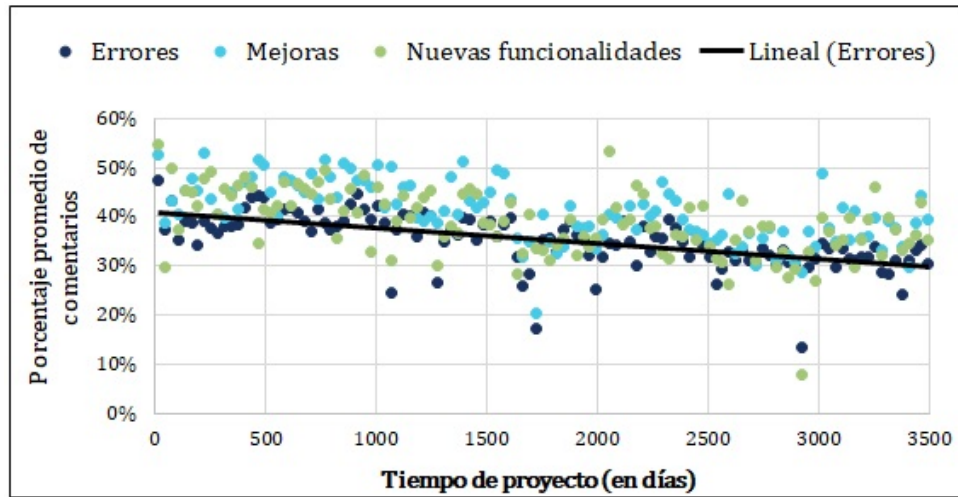


Fig. 5.25: Promedio de comentarios de asignados a *issues* con mensajes referenciales durante el tiempo de los proyectos

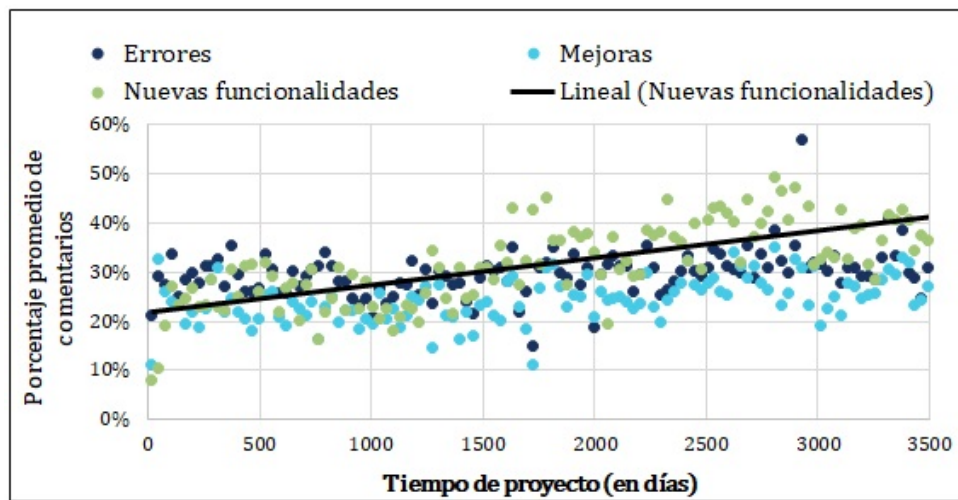


Fig. 5.26: Porcentaje promedio de comentarios de asignados a proyecto durante el tiempo de los proyectos

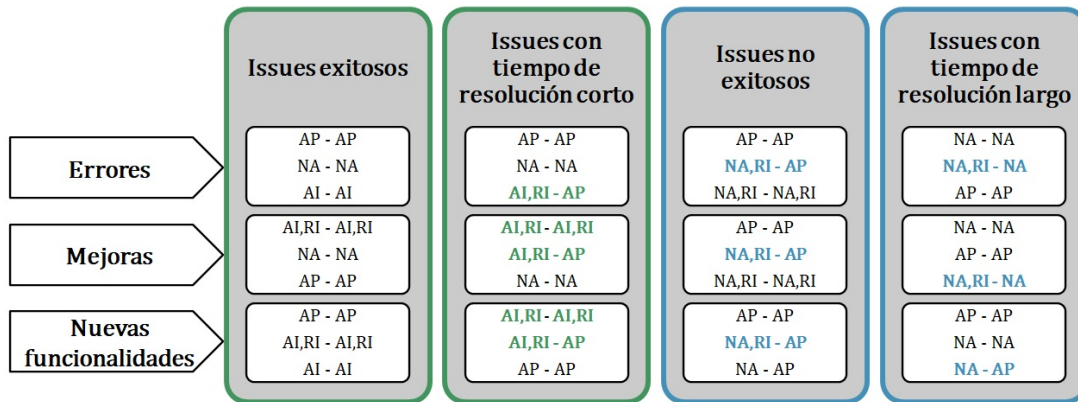


Fig. 5.27: Patrones más recurrentes de tipos de interactuantes



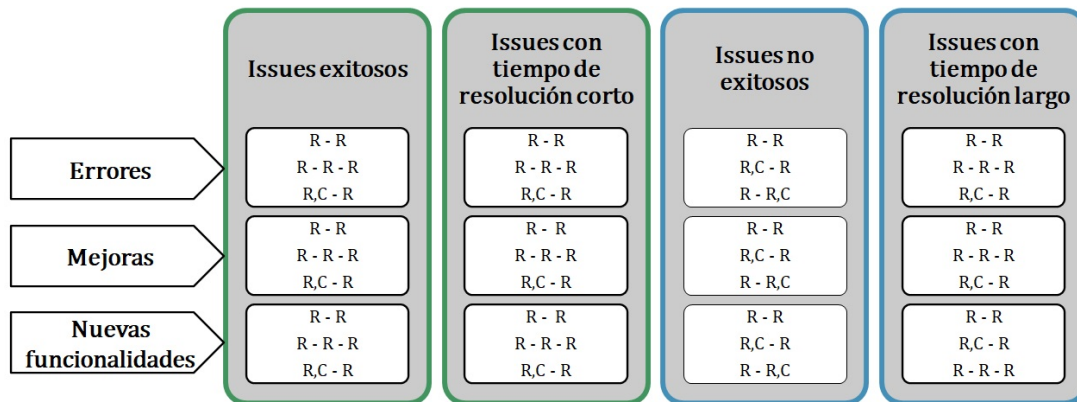


Fig. 5.28: Patrones más recurrentes de tipos de mensajes

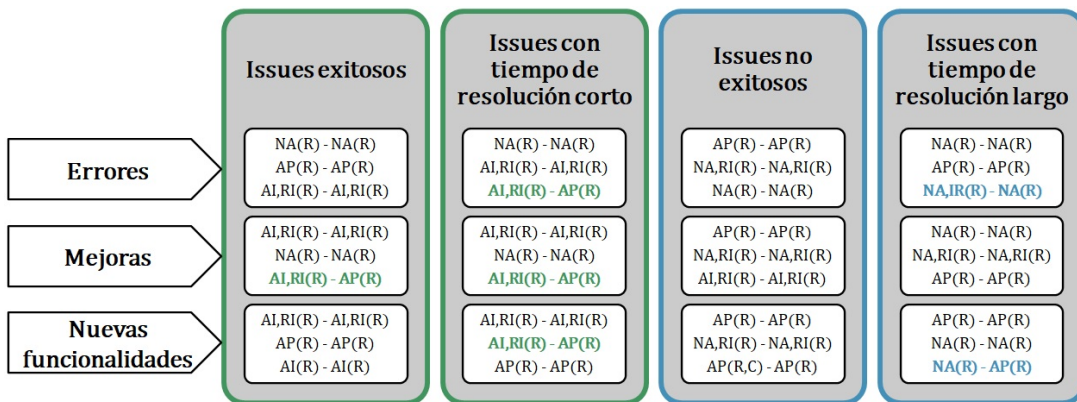


Fig. 5.29: Patrones más recurrentes de tipos de interactuantes y tipos de mensajes

comunicados por APs. Los patrones más recurrentes de tipos de mensajes comunicados por tipos interactuantes específicos durante la resolución de *issues* no exitosos e *issues* con TRI largos incluyeron comentarios referenciales comunicados entre NAs y APs (Figura 5.29).

## 5.5. Discusión

### 5.5.1. Discusión de los resultados

Los resultados proporcionaron evidencia de las relaciones positivas entre algunas variables de comunicación útiles para el estudio de la madurez grupal, la efectividad y la eficiencia en el desarrollo de software. Estos resultados confirman algunos de los resultados encontrados en la RSL y en el estudio de casos, presentados en los capítulos 3 y 4 respectivamente.

La discusión de los resultados se detalla a continuación incluyendo la respuesta a cada pregunta de investigación y los resultados de probar las hipótesis asociadas a cada una.

**PI<sub>1</sub>: ¿Cómo se relaciona la cantidad de mensajes de las distintas personas con el tiempo y el éxito en la resolución de issues?**

Se encontró que los comentarios de las personas asignadas a *issues* o que reportaron *issues* (personas con roles “AP” o “RI” respectivamente) estaban relacionados con la resolución de *issues* de una manera rápida y exitosa. En el desarrollo de software de código abierto, las personas involucradas generalmente registran comentarios; sin embargo, los resultados proporcionaron evidencia de que los mensajes comunicados por las personas responsables de los *issues*, como los AIs y los RIs, son los más relacionados con el éxito en la resolución de *issues* y con tiempos de resolución cortos. Los AIs y los RIs a menudo son personas más experimentadas y tienen más conocimiento sobre temas específicos que las personas no asignadas a resolver *issues* (NAs), por lo que los resultados proporcionaron evidencia de que la comunicación entre personas experimentadas y con dominio del problema en cuestión puede contribuir a reducir el tiempo de resolución y aumentar el éxito en la resolución de tareas. En particular, los RIs (que cuentan con información clara y detallada sobre los *issues*) pueden apoyar a las personas que deben resolverlos (AIs). Estos resultados son similar a los resultados de Guo y col. (2010), quienes descubrieron que los errores reportados por personas con mayor prestigio tenían más probabilidades de solucionarse. Estos resultados proporcionan evidencia de la importancia de las personas más experimentadas en la toma de decisiones y en el manejo de conflictos (características de madurez grupal) durante la resolución de *issues*. Los resultados también indican que no todas las personas apoyan y participan de la misma manera en la comunicación durante la resolución de *issues*, lo cual podría afectar la cohesión grupal y la confianza mutua (características de equipos maduros). Se obtuvo evidencia para aceptar la hipótesis  $H_{1.1}$  (“La cantidad de mensajes de las distintas personas es diferente en *issues* resueltos exitosamente e *issues* no exitosos”), ya que las pruebas *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) indicaron que las variables referentes a la cantidad de mensajes de cada tipo de interactuante tenían distribuciones diferentes para *issues* exitosos y no exitosos. También se obtuvo evidencia para aceptar la hipótesis  $H_{1.2}$  (“Existen correlaciones estadísticamente significativas entre la cantidad de mensajes de las distintas personas y el tiempo de resolución de *issues*”), ya que los resultados de los análisis de correlación demostraron la existencia de correlaciones estadísticamente significativas entre la cantidad de mensajes de cada tipo de interactuante y el tiempo de resolución de los *issues*, tanto a nivel de tarea (*issue*), como a nivel de proyecto.

Se encontró que los tiempos de resolución cortos estaban relacionados con la comunicación de mensajes referenciales entre los asignados a *issues* en el mismo proyecto. Durante la resolución de *issues* no exitosos e *issues* resueltos en mucho tiempo, la comunicación entre los asignados a resolver *issues* (AIs) fue baja y, en algunos casos, la comunicación se realizó entre los personas no asignadas a resolver *issues* (NAs) y los asignados en el mismo proyecto (PAs), pero no entre los AIs. El análisis de los patrones de comunicación confirmó que la comunicación entre personas con roles AI, RI y AP se relaciona con tareas exitosas y con tiempos de resolución cortos; y que la comunicación entre los NAs y los APs está asociada con una baja eficiencia y efectividad en el desarrollo de software. Esto indica que el fomento de la comunicación entre las personas responsables de las tareas y las personas involucradas en un proyecto podría mejorar el desarrollo de software. Los resultados de Wu y col. (2016) indican que, de acuerdo con los objetivos de los proyectos, un control adecuado y planificado para la comunicación entre los miembros del equipo es crucial en el éxito de proyectos de software de código abierto.

*PI<sub>2</sub>: ¿Cómo se relaciona la cantidad de los distintos tipos de mensajes (de acuerdo a su objetivo) con el tiempo y el éxito en la resolución de issues?*

Los mensajes referenciales resultaron estar positivamente asociados con el éxito en la resolución de *issues* y tiempos resolución cortos. No se encontró que los mensajes conativos o emotivos se relacionaran positivamente con *issues* exitosos. Además, se encontró que los mensajes conativos se correlacionaron positivamente con el tiempo de resolución de issues (TRI).

La mayoría de los mensajes frecuentes comunicados durante la resolución exitosa de *issues* fueron comentarios referenciales destinados a proporcionar información sobre el contexto y el estado de la corrección de los *issues*. Para *issues* exitosos, se comunicaron comentarios sobre actualizaciones o implementación de código para la resolución de *issues*. En el caso de *issues* no exitosos, se informaron frecuentemente comentarios para especificar problemas durante la resolución de *issues*. Los mensajes emotivos más comunicados incluyeron pensamientos y expresiones de estados mentales (como puntos de vista u opiniones), seguidos de expresiones de sentimientos, emociones y deseos. Los mensajes emotivos más frecuentes se comunicaron durante *issues* no exitosos e incluyeron mensajes para expresar puntos de vista en oraciones negativas y expresar incertidumbre y un entendimiento erróneo sobre asuntos relacionados con la resolución de *issues*. Estos mensajes se comunicaron cuando los *issues* no se describieron claramente y no se manejaron correctamente. Esto proporciona evidencia de la relación que existe entre los problemas claramente establecidos y la correcta resolución de *issues*. La claridad de las tareas y metas de un grupo de trabajo es una característica de madurez grupal y los resultados indicaron una asociación entre la claridad de tareas de software y una alta efectividad en la resolución de las mismas. Se identificaron mensajes que incluyeron disculpas debido a falta de claridad o comprensión, específicamente cuando no se implementaron correcciones de algunos tipos de *issues*. Esto resalta la importancia de prestar suficiente atención en el proceso de resolución de tareas, desde la descripción de la mismas hasta las actividades de resolución. Además, los mensajes para negarse a hacer algún trabajo fueron frecuentes en *issues* no exitosos, destacando las actitudes negativas de algunas personas para resolver *issues*. Esto indica que los mensajes que muestran inconformidad o rechazo a la cooperación están relacionados con una baja efectividad en la resolución de tareas, lo cual proporciona evidencia de la asociación entre el comportamiento de cooperación y la conformidad (características de madurez grupal) y la efectividad (que abarca la resolución de tareas exitosamente). Los mensajes conativos más frecuentes fueron las oraciones imperativas (órdenes para hacer algún trabajo), seguidas de preguntas y sugerencias. Algunos de los mensajes conativos más frecuentes se escribieron para sugerir la verificación de información y para pedir información a las personas. Los mensajes conativos se enfocaron en cambiar el comportamiento de los receptores, lo que puede indicar que se necesitaron cambios durante el proceso de resolución de *issues*. Algunas sentencias para preguntar a las personas sobre sus puntos de vista fueron más frecuentes cuando se implementaron las resoluciones de *issues*, lo que indica que existía el interés de las personas por conocer las opiniones de otros en la comunidad de desarrollo.

La cantidad de comentarios con funciones específicas fue diferente para *issues* exitosos y no exitosos. Los resultados de las pruebas K-S proporcionaron evidencia para aceptar la hipótesis  $H_{2.1}$  (“La distribución de los tipos de mensajes es diferente en *issues* resueltos exitosamente e *issues* no exitosos”), ya que la distribución de los comentarios de acuerdo a sus funciones varió con respecto a *issues* exitosos y no exitosos. Esta variación podría explicarse ya que las funciones

de los comentarios dependen de la situación de la resolución de los *issues*, que puede tener éxito o no. Otra explicación puede ser que algunas intenciones de los comentarios afectan la resolución de *issues*. La asociación entre el contenido de los comentarios y el éxito en la resolución de *issues* se pudo confirmar ya que se pudo identificar, con un buen nivel de precisión y exactitud, *issues* exitosos y no exitosos a partir del análisis de sus comentarios y descripciones *issues*. Algunos algoritmos alcanzaron 80% de exactitud en las tareas de clasificación utilizando datos de 30 días. Esto significa que, utilizando los comentarios de los primeros 30 días destinados a resolver una tarea, se puede saber con un 80% de exactitud si la tarea será exitosa o no.

Se encontraron coeficientes de correlación estadísticamente significativos entre el tiempo de resolución de *issues* (TRI) y el porcentaje de comentarios con funciones específicas, lo que proporcionó evidencia para aceptar la hipótesis  $H_{2.2}$  (“*Existen correlaciones estadísticamente significativas entre la cantidad de los diferentes tipos de mensajes y el tiempo de resolución de issues*”). Se encontró que los coeficientes de correlación eran mayores cuando los análisis se realizaron con datos a nivel de proyecto. Los resultados de los análisis de correlación proporcionaron evidencia de que los porcentajes de comentarios con mensajes emotivos y conativos tienden a aumentar a medida que aumenta el TRI y que el porcentaje de comentarios fáticos tiende a disminuir. Estos resultados indican que, cuando la resolución de *issues* toma mucho tiempo, la comunicación enfocada en el estado de los emisores y en cambiar el comportamiento de los receptores de mensajes tiende a aumentar. Los resultados proporcionaron evidencia de la relación negativa que existe entre la eficiencia y los porcentajes de mensajes conativos y emotivos. Los comentarios más comunicados durante la resolución rápida de errores incluyeron mensajes referenciales con información sobre actividades enfocadas en obtener soluciones, incluida la integración de código o el desarrollo de “parches” de software. Los mensajes emotivos que expresaban malentendidos, puntos de vista e incertidumbre fueron más frecuentes durante los *issues* resueltos en mucho tiempo. Algunos de estos mensajes emotivos se comunicaron cuando las personas necesitaban expresar algo sobre su estado y pensaban que era importante para la comunidad de desarrollo; sin embargo, estos comentarios no fueron objetivos y, en algunos casos, pudieron afectar el TRI. Además, los mensajes emotivos que expresaron disculpas por entendimiento erróneo de la información fueron más frecuentes en *issues* resueltos en mucho tiempo. Una explicación a esto puede considerar que cuando las personas están confundidas acerca de algo comunican su opinión, y aclarar algunos puntos puede causar retrasos en la resolución de *issues*. Estos hallazgos son similares a los resultados de Saha y col. (2015), quienes encontraron que entre las razones de la larga duración de los *issues* se encuentran no comprender su importancia y la incertidumbre sobre cómo solucionarlos. Además, los resultados de Breu y col. (2010) destacan la importancia de involucrar a la comunidad de usuarios en las actividades de corrección de errores y mantenerlos actualizados sobre el estado de los mismos. Esto implica cohesión grupal (característica de madurez grupal), la cual, está relacionada con la eficiencia en la resolución de tareas. Los comentarios más frecuentes identificados durante la resolución rápida de *issues* indican que, cuando no hubo problemas durante la resolución de *issues*, predominaron los comentarios referenciales para informar algo sobre el contexto o la resolución de *issues*. Las discusiones que incluyeron puntos de vista, preguntas, órdenes y otros mensajes emotivos y conativos que pueden causar retrasos en la resolución de *issues* fueron más frecuentes a medida que aumentó el TRI de los *issues*. Esto destaca que un mal manejo de conflictos puede causar retrasos y proporciona evidencia de la relación entre el adecuado manejo de conflictos (características de madurez grupal) y la eficiencia en la resolución de tareas.

***PI<sub>3</sub>: ¿Cómo se relaciona el número total de mensajes intercambiados con el tiempo y el éxito en la resolución de issues?***

El número de mensajes fue mayor durante la resolución de *issues* exitosos, por lo que la interacción entre las personas también fue mayor. Esto podría indicar que, cuando se implementan las soluciones de *issues*, se requiere más comunicación entre las personas. Por otra parte, el número de comentarios de un *issue* se correlacionó positivamente con el TRI, lo que indica una relación negativa entre el número de mensajes y la eficiencia. Esto proporciona evidencia de que más mensajes podrían conducir al cumplimiento de los objetivos del proyecto, pero tal vez no mejoren el tiempo de desarrollo de software. Los resultados de las pruebas K-S proporcionaron evidencia para aceptar la hipótesis  $H_{3.1}$  (“La cantidad total de mensajes es diferente en *issues* resueltos exitosamente e *issues* no exitosos”), ya que la cantidad total de mensajes varió con respecto a *issues* exitosos y no exitosos. Los resultados del análisis de correlación proporcionaron evidencia para aceptar la hipótesis  $H_{3.2}$  (“Existen correlaciones estadísticamente significativas entre la cantidad total de mensajes y el tiempo de resolución de *issues*”), ya que se encontraron correlaciones estadísticamente significativas y positivas entre el número de mensajes el TRI.

***PI<sub>4</sub>: ¿Cómo se relaciona la frecuencia de comunicación con el tiempo y el éxito en la resolución de issues?***

Se encontró que la frecuencia de comentarios estaba negativa y fuertemente relacionada con el tiempo de resolución de *issues* (TRI) y positiva y fuertemente relacionada con el porcentaje de *issues* exitosos. Esto indica que los lapsos de tiempo cortos entre mensajes pueden conducir a una mayor eficiencia y efectividad en el desarrollo de software. Los resultados proporcionaron evidencia de que el tiempo entre mensajes es más importante que la cantidad de comentarios en sí mismo. Xuan y col. (2012) estudiaron la correlación entre el tiempo dedicado a una tarea y la frecuencia de comunicación y sus hallazgos sugieren que la comunicación frecuente antes y después de las actividades son esenciales para un desarrollo de software efectivo. Los resultados de las pruebas K-S proporcionaron evidencia para aceptar la hipótesis  $H_{4.1}$  (“La frecuencia de mensajes comunicados es diferente en *issues* resueltos exitosamente e *issues* no exitosos”), ya que la frecuencia mensajes comunicados varió con respecto a *issues* exitosos y no exitosos. Los resultados del análisis de correlación proporcionaron evidencia para aceptar la hipótesis  $H_{4.2}$  (“Existen correlaciones estadísticamente significativas entre la frecuencia de mensajes comunicados y el tiempo de resolución de *issues*”), ya que se encontraron fuertes correlaciones estadísticamente significativas entre la frecuencia de mensajes comunicados y el TRI. Una frecuencia de comunicación alta en la resolución de *issues* indica una respuesta rápida de mensajes y una comunicación fluida, aspectos necesarios para desarrollar algunas características de madurez grupal tales como el comportamiento de apoyo y un manejo de conflictos constante.

***PI<sub>5</sub>: ¿Cómo se relaciona el tamaño de los mensajes con el tiempo de resolución de issues y el éxito en la resolución de issues?***

Se encontró que el tamaño de los mensajes y el éxito en la resolución de *issues* posiblemente están relacionados. Los resultados de las pruebas K-S proporcionaron evidencia para aceptar la hipótesis  $H_{5.1}$  (“El tamaño de mensajes es diferente en *issues* resueltos exitosamente e *issues* no exitosos”), ya que el tamaño de mensajes comunicados varió con respecto a *issues* exitosos y no exitosos. También se encontró que el tamaño de los comentarios estaba relacionado positivamente con el TRI, evidencia para aceptar la hipótesis  $H_{5.2}$  (“Existen correlaciones estadísticamente

*significativas entre el tamaño de mensajes y el tiempo de resolución de issues*"); sin embargo, esta correlación no resultó ser fuerte.

Se encontró que el éxito en la resolución de *issues* y el TRI estaban fuerte y negativamente correlacionados. Este resultado proporciona evidencia de la alta probabilidad de que los *issues* resueltos en mucho tiempo no se resuelvan con éxito. Los resultados mostraron que la cantidad de *issues* exitosos disminuyó y el TRI aumentó con el tiempo (particularmente para nuevas funcionalidades y mejoras). Esto indica que la eficiencia y la efectividad podrían disminuir durante proyectos largos de software de código abierto.

En general, la frecuencia de la comunicación fue la variable más relacionada con el éxito en la resolución de *issues* y tiempos de resolución cortos, seguido por los comentarios referenciales de los asignados a *issues* y reporteros de *issues*.

### 5.5.2. Análisis de los resultados y su relación con los hallazgos del estudio de casos y de la RSL

Los resultados del estudio presentado en este capítulo corroboraron que la comunicación es un factor que puede impactar el desarrollo de software. Este resultado también se obtuvo en la revisión sistemática de literatura (RSL) detallada en el Capítulo 3 y en el estudio de casos presentado en el Capítulo 4.

La comunicación es indispensable para muchas actividades grupales tales como la administración de conocimiento, las actividades de coordinación (como planificación y seguimiento), la colaboración, la toma de decisiones, las actividades propias de ingeniería de software y el liderazgo. La comunicación es esencial para desarrollar estados grupales como la confianza, el comportamiento de apoyo, la cohesión, y la claridad en las tareas y roles de los miembros de un equipo. En el estudio de casos del Capítulo 4, la comunicación resultó estar positiva y fuertemente correlacionada con la cohesión grupal, comportamiento de apoyo y la conformidad.

Algunas de las variables de comunicación estudiadas en este capítulo y relacionadas con las tareas de gestión de conocimiento resultaron relevantes en el desarrollo de software. Tales variables incluyen la cantidad de distintos tipos de mensajes y la frecuencia de comunicación. Las tareas de gestión de conocimiento también fueron identificadas en la RSL como factores que impactan el DAS. Los mensajes referenciales se relacionaron con el éxito en la resolución de tareas y tiempos cortos de resolución en el estudio presentado en este capítulo. Los mensajes referenciales comúnmente se comunican cuando se realiza una transferencia de conocimiento de manera objetiva, actividad que impacta el DAS con base en los resultados de la RSL.

Los mensajes referenciales permiten expresar información de manera clara y objetiva, lo que propicia la claridad de las metas y tareas asignadas a las personas. En el estudio de casos del Capítulo 4, se encontró que la claridad de metas y roles fue uno de los factores más relacionados con la eficiencia grupal, y, en este trabajo, se corroboró que los mensajes referenciales estaban relacionados con tiempos de resolución cortos (que implican eficiencia).

Una gran cantidad de los mensajes emotivos estudiados expresaron sentimientos y actitudes de inconformidad. Tales mensajes se relacionaron con tareas no exitosas y tiempos de resolución

largos. En el estudio de casos del Capítulo 4, se encontró que la conformidad es una variable relacionado con la eficiencia grupal.

La frecuencia en la comunicación y la cantidad de información comunicada indican mucha participación y colaboración entre las personas. El comportamiento de apoyo es un factor identificado en la RSL que afecta el DAS (Capítulo 3) y que también estuvo correlacionado positivamente con la eficiencia y efectividad grupal en el estudio de casos presentado en el Capítulo 4. En el estudio presentado en este capítulo, se encontró una relación positiva y fuerte entre la frecuencia de la comunicación y algunas variables de eficiencia y efectividad. Además, el número de mensajes comunicados resultó relevante para el éxito en la resolución de tareas.

Considerando que un grupo de trabajo maduro asigna de manera adecuada sus recursos (como los humanos) a actividades como la toma de decisiones y el balance de la carga de trabajo, se espera que la participación de las personas con responsabilidades asignadas sea adecuada. Los mensajes de las personas asignadas a resolver *issues*, que son personas con responsabilidades relevantes, resultaron importantes para el desarrollo de software de manera eficiente y efectiva.

La comunicación realizada mediante ITSs facilita la transferencia de conocimiento, la planificación, el seguimiento de tareas, la toma de decisiones, la colaboración, la asignación de trabajo y, en general, la administración de proyectos. Éstas actividades son factores que afectan el DAS de acuerdo con la RSL (Capítulo 3).

### 5.5.3. Implicaciones para la práctica y la investigación

El estudio detallado en este capítulo es relevante para investigadores y profesionales porque proporciona evidencia empírica sobre las relaciones positivas entre comunicación, eficiencia y efectividad en el desarrollo de software. Los resultados pueden ayudar a las personas implicadas en el desarrollo de software a reducir el tiempo para resolver tareas y aumentar la tasa de *issues* exitosos a través de prácticas adecuadas de comunicación. Los gerentes de proyecto podrían reducir el tiempo de desarrollo promoviendo la comunicación frecuente y objetiva durante todo el tiempo de vida de un proyecto, particularmente cuando los proyectos son largos porque el porcentaje de *issues* exitosos puede disminuir y el tiempo de desarrollo puede aumentar durante los proyectos. Los resultados indican que el éxito en la resolución de *issues* y los tiempos de resolución cortos se relacionan positivamente, por lo que los administradores de proyecto y los desarrolladores deben considerar que si se pospone la resolución de un *issue*, es más probable que ésta no se realice con éxito.

Los mensajes de los administradores de proyecto pueden mejorar la eficiencia y la efectividad a nivel de proyecto, por lo que no deberían dejar de comunicarse si identifican que algunos de los *issues* (particularmente errores y mejoras) que comentaron no tienen éxito o su resolución requirió mucho tiempo.

Las personas comparten intereses comunes e intercambian información, soluciones y sugerencias durante el desarrollo de OSS. Cuando las personas son nuevas en un proyecto (generalmente como voluntarios), a menudo comienzan a comunicar sugerencias para obtener méritos por su trabajo; sin embargo, este estudio proporciona evidencia empírica de que la información objetiva es más útil que los mensajes conativos (como las sugerencias), que fueron

los mensajes más comunicados por los no asignados a *issues* (personas que aún no habían sido asignadas para resolver alguna tarea). Con base en esto, las personas que desean formar parte de una comunidad de desarrollo de OSS y obtener méritos por su trabajo, deben comunicar mensajes referenciales con información objetiva, que son los más relacionados con *issues* exitosos y tiempos de resolución cortos.

Los asignados a *issues* específicos deben considerar que los asignados a otros *issues* en el mismo proyecto y las personas no asignadas a *issues* frecuentemente comentan los *issues* de los que son responsables, pero deben garantizar una comunicación frecuente con todas las personas involucradas porque los resultados proporcionaron evidencia de que la mayoría de los patrones de comunicación recurrentes asociados a tiempos de resolución cortos implican comunicación entre personas en el mismo proyecto.

Los resultados indican que durante los proyectos de OSS, el porcentaje de comentarios de personas que no son desarrolladores aumenta con el tiempo y el número de comentarios de personas asignadas a resolver *issues* (AI) y de los reporteros de *issues* (RI) disminuye con el tiempo. Con base en los resultados respecto a la relación positiva entre tiempos de resolución cortos y los comentarios de AIs y RIs, los AIs y los RIs deberían comunicarse durante todo el tiempo del proyecto. Además, los RIs deberían considerar que su conocimiento sobre los *issues* que registran es relevante para los AIs y deben colaborar con ellos. Las personas que se comunican a través de ITSS conocen a los asignados y a los reporteros de los *issues*, por lo tanto, si alguien desea conocer información específica sobre un *issue*, puede solicitar a los AIs y a los RIs la información requerida.

Con base en los resultados, los interesados en productos de software (como usuarios y desarrolladores) pueden considerar evitar algunos tipos específicos de mensajes emotivos y conativos (como aquellos con connotaciones negativas), que, en general, se encontraron asociados con TRIs largos; sin embargo, se necesita más investigación sobre mensajes emotivos y conativos específicos para identificar si oraciones imperativas específicas o la expresión de emociones particulares pueden reducir el tiempo de resolver *issues*. Esto se sugiere con base en estudios previos, como el trabajo de Ortu y col. (2015), quienes descubrieron que los desarrolladores felices se relacionan con TRIs cortos y que las emociones negativas están vinculadas con tiempos de resolución grandes; o el trabajo de Graziotin y col. (2018), quienes identificaron varias consecuencias de la felicidad y la infelicidad en el desarrollo de software.

Cuando las personas quieren ser parte de una comunidad de OSS, necesitan comprender los problemas que se están abordando (como los defectos del software) para evitar discusiones causadas por información entendida incorrectamente. Estas discusiones generalmente incluyen la solicitud de explicaciones innecesarias y pueden causar retrasos en la resolución de *issues*. Para evitar algunos de estos retrasos, las personas involucradas en proyectos de software deben tener suficiente experiencia. Además, las especificaciones de los *issues* deben ser lo suficientemente claras, expresadas de forma completa y detalladas sin ambigüedad para evitar malos entendidos y reducir el número de mensajes conativos para solicitar información que se puede proporcionar con anticipación.

Las personas no deberían intentar cambiar el comportamiento de otras personas (usando mensajes conativos) a menos que sea necesario y deben evitar pedir información a menos que ésta sea necesaria para la resolución de *issues*. Con base en los resultados, las personas podrían



intentar mantener el canal de comunicación adecuadamente, lo que implica la comunicación de suficientes comentarios fácticos para expresar agradecimiento o indicar que los mensajes se han recibido y entendido.

Las personas pueden comunicar mensajes con cualquier función; sin embargo, los mensajes deben ser lo suficientemente importantes y las personas deben tratar de mantener un equilibrio adecuado entre los tipos de mensajes y garantizar un enfoque en el contexto de la tarea (relacionado con los mensajes referenciales). Esto se sugiere con base en los resultados que indican que un mayor número de comentarios referenciales por cada mensaje conativo y emotivo se asocia a una resolución exitosa de *issues*.

Con base en los resultados, se sugiere realizar un mejor análisis del “valor” de los *issues* nuevos para registrar únicamente aquellos que sean importantes y para reducir el número de *issues* abandonados y olvidados en los ITSs.

Finalmente, la evidencia sobre las relaciones entre las variables de comunicación investigadas y el TRI puede ayudar a mejorar los modelos de predicción de TRI.

### 5.5.4. Validez del estudio

Respecto a la validez de constructo, los datos estudiados (proyectos de desarrollo de software, y sus *issues* y comentarios) provinieron directamente de tres ITSs de Jira y no se manipularon antes de procesarse, por lo que los datos representan información de proyectos reales. Una de las ventajas de usar datos de repositorios electrónicos (como ITSs), es que los datos extraídos son estables y no están influenciados por la presencia de investigadores (Jedlitschka y col., 2008). Como parte del etiquetado automático, la mayoría de los mensajes estudiados en este trabajo se etiquetaron utilizando algoritmos de aprendizaje de máquina, que alcanzaron una exactitud y precisión muy altas (cerca al 100 %); sin embargo, probablemente no se etiquetó correctamente un pequeño número de comentarios. Esto debe tenerse en cuenta porque se calcularon algunos datos con base en el etiquetado automático.

En cuanto a la validez interna, los análisis de correlación se realizaron con datos del proceso de comunicación, el éxito en la resolución de *issues* y el tiempo de resolución de *issues* (TRI) a nivel de *issue* y de proyecto para una mejor comprensión de las asociaciones estudiadas en este trabajo; sin embargo, se podrían estudiar otros tipos de variables para identificar todos los posibles factores que afectan los proyectos de OSS.

Con respecto a la validez externa, se seleccionaron tres ITSs públicos que almacenan un número considerable de proyectos de software como fuente de datos. Los proyectos estudiados incluyen el desarrollo de software de código abierto (como productos de Apache, Red Hat y Spring) que utilizan muchas personas dedicadas a la ingeniería de software. Los datos analizados incluyen más de 150K *issues* y más de 800K comentarios de 100 proyectos grandes, por lo que los datos representan una parte considerable de los proyectos registrados en los ITSs estudiados. Además, se estudiaron varios proyectos de Apache (una de las organizaciones más predominantes dedicadas al desarrollo de software de código abierto).

Con respecto a la validez de las conclusiones, se establecieron las conclusiones considerando

las limitaciones y el contexto de este trabajo.

En cuanto a la confiabilidad, el análisis de datos fue automático, por lo que no dependió de investigadores específicos. La mayoría de las tareas que implicaron el uso de algoritmos de aprendizaje de máquina y la mayoría de los análisis de correlación se ejecutaron varias veces para proporcionar confiabilidad al estudio. Además, dos personas validaron el etiquetado manual (que fue la base para realizar el etiquetado automático de los tipos de mensajes) para proporcionar mayor confiabilidad.

### 5.6. Resumen de principales contribuciones

El trabajo presentado en este capítulo incluyó el estudio de las relaciones entre variables de comunicación (asociadas a características de madurez grupal), el éxito en la resolución de *issues* y el tiempo para resolverlos en el desarrollo de software utilizando datos de 100 proyectos de software de código abierto almacenados en tres sistemas de seguimiento de incidencias o *Issue Tracking Systems* (ITSS).

Este trabajo contribuye al estudio de variables de comunicación específicas (como los tipos de mensajes de acuerdo con sus funciones lingüísticas o de comunicación, los tipos de interactuantes con base en sus roles durante el desarrollo de software, la cantidad de comentarios y la frecuencia de comunicación) y su relación con la eficiencia y la efectividad en proyectos de software. La investigación sobre funciones de comunicación se publicó en un artículo en la revista *Information and Software Technology* (Ramírez-Mora y col., 2021b).

Se descubrió que el éxito en la resolución de *issues* está relacionado con comentarios referenciales, comentarios de los asignados a *issues*, comentarios de los reporteros de *issues* y la frecuencia de mensajes comunicados. Se encontró que algunas variables de comunicación se correlacionaron fuerte y negativamente con el tiempo de resolución de *issues*, incluyendo el porcentaje de mensajes de los asignados a *issues* y la frecuencia de los mensajes. Estos resultados proporcionan evidencia de la relación positiva entre estas variables de comunicación y la eficiencia en el desarrollo de software.

Se descubrió que el éxito en la resolución de *issues* y el tiempo de resolución de *issues* estaban correlacionados negativamente, lo que indica que la eficiencia y la efectividad se relacionan positivamente en el desarrollo de OSS. Este trabajo también proporciona evidencia de que la eficiencia y la efectividad podrían disminuir durante el desarrollo de largos proyectos de OSS.

Se descubrió que se pueden identificar automáticamente, con buenos niveles de exactitud y precisión, tareas de software exitosas y no exitosas. Estos hallazgos se publicaron en un artículo en la revista *Journal of Systems and Software* (Ramírez-Mora y col., 2020a).

Como parte del trabajo, se generaron dos datasets útiles con información de *issues* y variables de comunicación. Estos datasets fueron publicados (Ramírez-Mora y col., 2020b; Ramírez-Mora y col., 2021a) y están disponibles para conducir futuras investigaciones.

Los resultados sugieren que las personas involucradas en el desarrollo de OSS deben adoptar

## 5. COMUNICACIÓN EN ITSS Y SU RELACIÓN CON INDICADORES DE EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD: ESTUDIO EN COMUNIDADES DE SOFTWARE

---

estrategias de comunicación (como la comunicación frecuente, inclusiva y objetiva) para mejorar la eficiencia y la efectividad durante el desarrollo de OSS.

# Conclusiones

---

Esta sección incluye las conclusiones sobre el cumplimiento de los objetivos de investigación, las principales contribuciones de la tesis, los resultados generales, y la producción científica derivada de las tareas de investigación, incluyendo artículos de revista, artículos presentados en congresos internacionales y datasets.

## 6.1. Cumplimiento de los objetivos de la tesis

Como se explica a continuación, todos los objetivos generales de investigación de esta tesis se cumplieron.

El primer objetivo general de investigación, que implicaba identificar las características de madurez grupal asociadas a niveles altos de eficiencia y efectividad en grupos de DAS se abordó de la siguiente manera. Se identificaron, mediante la conducción de una revisión sistemática de literatura (RSL), los factores más reportados que afectan el desarrollo ágil de software (DAS). En dicha RSL, se identificaron aquellos factores que corresponden a aspectos grupales y, en específico, a características de madurez grupal. Posteriormente, se diseñó y condujo un estudio de casos, en el que se identificaron las características de madurez grupal más relacionadas con niveles altos de eficiencia y efectividad en 9 equipos dedicados al DAS en una empresa de tecnología. Tanto la RSL como el estudio de casos permitieron contestar las primeras dos preguntas de investigación.

1. *¿Cuáles son los factores que impactan el DAS que se han reportado en estudios de investigación primarios? ¿Qué características de madurez grupal se han reportado?* Estas preguntas se contestaron mediante la conducción de la RSL presentada en el Capítulo 3. En general, las actividades y estados grupales, tales como la coordinación, la comunicación y el comportamiento de apoyo fueron los factores más citados en estudios primarios existentes. En la RSL se identificaron los siguientes factores relacionados a la madurez grupal: coordinación, liderazgo, comunicación grupal, apoyo mutuo, cooperación, conocimiento compartido, cohesión grupal y confianza mutua.
2. *¿Cuáles son las características de madurez grupal que están asociadas a niveles altos de eficiencia y efectividad en grupos de DAS?* La conducción del estudio de

casos presentado en el Capítulo 4 contribuyó a contestar esta pregunta de investigación. En general, la comunicación clara fue la característica de madurez grupal más relacionada con la efectividad grupal, y la conformidad y la claridad de las metas y roles fueron las características de madurez grupal más relacionados con la eficiencia grupal.

El segundo objetivo general de investigación, que implicó el estudio de métricas del proceso de comunicación grupal y su relación con métricas de eficiencia y efectividad en el DAS, se cumplió de la siguiente manera: se condujo un estudio (Capítulo 5) en el que se realizó la minería de repositorios de DAS que alojan una gran cantidad de proyectos de desarrollo de software. Los datos fueron procesados y se utilizaron técnicas de *machine learning* para el estudio de variables de comunicación y su relación con la eficiencia y efectividad en el DAS. El estudio permitió contestar la tercer pregunta de investigación.

3. *¿Cuál es la relación entre métricas del proceso de comunicación (asociadas a características de madurez grupal) y métricas de eficiencia y efectividad en el DAS?* Para contestar esta pregunta, se realizó un análisis de la información de proyectos de software alojados en repositorios de DAS. Las variables de comunicación relacionadas positivamente con métricas de eficiencia y efectividad fueron la frecuencia de la comunicación, los mensajes referenciales y los mensajes comunicados por los responsables de resolver y reportar tareas de software (*issues*). Las métricas de eficiencia y efectividad estudiadas incluyeron el tiempo para resolver tareas de software y el éxito en su resolución.

### 6.2. Principales contribuciones

A continuación, se presentan las principales contribuciones de esta tesis.

- Se estableció el estado de la investigación sobre factores que afectan el DAS a través de la conducción de una RSL. La RSL es útil para la conducción de estudios empíricos relacionados con factores que afectan el DAS ya que está publicada en un artículo académico (Ramírez-Mora y Oktaba, 2017).
- Se desarrolló un instrumento válido y confiable para medir variables de madurez grupal, eficiencia y efectividad grupal en el DAS. El instrumento puede ser utilizado en cualquier organización dedicada al desarrollo de software y se encuentra publicado en un artículo en la revista *Journal of Software: Evolution and Process* (Ramírez-Mora y col., 2020c).
- Se identificaron las características de madurez grupal más relacionadas con una alta eficiencia y efectividad en equipos de DAS en una empresa CMMI-DEV nivel 5. Las características identificadas pueden facilitar la generación prácticas para mejorar de la eficiencia y efectividad en el DAS.
- Se estudió, a detalle, variables específicas de comunicación (asociadas con características de madurez grupal) y su relación con la eficiencia y efectividad en el desarrollo de software. Las variables estudiadas pueden permitir establecer buenas prácticas de comunicación para

mejorar el tiempo y el éxito en la resolución de tareas de software y para fomentar la madurez grupal, especialmente en comunidades de desarrollo de software de código abierto. Los resultados derivaron en varios artículos, incluyendo un artículo en la revista *Journal of Systems and Software* (Ramírez-Mora y col., 2020a) y un artículo en la revista *Information and Software Technology* (Ramírez-Mora y col., 2021b).

- Se estudiaron distintos tipos de mensajes comunicados durante el desarrollo de software considerando su función lingüística. Además, se elaboró un corpus de mensajes con diversas funciones de comunicación. El corpus es útil para estudiar la comunicación en distintas comunidades o grupos dedicados al desarrollo de software y se encuentra disponible en un dataset en *Mendeley Data* (Ramírez-Mora y col., 2021a).

### 6.3. Resultados generales

La comunicación, característica fundamental de equipos maduros, es una actividad necesaria para realizar todos los procesos grupales y desarrollar estados emergentes en equipos de trabajo, por lo que algunos aspectos del proceso de comunicación (tales como las personas que se comunican, el tipo de mensajes y la frecuencia de la comunicación) se deben ajustar y mejorar durante el desarrollo de software.

Los resultados de este trabajo indican que la comunicación grupal es un aspecto fundamental en el desarrollo de software y, específicamente, la comunicación efectiva impacta positivamente en el logro de objetivos y en el éxito en la realización de tareas. Además, se encontró evidencia de la relevancia de la comunicación frecuente para mejorar los tiempos en la resolución de tareas de software.

Los resultados también proporcionaron evidencia de que la conformidad con las reglas del equipo y la claridad de las tareas y metas grupales son relevantes para un desarrollo de software eficiente, que implica el uso adecuado de recursos, entregas de trabajo oportunas y cumplimiento del cronograma de actividades.

Debido a que algunos aspectos grupales son fundamentales en el DAS, éstos deben ser tan importantes como los aspectos tecnológicos. Los equipos de trabajo maduros pueden obtener mejores resultados, aún cuando la organización en la que trabajan implementa procesos optimizados.

### 6.4. Producción científica

A continuación, se presenta la producción científica derivada de las actividades de investigación descritas en esta tesis, incluyendo artículos de revistas, artículos presentados en congresos internacionales y datasets.

### Artículos en revistas

- **Information and Software Technology** (Editorial: **Elsevier**)

S. L. Ramírez-Mora, H. Oktaba, H. Gómez-Adorno y G. Sierra. Functions of comments during bug fixing in Open Source Software projects. *Information and Software Technology*, 2021, issn: 0950-5849. doi: 10.1016/j.infsof.2021.106584.

- **Journal of Systems and Software** (Editorial: **Elsevier**)

S. L. Ramírez-Mora, H. Oktaba y H. Gómez-Adorno. Descriptions of issues and comments for predicting issue success in software projects. *Journal of Systems and Software*, 168:110663, 2020. issn: 0164-1212. doi: 10.1016/j.jss.2020.110663.

- **Journal of Software: Evolution and Process** (Editorial: **Wiley & Sons**)

S. L. Ramírez-Mora, H. Oktaba y J. Patlán Pérez. Group maturity, team efficiency, and team effectiveness in software development: A case study in a CMMI-DEV level 5 organization. *Journal of Software: Evolution and Process*, 32(4):e2232, 2020. doi: 10.1002/smr.2232.

### Artículos presentados en congresos

- S. L. Ramírez-Mora y H. Oktaba. Team maturity in agile software development: The impact on productivity. En 2018 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME), Madrid, 2018, páginas. 732-736, doi: 10.1109/ICSME.2018.00091.
- S. L. Ramírez-Mora y H. Oktaba. Productivity in agile software development: A Systematic Mapping Study. En 2017 5th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT), páginas 44-53, 2017. doi: 10.1109/CONISOFT.2017.00013

### Datasets

- S. L. Ramírez-Mora, H. Oktaba, H. Gómez-Adorno y G. Sierra. Communication functions of bug comments in OSS projects (dataset). <https://data.mendeley.com/datasets/xfzv59fht2/1>, versión V1, 2021. doi: 10.17632/xfzv59fht2.1
- S. L. Ramírez-Mora, H. Oktaba y H. Gómez-Adorno. Issues, comments and projects from four popular issue tracking systems. <http://dx.doi.org/10.17632/pk3wv93s3m.1>, versión v1, 2020. doi:10.17632/pk3wv93s3m.1

---

## Estudios primarios incluidos en la RSL

---

**Tabla A.1:** Estudios primarios incluidos en la RSL.

Id	Referencia
[S01]	A. O. E. Abdalla, H. M. Abushama, “New Structure for Agile Team Sitting” In: 24th International Conference on Software Engineering and Data Engineering, SEDE 2015; San Diego; United States; 12 October 2015 through 14 October 2015; Code 118094.
[S02]	P. J. Adams, A. Capiluppi, “Bridging the gap between agile and free software approaches: The impact of sprinting” In: International Journal of Open Source Software and Processes 2009, pages 58-71.
[S03]	A. Ahmed, S. Ahmad, N. Ehsan, E. Mirza, S. Z. Sarwar , “Agile software development: Impact on productivity and quality” In: 5th IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology, ICMIT2010, Article number 5492703, Pages 287-291.
[S04]	D. Athanasiou, A. Nugroho, J. Visser, A. Zaidman, “Test Code Quality and Its Relation to Issue Handling Performance” In: IEEE Transactions on Software Engineering Volume 40, Issue 11, 1 November 2014, Article number 6862882, Pages 1100-1125.
[S05]	D. Badampudi, S. A. Fricker A. M. Moreno, “Perspectives on Productivity and Delays in Large-Scale Agile Projects” In: International Conference on Agile Software Development XP 2013: Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming pp 180-194.
[S06]	H. Barney, N. Moe, T. Dybå, A. Aurum, M. Winata, “Balancing Individual and Collaborative Work in Agile Teams” In: International Conference on Agile Processes and Extreme Programming in Software Engineering XP 2009: Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming pp 53-62.
[S07]	C. O . Melo, D. Cruzes, F. Kon, R. Conradi, “Interpretative case studies on agile team productivity and management” In: Information and Software Technology, Volume 55, Issue 2, February 2013, Pages 412-427.
[S08]	T. Dingsøy, Y. Lindsjörn, “Team Performance in Agile Development Teams: Findings from 18 Focus Groups” In: International Conference on Agile Software Development XP 2013: Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming pp 46-60.
[S09]	J.-F. Dumas-Monette, S. Trudel, “Requirements engineering quality revealed through functional size measurement: An empirical study in an agile context” In: 2014 Joint Conference of the International Workshop on Software Measurement, IWSM 2014 and the International Conference on Software Process and Product Measurement, Mensura 2014.
[S10]	F. Fagerholm, M. Ikonen, P. Kettunen, J. Münch, V. Roto, P. Abrahamsson, “Performance Alignment Work: How software developers experience the continuous adaptation of team performance in Lean and Agile environments” In: Information and Software Technology, Volume 64, 1 August 2015, Pages 132-147.



---

A. ESTUDIOS PRIMARIOS INCLUIDOS EN LA RSL

---

Id	Referencia
[S11]	J. E. Hannay, H. C. Benestad, "Perceived productivity threats in large agile development projects" In: Proceedings of the 2010 ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement 2010, Article number 1852806.
[S12]	J. Israilidis, T. Jackson, "Examining Information and Knowledge Processes to Enhance Best Practices in Agile Knowledge Intensive Environments" In: Knowledge and Process Management, Volume 19, Issue 4, October 2012, Pages 171-179.
[S13]	K. Kautz, T. H. Johansen, A. Uldahl, "The perceived impact of the agile development and project management method scrum on information systems and software development productivity" In: Proceedings of the 24th Australasian Conference on Information Systems, 2013, 11p.
[S14]	M. Laanti, "Agile and wellbeing - Stress, empowerment, and performance in Scrum and Kanban teams" In: Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2013, Article number 6480418, Pages 4761-4770.
[S15]	Y. Lindsjørn, D. I. K. Sjøberg, T. Dingsøyr, G. R. Bergersen, T. Dybå, "Teamwork quality and project success in software development: A survey of agile development teams" In: Journal of Systems and Software, Volume 122, 1 December 2016, Pages 274-286.
[S16]	S. Nevo, I. Chengalur-Smith, "Enhancing the performance of software development virtual teams through the use of agile methods: A pilot study" In: Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2011, Article number 5718463.
[S17]	M. Omar, N. Katuk, S. L. Syed Abdullah, N. L. Hashim, R. Romli, "Assessing personality types preferences amongst software developers: A case of Malaysia" In: ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Volume 10, Issue 3, 2015, Pages 1499-1504.
[S18]	S. Pietinen, V. Tenhunen, M. Tukiainen, "Productivity of Pair Programming in a Distributed Environment – Results from Two Controlled Case Studies" In: European Conference on Software Process Improvement, EuroSPI 2008: Software Process Improvement pp 47-58.
[S19]	N. Ramasubbu, R. K. Balan, "The impact of process choice in high maturity environments: An empirical analysis" In: Proceedings - International Conference on Software Engineering, 2009, Article number 5070551, Pages 529-539.
[S20]	S. Ryan, R. V. O'Connor, "Acquiring and Sharing tacit knowledge in software development teams: An empirical study" In: Information and Software Technology, Volume 55, Issue 9, September 2013, Pages 1614-1624.
[S21]	C. Santana, D. Caetano, S. Alexandre, V. Rocha, "Measuring the effectiveness of nokia test in very small teams" In: Proceedings of the 13th IASTED International Conference on Software Engineering and Applications, SEA 2009, Pages 24-29.
[S22]	C. T. Schmidt, T. Kude, A. Heinzl, S. Mithas, "How agile practices influence the performance of software development teams: The role of shared mental models and backup" In: 35th International Conference on Information Systems "Building a Better World Through Information Systems", ICIS 2014.
[S23]	D. I. K. Sjøberg, A. Johnsen, J. Solberg, "Quantifying the effect of using Kanban versus scrum: A case study" In: IEEE Software Volume 29, Issue 5, 2012, Article number 6231615, Pages 47-53.
[S24]	A. Tarhan, S. G. Yilmaz, "Systematic analyses a comparison of development performance and product quality of Incremental Process and Agile Process" In: Information and Software Technology, Volume 56, Issue 5, May 2014, Pages 477-494.
[S25]	A. Tosun, O. Dieste, D. Fucci, S. Vegas, B. Turhan, H. Erdogmus, A. Santos, M. Oivo, K. Toro, J. Jarvinen, N. Juristo, "An industry experiment on the effects of test-driven development on external quality and productivity" In: Empirical Software Engineering, An International Journal, ISSN: 1382-3256 (Print) 1573-7616 (Online).

# Cuestionario de madurez grupal, eficiencia y efectividad

**Tabla B.1:** Cuestionario de madurez grupal, eficiencia y efectividad, y análisis factorial

Variable	Ítems	Carga factorial	Valor propio	Varianza explicada
<b>Comunicación efectiva</b>	Nos comunicamos de una manera directa y personal	0.52	3.81	48 %
	Escuchamos las ideas de los otros miembros del equipo	0.74		
	Expresamos nuestro punto de vista de una manera constructiva	0.68		
	Generamos muchas ideas para mejorar nuestro trabajo en equipo	0.75		
	Consideramos las ideas de todos los miembros del equipo	0.93		
	Nos sentimos libres de expresar nuestras ideas	0.58		
	Los mensajes de los otros miembros del equipo son suficientemente claros	0.62		
<b>Comportamiento de apoyo</b>	Entendemos las ideas de los demás miembros del equipo	0.62	2.02	40 %
	Cambiamos la carga de trabajo para ayudar a otros miembros del equipo	0.52		
	Asistimos a nuestros compañeros de equipo en realizar sus tareas	0.74		
	Los miembros del equipo son muy cooperativos	0.7		
	Trabajamos voluntariamente con otros miembros del equipo	0.55		
<b>Manejo de conflictos</b>	Los miembros del equipo cooperan en el mismo grado	0.64	4.024	58 %
	Resolvemos conflictos de manera rápida	0.76		
	Resolvemos conflictos para la mejora del equipo	0.8		
	Resolvemos todos los conflictos	0.79		
	Los puntos de vista son clarificados evitando confrontaciones	0.67		
	Los miembros del equipo cooperan para llegar a acuerdos y resolver los conflictos	0.75		
	Los miembros del equipo están de acuerdo con las resoluciones de los conflictos	0.8		
Las resoluciones a los conflictos son implementadas	0.73			
<b>Toma de decisiones compartida</b>	Estamos de acuerdo con las decisiones tomadas por el líder del equipo	0.62	1.85	46 %
	Todos los miembros del equipo son considerados en la toma de decisiones	0.49		
	Consideramos los puntos de vista de todos los miembros del equipo en la toma de decisiones	0.63		
	Podemos expresar nuestro punto de vista cuando una decisión es tomada	0.9		

## B. CUESTIONARIO DE MADUREZ GRUPAL, EFICIENCIA Y EFECTIVIDAD

Variable	Ítems	Carga factorial	Valor propio	Varianza explicada
<b>Cohesión grupal</b>	Todos los miembros del equipo están fuertemente integrados	0.78	2.94	59 %
	Nos sentimos motivados a permanecer en el grupo	0.81		
	Trabajamos juntos para lograr las metas del equipo	0.78		
	Estamos dispuestos en interactuar con otros miembros del equipo	0.68		
	Nos sentimos orgullosos de pertenecer al equipo	0.78		
<b>Confianza mutua</b>	Los miembros del equipo tienen el conocimiento técnico requerido para realizar sus tareas	0.74	3.76	54 %
	Los miembros del equipo tienen las habilidades requeridas para realizar sus tareas	0.73		
	Los miembros del equipo son honestos	0.72		
	Los miembros del equipo están dispuestos a proteger a otros compañeros de equipo	0.65		
	Los miembros del equipo están dispuestos a asumir responsabilidades de otros miembros del equipo	0.82		
	Los miembros del equipo no ocultan información	0.68		
	Los miembros del equipo pueden controlar cualquier situación	0.78		
<b>Conformidad</b>	Ajustamos nuestro comportamiento para seguir las reglas del equipo	0.88	2.18	42 %
	Estamos dispuestos a seguir las reglas del equipo	0.75		
	Estamos de acuerdo con las reglas del equipo	0.65		
	Adaptamos nuestro comportamiento para cumplir las demandas de otros miembros del equipo	0.4		
	Estamos de acuerdo con las decisiones tomadas	0.53		
<b>Claridad de metas y roles</b>	Las metas del equipo son suficientemente claras	1.0	1.73	58 %
	Los roles y tareas de cada miembro del equipo son suficientemente claras	0.66		
	Conocemos las expectativas de los otros miembros del equipo	0.54		
<b>Eficiencia de equipo</b>	Trabajamos de acuerdo al calendario de tareas	0.86	2.59	65 %
	No excedemos el presupuesto planeado	0.89		
	Concluimos nuestras tareas a tiempo	0.78		
	Las reuniones son eficientes	0.67		
<b>Efectividad de equipo</b>	Estamos satisfechos con la calidad de nuestro trabajo	0.67	4.07	58 %
	Estamos satisfechos con nuestros resultados	0.73		
	Cumplimos los objetivos del proyecto	0.66		
	Los clientes están satisfechos con nuestra forma de trabajo	0.79		
	Las necesidades de los clientes son cumplidas	0.86		
	Las tareas son exitosamente finalizadas	0.81		
	Somos capaces de realizar cualquier tarea	0.78		

# Clasificación automática de issues exitosos y no exitosos

## C.1. Características más relevantes

**Tabla C.1:** Características más relevantes para predecir *issues* exitosos por tipo de *issue*

#	ERRORES			MEJORAS			NUEVAS F.		
	Característica	N	RP	Característica	N	RP	Característica	N	RP
1	patch	80	26.97	currently	78	34.92	used	79	26.81
2	file	80	36.36	property	75	34.42	message	76	27.77
3	problem	80	55.61	added	74	43.46	make	76	52.42
4	fixed	79	30.31	created	74	64.92	set	75	55.14
5	bug	79	47.73	methods	71	47.74	security	75	37.35
6	document_type	78	48.27	class	69	51.54	attribute	72	63.73
7	attachment	70	54.25	exception	69	54.51	component	66	57.52
8	code	70	82.33	build	69	66.87	implement	65	89.02
9	thanks	67	72.46	allow	66	69.96	web	65	98.81
10	line	65	83.52	object	64	61.91	based	60	136.97

N: Número de experimentos en los que la característica estuvo entre las 100 características más relevantes.

RP: Ranking promedio de la característica considerando 80 experimentos.

Datos publicados en Ramírez-Mora y col. (2020a)

**Tabla C.2:** Características más relevantes para predecir *issues* no exitosos por tipo de *issue*

#	ERRORES			MEJORAS			NUEVAS F.		
	Característica	N	RP	Característica	N	RP	Característica	N	RP
1	url_spec.	80	3.27	url_spec.	80	2.08	code_spec.	80	4.32
2	review	80	26.71	version_spec.	80	6.96	like	80	8.68
3	project	80	30.91	code	80	12.43	need	80	14.32
4	error	80	38.21	make	80	18.91	project	80	17.52
5	issue	78	44.62	need	80	20.23	using	80	22.61
6	test	75	62.72	using	80	20.25	patch	80	25.66
7	user	70	91.62	issue	80	20.28	feature	80	29.08
8	click	69	64.92	new	80	20.60	just	80	29.43
9	spring	66	66.08	project	80	23.58	version	80	30.07
10	would	60	97.62	add	80	23.67	nice	79	38.42

N: Número de experimentos en los que la característica estuvo entre las 100 características más relevantes.

RP: Ranking promedio de la característica considerando 80 experimentos.

Datos publicados en Ramírez-Mora y col. (2020a)

## C.2. Precisión, exactitud, recall y F1

Los resultados de esta sección se publicaron en Ramírez-Mora y col. (2020a).

**Tabla C.3:** Exactitud de experimentos para clasificar *issues* exitosos y no exitosos

	MNB	LR	SVC	DTC	MLPC	RFC	GBC
ERRORES							
Mín.	0.72	0.66	0.38	0.66	0.69	0.63	0.69
Máx.	0.93	1	0.71	0.88	0.9	0.9	0.98
Media	0.81	0.82	0.48	0.76	0.81	0.75	0.81
Varianza	0	0	0	0	0	0	0
Desviación estándar	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05
MEJORAS							
Mín.	0.33	0.25	0.25	0.25	0.31	0.25	0.42
Máx.	0.83	0.81	0.68	0.78	0.76	0.76	0.79
Media	0.64	0.64	0.46	0.58	0.62	0.58	0.65
Varianza	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01
Desviación estándar	0.09	0.1	0.06	0.08	0.1	0.08	0.07
NUEVAS FUNCIONALIDADES							
Mín.	0.33	0.33	0.33	0.22	0.33	0.22	0.33
Máx.	1	0.96	0.67	0.85	0.89	0.89	0.9
Media	0.7	0.69	0.47	0.6	0.68	0.61	0.68
Varianza	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0.01	0.01
Desviación estándar	0.1	0.09	0.05	0.09	0.08	0.11	0.09

---

C. CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE ISSUES EXITOSOS Y NO EXITOSOS

---

**Tabla C.4:** Precisión de experimentos para clasificar *issues* exitosos y no exitosos

	MNB	LR	SVC	DTC	MLPC	RFC	GBC
ERRORES EXITOSOS							
Mín.	0.61	0.59	0	0.51	0.59	0.46	0.49
Máx.	1	1	0.57	0.98	1	1	1
Media	0.77	0.74	0.34	0.72	0.77	0.63	0.69
Varianza	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01
Desviación estándar	0.09	0.1	0.14	0.11	0.1	0.12	0.11
ERRORES NO EXITOSOS							
Mín.	0.65	0.71	0.39	0.5	0.64	0.46	0.49
Máx.	1	0.95	0.57	0.88	0.91	1	1
Media	0.82	0.84	0.45	0.76	0.81	0.63	0.69
Varianza	0	0	0	0	0	0.02	0.01
Desviación estándar	0.06	0.05	0.04	0.07	0.05	0.12	0.11
MEJORAS EXITOSAS							
Mín.	0.08	0.08	-	0.12	0.11	0.05	0
Máx.	0.86	0.61	-	0.59	0.57	0.51	0.67
Media	0.36	0.31	-	0.27	0.27	0.24	0.3
Varianza	0.02	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01
Desviación estándar	0.14	0.11	-	0.1	0.1	0.1	0.12
MEJORAS NO EXITOSAS							
Mín.	0.65	0.65	-	0.61	0.54	0.05	0
Máx.	1	1	-	1	1	0.51	0.67
Media	0.86	0.86	-	0.84	0.85	0.24	0.3
Varianza	0	0	-	0.01	0	0.01	0.01
Desviación estándar	0.06	0.06	-	0.07	0.07	0.1	0.12
NUEVAS FUNCIONALIDADES EXITOSAS							
Mín.	0.03	0.03	-	0	0	0	0
Máx.	0.62	0.63	-	0.58	0.59	0.54	0.6
Media	0.26	0.26	-	0.22	0.24	0.22	0.25
Varianza	0.02	0.02	-	0.02	0.02	0.02	0.02
Desviación estándar	0.15	0.15	-	0.14	0.15	0.12	0.14
NUEVAS FUNCIONALIDADES NO EXITOSAS							
Mín.	0.68	0.7	-	0.62	0.69	0	0
Máx.	1	1	-	1	1	0.54	0.6
Media	0.89	0.88	-	0.84	0.86	0.22	0.25
Varianza	0	0	-	0.01	0	0.02	0.02
Desviación estándar	0.07	0.07	-	0.08	0.07	0.12	0.14

---

## C. CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE ISSUES EXITOSOS Y NO EXITOSOS

---

**Tabla C.5:** *Recall* de experimentos para clasificar *issues* exitosos y no exitosos

	MNB	LR	SVC	DTC	MLPC	RFC	GBC
<b>ERRORES EXITOSOS</b>							
Mín.	0.53	0.66	0	0.46	0.55	0.58	0.64
Máx.	1	0.95	1	0.87	0.92	0.97	0.96
Media	0.71	0.76	0.86	0.62	0.7	0.7	0.78
Varianza	0.01	0.01	0.12	0.01	0.01	0.01	0.01
Desviación estándar	0.11	0.08	0.34	0.07	0.08	0.07	0.08
<b>ERRORES NO EXITOSOS</b>							
Mín.	0.76	0.74	0	0.74	0.73	0.61	0.53
Máx.	1	1	1	0.97	1	1	1
Media	0.86	0.83	0.14	0.84	0.86	0.72	0.77
Varianza	0	0	0.12	0	0	0.01	0.01
Desviación estándar	0.05	0.06	0.34	0.06	0.05	0.08	0.08
<b>MEJORAS EXITOSAS</b>							
Mín.	0.2	0.25	-	0.17	0.25	0.13	0
Máx.	1	1	-	1	1	1	1
Media	0.52	0.61	-	0.53	0.63	0.58	0.62
Varianza	0.02	0.02	-	0.02	0.01	0.01	0.02
Desviación estándar	0.15	0.12	-	0.13	0.11	0.11	0.13
<b>MEJORAS NO EXITOSAS</b>							
Mín.	0.4	0.33	-	0.23	0.31	0.22	0.42
Máx.	0.98	0.89	-	0.82	0.65	0.71	0.94
Media	0.73	0.65	-	0.62	0.55	0.53	0.63
Varianza	0.01	0.01	-	0.01	0	0.01	0.01
Desviación estándar	0.12	0.1	-	0.09	0.06	0.08	0.09
<b>NUEVAS FUNCIONALIDADES EXITOSAS</b>							
Mín.	0.25	0.25	-	0	0	0	0
Máx.	1	1	-	1	1	1	1
Media	0.69	0.67	-	0.47	0.58	0.56	0.61
Varianza	0.02	0.02	-	0.02	0.03	0.02	0.04
Desviación estándar	0.14	0.14	-	0.16	0.17	0.15	0.2
<b>NUEVAS FUNCIONALIDADES NO EXITOSAS</b>							
Mín.	0.07	0.13	-	0.18	0.25	0.17	0.19
Máx.	0.72	0.7	-	0.92	0.74	0.69	0.84
Media	0.53	0.54	-	0.6	0.55	0.52	0.59
Varianza	0.03	0.02	-	0.02	0.01	0.01	0.01
Desviación estándar	0.16	0.15	-	0.13	0.11	0.09	0.11

---

C. CLASIFICACIÓN AUTOMÁTICA DE ISSUES EXITOSOS Y NO EXITOSOS

---

**Tabla C.6:** Métrica F1 de experimentos para clasificar *issues* exitosos y no exitosos

	MNB	LR	SVC	DTC	MLPC	RFC	GBC
ERRORES EXITOSOS							
Mín.	0.6	0.65	0	0.53	0.62	0.54	0.59
Máx.	1	0.96	0.72	0.92	0.94	0.93	0.96
Media	0.73	0.75	0.48	0.66	0.73	0.66	0.73
Varianza	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01
Desviación estándar	0.1	0.08	0.2	0.08	0.08	0.09	0.09
ERRORES NO EXITOSOS							
Mín.	0.73	0.73	0.57	0.6	0.69	0.61	0.64
Máx.	1	0.96	0.72	0.91	0.94	0.91	0.95
Media	0.84	0.83	0.62	0.79	0.83	0.75	0.8
Varianza	0	0	0	0	0	0	0
Desviación estándar	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06
MEJORAS EXITOSAS							
Mín.	0.13	0.13	-	0.15	0.18	0.07	0
Máx.	0.63	0.64	-	0.57	0.63	0.6	0.67
Media	0.4	0.4	-	0.35	0.37	0.33	0.39
Varianza	0.01	0.01	-	0.01	0.01	0.01	0.01
Desviación estándar	0.1	0.1	-	0.1	0.11	0.1	0.11
MEJORAS NO EXITOSAS							
Mín.	0.55	0.45	-	0.38	0.44	0.3	0.57
Máx.	0.93	0.89	-	0.83	0.76	0.77	0.91
Media	0.78	0.73	-	0.71	0.67	0.64	0.72
Varianza	0.01	0.01	-	0	0	0.01	0
Desviación estándar	0.07	0.07	-	0.07	0.05	0.08	0.06
NUEVAS FUNCIONALIDADES EXITOSAS							
Mín.	0.05	0.05	-	0	0	0	0
Máx.	0.64	0.65	-	0.56	0.64	0.58	0.64
Media	0.35	0.35	-	0.28	0.32	0.3	0.33
Varianza	0.02	0.02	-	0.02	0.02	0.02	0.02
Desviación estándar	0.14	0.14	-	0.13	0.15	0.13	0.14
NUEVAS FUNCIONALIDADES NO EXITOSAS							
Mín.	0.13	0.22	-	0.29	0.38	0.28	0.33
Máx.	0.79	0.78	-	0.86	0.79	0.77	0.9
Media	0.64	0.66	-	0.69	0.66	0.64	0.69
Varianza	0.02	0.02	-	0.01	0.01	0.01	0.01
Desviación estándar	0.15	0.13	-	0.1	0.08	0.08	0.09





## Bibliografía

---

- Akkermans, H. y van Helden, K. (mar. de 2002). “Vicious and virtuous cycles in ERP implementation: a case study of interrelations between critical success factors”. En: *European Journal of Information Systems* **11.1**, págs. 35-46. ISSN: 1476-9344. DOI: 10.1057/palgrave.ejis.3000418.
- Anant, S. S. (1966). “The need of belong”. En: *Canada’s Mental Health* **14**, págs. 21-27.
- Barnlund, D. C. (1970). “A transactional model of communication”. En: *Foundations of communication theory*. New York, NY: Harper, págs. 83-102.
- Beck, K. y col. (2001). *Manifesto for Agile Software Development*.
- Berlo, D. K. (1960). *The process of communication; an introduction to theory and practice*. New York: Holt, Rinehart y Winston. ISBN: 9780030074905.
- Bhattacharya, P. y col. (2013). “An Empirical Analysis of Bug Reports and Bug Fixing in Open Source Android Apps”. En: *2013 17th European Conference on Software Maintenance and Reengineering*, págs. 133-143. DOI: 10.1109/CSMR.2013.23.
- Bollen, K. (mar. de 1990). “Overall Fit in Covariance Structure Models: Two Types of Sample Size Effects”. En: *Psychological Bulletin* **107**, págs. 256-259. DOI: 10.1037/0033-2909.107.2.256.
- Bourque, P., Fairley, R. E. y Society, I. C. (2014). *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK(R)): Version 3.0*. 3rd. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society Press. ISBN: 0769551661.
- Breu, S. y col. (2010). “Information Needs in Bug Reports: Improving Cooperation between Developers and Users”. En: *Proceedings of the 2010 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work*. CSCW ’10. Savannah, Georgia, USA: Association for Computing Machinery, págs. 301-310. ISBN: 9781605587950. DOI: 10.1145/1718918.1718973.
- Butler, T. (jul. de 2003). “An institutional perspective on developing and implementing intranet- and internet-based information systems”. En: *Information Systems Journal* **13**, págs. 209-231. DOI: 10.1046/j.1365-2575.2003.00151.x.
- Butler, T. y Fitzgerald, B. (2001). “The Relationship Between User Participation and the Management of Change Surrounding the Development of Information Systems: A European Perspective”. En: *Journal of End User Computing* **12-25.1**, pág. 12. DOI: 10.4018/joeuc.2001010102.
- Byrne, B. M. (1998). *Structural equation modeling with LISREL, PRELIS, and SIMPLIS : basic concepts, applications, and programming*. Multivariate applications book series. Barbara M. Byrne. Ill., graph. Darst. 24 cm. Mahwah, NJ [u.a.]: Lawrence Erlbaum Associates.
- Chrissis, M. B., Konrad, M. y Shrum, S. (2011). *CMMI for Development: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. 3rd. Addison-Wesley Professional. ISBN: 0321711505.
- Cohen, J. (1992). “A power primer”. En: *Psychol Bull* **112.1**, págs. 155-159.

- Cronbach, L. (1951). "Coefficient alpha and the internal structure of tests". En: *Psychometrika* **16**, págs. 297-334.
- Cronbach, L. y Meehl, P. (1955). "Construct Validity in Psychological Tests". En: *Psychological Bulletin* **52**, págs. 281-302.
- Dennis, A., Wixom, B. y Tegarden, D. (2015). *Systems Analysis and Design: An object-oriented approach with UML*. USA: Jhon Wiley & Sons.
- Destefanis, G. y col. (ene. de 2015). "Software development: do good manners matter?" En: *PeerJ Computer Science*. DOI: 10.7287/PEERJ.PREPRINTS.1515.
- Destefanis, G. y col. (2018). "On Measuring Affects of Github Issues' Commenters". En: *Proceedings of the 3rd International Workshop on Emotion Awareness in Software Engineering*. SEmotion '18. Gothenburg, Sweden: ACM, págs. 14-19. ISBN: 978-1-4503-5751-7. DOI: 10.1145/3194932.3194936.
- Di Sorbo, A. y col. (2019). "'Won't We Fix this Issue?' Qualitative Characterization and Automated Identification of Wontfix Issues on GitHub". En: *CoRR* **abs/1904.02414**.
- Diamantopoulos, A. y Sigauw, J. (2000). *Introducing LISREL*. London: Sage Publications.
- Duc Anh, N. y col. (2011). "Empirical Validation of Human Factors in Predicting Issue Lead Time in Open Source Projects". En: *Proceedings of the 7th International Conference on Predictive Models in Software Engineering*. Promise '11. Banff, Alberta, Canada: ACM, 13:1-13:10. ISBN: 978-1-4503-0709-3. DOI: 10.1145/2020390.2020403.
- Fabbri, S. y col. (2016). "Improvements in the StArt Tool to Better Support the Systematic Review Process". En: *Proceedings of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. EASE '16. Limerick, Ireland: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450336918. DOI: 10.1145/2915970.2916013.
- Fenton, N. y Bieman, J. (2014). *Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach, Third Edition*. 3rd. USA: CRC Press, Inc. ISBN: 1439838224.
- Figueiredo, D. (ene. de 2013). "When is statistical significance not significant?" En: *Brazilian Political Science Review (Online)* **7**. DOI: 10.1590/S1981-38212013000100002.
- Garousi, V. y col. (mar. de 2019). "Correlation of critical success factors with success of software projects: an empirical investigation". En: *Software Quality Journal* **27.1**, págs. 429-493. ISSN: 1573-1367. DOI: 10.1007/s11219-018-9419-5.
- Garreta, R. y Moncecchi, G. (2013). *Learning Scikit-learn: Machine Learning in Python*. Packt Publishing. ISBN: 1783281936, 9781783281930.
- Giger, E., Pinzger, M. y Gall, H. (2010). "Predicting the Fix Time of Bugs". En: *Proceedings of the 2nd International Workshop on Recommendation Systems for Software Engineering*. RSSE '10. Cape Town, South Africa: Association for Computing Machinery, págs. 52-56. ISBN: 9781605589749. DOI: 10.1145/1808920.1808933.
- Gomes, L. A. F., da Silva Torres, R. y Côrtes, M. L. (2019). "Bug report severity level prediction in open source software: A survey and research opportunities". En: *Information and Software Technology* **115**, págs. 58-78. ISSN: 0950-5849. DOI: 10.1016/j.infsof.2019.07.009.
- Goodenow, C. y Grady, K. (jul. de 2010). "The Relationship of School Belonging and Friends' Values to Academic Motivation Among Urban Adolescent Students". En: *The Journal of Experimental Education* **62**, págs. 60-71. DOI: 10.1080/00220973.1993.9943831.
- Graziotin, D. y col. (2018). "What happens when software developers are (un)happy". En: *Journal of Systems and Software* **140**, págs. 32-47. ISSN: 0164-1212. DOI: 10.1016/j.jss.2018.02.041.

- Gren, L., Torkar, R. y Feldt, R. (2015). “Group Maturity and Agility, Are They Connected? – A Survey Study”. En: *2015 41st Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications*, págs. 1-8.
- Gren, L., Knauss, A. y Stettina, C. J. (2018). “Non-technical individual skills are weakly connected to the maturity of agile practices”. En: *Information and Software Technology* **99**, págs. 11-20. ISSN: 0950-5849. DOI: 10.1016/j.infsof.2018.02.006.
- Guo, P. J. y col. (2010). “Characterizing and Predicting Which Bugs Get Fixed: An Empirical Study of Microsoft Windows”. En: *Proceedings of the 32nd ACM/IEEE International Conference on Software Engineering - Volume 1. ICSE '10*. Cape Town, South Africa: Association for Computing Machinery, págs. 495-504. ISBN: 9781605587196. DOI: 10.1145/1806799.1806871.
- Hartwick, J. y Barki, H. (mar. de 2001). “Communication as a dimension of user participation”. En: *IEEE Transactions on Professional Communication* **44.1**, págs. 21-36. DOI: 10.1109/47.911130.
- Hoegl, M. y Gemuenden, H. G. (ago. de 2001). “Teamwork Quality and the Success of Innovative Projects: A Theoretical Concept and Empirical Evidence”. En: *INFORMS* **12**, págs. 435-449. DOI: 10.1287/orsc.12.4.435.10635.
- Hu, L. y Bentler, P. M. (1999). “Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives”. En: *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal* **6.1**, págs. 1-55. DOI: 10.1080/10705519909540118.
- Hummel, M., Rosenkranz, C. y Holten, R. (oct. de 2013). “The Role of Communication in Agile Systems Development: An Analysis of the State-of-the-Art”. En: *Business & Information Systems Engineering* **5**. DOI: 10.1007/s12599-013-0282-4.
- ISO/IEC 20000-1:2011 (2016). *Information and Technology - Service Management— Part 1: Service Management System Requirements*. en. Standard.
- ISO/IEC 27000-1:2014 (2014). *Information Technology – Security Techniques – Information Security Management Systems – Overview and Vocabulary*. en. Standard.
- Jakobson, R. (1963). *Essais de linguistique générale*. Points (Paris). Les Editions de Minuit.
- Jedlitschka, A., Ciolkowski, M. y Pfahl, D. (ene. de 2008). “Reporting Experiments in Software Engineering”. En: Springer, London. Cap. 8, págs. 201-228. DOI: 10.1007/978-1-84800-044-5\_8.
- Jedlitschka, A. y Pfahl, D. (dic. de 2005). “Reporting guidelines for controlled experiments in software engineering”. En: 10 pp.-. ISBN: 0-7803-9507-7. DOI: 10.1109/ISESE.2005.1541818.
- Jones, K. S. (1972). “A statistical interpretation of term specificity and its application in retrieval”. En: *Journal of Documentation* **28**, págs. 11-21.
- Jöreskog, K. (feb. de 1969). “A General Approach to Confirmatory Factor Analysis”. En: *Psychometrika* **34**, págs. 183-202. DOI: 10.1007/BF02289343.
- Kinicki, A. y Kreitner, R. (2007). *Organizational Behavior: Key Concepts, Skills and Best Practices*. McGraw-Hill Higher Education. ISBN: 9780071285773.
- Kitchen, P., Williams, A. y Chowhan, J. (2012). “Sense of community belonging and health in Canada: A regional analysis”. En: *Social Indicators Research* **107.1**, págs. 103-126. DOI: 10.1007/s11205-011-9830-9.
- Kitchenham, B. A., Budgen, D. y Brereton, P. (2015). *Evidence-Based Software Engineering and Systematic Reviews*. Chapman & Hall/CRC. ISBN: 1482228653.
- Kitchenham, B. A. y col. (2006). “Evaluating Guidelines for Empirical Software Engineering Studies”. En: *Proceedings of the 2006 ACM/IEEE International Symposium on Empirical*

- Software Engineering*. ISESE '06. Rio de Janeiro, Brazil: Association for Computing Machinery, págs. 38-47. ISBN: 1595932186. DOI: 10.1145/1159733.1159742.
- Kolmogorov, A. (1933). “Sulla Determinazione Empirica di una Legge di Distribuzione”. En: *Giornale dell’ Istituto Italiano degli Attuari* **4**, págs. 83-91.
- Kontio, J., Bragge, J. y Lehtola, L. (ene. de 2008). “The Focus Group Method as an Empirical Tool in Software Engineering”. En: págs. 93-116. DOI: 10.1007/978-1-84800-044-5\_4.
- Kozlowski, S. y Bell, B. (ene. de 2013). “Work groups and teams in organizations”. En: *Handbook of psychology: Industrial and organizational psychology* **12**, págs. 412-469.
- Laurent, A. M. (2008). *Understanding Open Source and Free Software Licensing*. O’Reilly Media, pág. 4. ISBN: 9780596553951.
- Lethbridge, T., Sim, S. y Singer, J. (jul. de 2005). “Studying Software Engineers: Data Collection Techniques for Software Field Studies”. En: *Empirical Software Engineering* **10**, págs. 311-341. DOI: 10.1007/s10664-005-1290-x.
- Levine, J. M., Moreland, R. L. y Ryan, C. S. (1998). *Group socialization and intergroup relations*. Lawrence Erlbaum Associates Publishers.
- Licorish, S. A. y MacDonell, S. G. (2014). “Understanding the attitudes, knowledge sharing behaviors and task performance of core developers: A longitudinal study”. En: *Information and Software Technology* **56**.12. Special issue: Human Factors in Software Development, págs. 1578-1596. ISSN: 0950-5849. DOI: 10.1016/j.infsof.2014.02.004.
- Licorish, S. A. y MacDonell, S. G. (2018). “Exploring the links between software development task type, team attitudes and task completion performance: Insights from the Jazz repository”. En: *Information and Software Technology* **97**, págs. 10-25. ISSN: 0950-5849. DOI: 10.1016/j.infsof.2017.12.005.
- Lindsjörn, Y. y col. (2016). “Teamwork quality and project success in software development: A survey of agile development teams”. En: *Journal of Systems and Software* **122**, págs. 274-286. ISSN: 0164-1212. DOI: 10.1016/j.jss.2016.09.028.
- Littlejohn, S. y Foss, K. (2009). *Encyclopedia of Communication Theory*. Encyclopedia of Communication Theory v. 1. SAGE Publications. ISBN: 9781412959377.
- Lumley, T. (2008). “Analysis of correlated data with SAS and R (3rd edn). Mohamed M. Shoukri and Mohammad A. Chaudhary, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, 2007. No. of pages: 295. Price: \$89.95. ISBN: 1-58488-619-6”. En: *Statistics in Medicine* **27**.22, págs. 4610-4611. DOI: 10.1002/sim.3331.
- Maccallum, R. C., Browne, M. W. y Sugawara, H. M. (1996). “Power analysis and determination of sample size for covariance structure modeling.” En:
- Manning, C. D. y Schütze, H. (1999). *Foundations of Statistical Natural Language Processing*. Cambridge, MA, USA: MIT Press. ISBN: 0-262-13360-1.
- Mäntylä, M. y col. (2016). “Mining Valence, Arousal, and Dominance: Possibilities for Detecting Burnout and Productivity?” En: *Proceedings of the 13th International Conference on Mining Software Repositories*. MSR '16. Austin, Texas: Association for Computing Machinery, págs. 247-258. ISBN: 9781450341868. DOI: 10.1145/2901739.2901752.
- MAAGTIC (2010). *Manual Administrativo de Aplicación General en las Materias de Tecnologías de la Información y Comunicaciones y de Seguridad de la Información*. es. Standard.
- Marks, M., Mathieu, J. y Zaccaro, S. (jul. de 2001). “A Temporally Based Framework and Taxonomy of Team Processes”. En: *The Academy of Management Review* **26**, pág. 356. DOI: 10.2307/259182.

- Marshall, C. y Brereton, P. (2013). “Tools to Support Systematic Literature Reviews in Software Engineering: A Mapping Study”. En: *2013 ACM / IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*, págs. 296-299.
- Maslow, A. H. (1943). “A theory of human motivation”. En: vol. 50. 4, págs. 370-396. DOI: 10.1037/h0054346.
- McLeod, L., MacDonell, S. y Doolin, B. (ago. de 2011). “Qualitative Research on Software Development: A Longitudinal Case Study Methodology”. En: *Empirical Software Engineering* **16**, págs. 430-459. DOI: 10.1007/s10664-010-9153-5.
- McLeod, L. y MacDonell, S. G. (oct. de 2011). “Factors That Affect Software Systems Development Project Outcomes: A Survey of Research”. En: *ACM Comput. Surv.* **43.4**, 24:1-24:56. ISSN: 0360-0300. DOI: 10.1145/1978802.1978803.
- Menzies, T., Greenwald, J. y Frank, A. (ene. de 2007). “Data Mining Static Code Attributes to Learn Defect Predictors”. En: *IEEE Trans. Softw. Eng.* **33.1**, págs. 2-13. ISSN: 0098-5589. DOI: 10.1109/TSE.2007.10.
- Morales, A. (2009). *Capital humano, hacia un sistema de gestión en la empresa cubana*. Editorial política.
- Morse, J. J. y Lorsch, J. W. (1970). *Beyond Theory Y*. URL: <https://hbr.org/1970/05/beyond-theory-y>. (accessed: 30.11.2020).
- Murgia, A. y col. (jun. de 2017). “An exploratory qualitative and quantitative analysis of emotions in issue report comments of open source systems”. En: *Empirical Software Engineering* **44**, pág. 1. DOI: 10.1007/s10664-017-9526-0.
- Nasir, M. y Sahibuddin, S. (mayo de 2011). “Critical success factors for software projects: A comparative study”. En: *Scientific Research and Essays* **6**, págs. 2174-2186. DOI: 10.5897/SRE10.1171.
- Noyori, Y. y col. (2019). “What are Good Discussions Within Bug Report Comments for Shortening Bug Fixing Time?” En: *2019 IEEE 19th International Conference on Software Quality, Reliability and Security (QRS)*, págs. 280-287.
- Oktaba, H. y col. (ago. de 2005). *Modelo de Procesos para la Industria de Software: MoProSoft*. Inf. téc. DOI: 10.13140/2.1.2229.5043.
- Ortu, M. y col. (2015). “Are Bullies More Productive? Empirical Study of Affectiveness vs. Issue Fixing Time”. En: *2015 IEEE/ACM 12th Working Conference on Mining Software Repositories*, págs. 303-313.
- Panjer, L. D. (2007). “Predicting Eclipse Bug Lifetimes”. En: *Fourth International Workshop on Mining Software Repositories (MSR'07:ICSE Workshops 2007)*, págs. 29-29.
- Pearson, K. (1895). “Note on regression and inheritance in the case of two parents”. En: *Proceedings of the Royal Society of London* **58**, págs. 240-242.
- Pedregosa, F. y col. (2011). “Scikit-learn: Machine Learning in Python”. En: *Journal of Machine Learning Research* **12**, págs. 2825-2830.
- PMI, ed. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*. 5.<sup>a</sup> ed. Newtown Square, PA: Project Management Institute. ISBN: 978-1-935589-67-9.
- Rajaraman, A. y Ullman, J. D. (2011). *Mining of Massive Datasets*. New York, NY, USA: Cambridge University Press. ISBN: 1107015359, 9781107015357.
- Ramírez-Mora, S. L. y Oktaba, H. (oct. de 2017). “Productivity in Agile Software Development: A Systematic Mapping Study”. En: *2017 5th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)*, págs. 44-53. DOI: 10.1109/CONISOFT.2017.00013.

- Ramírez-Mora, S. L. y Oktaba, H. (2018). “Team Maturity in Agile Software Development: The Impact on Productivity”. En: *2018 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution (ICSME)*, págs. 732-736. DOI: 10.1109/ICSME.2018.00091.
- Ramírez-Mora, S. L., Oktaba, H. y Gómez-Adorno, H. (2020a). “Descriptions of issues and comments for predicting issue success in software projects”. En: *Journal of Systems and Software* **168**, pág. 110663. ISSN: 0164-1212. DOI: 10.1016/j.jss.2020.110663.
- Ramírez-Mora, S. L., Oktaba, H. y Gómez-Adorno, H. (2020b). *Issues, comments and projects from four popular Issue Tracking Systems*. <http://dx.doi.org/10.17632/pk3wv93s3m.1>. Ver. v1. DOI: 10.17632/pk3wv93s3m.1.
- Ramírez-Mora, S. L., Oktaba, H. y Patlán Pérez, J. (2020c). “Group maturity, team efficiency, and team effectiveness in software development: A case study in a CMMI-DEV Level 5 organization”. En: *Journal of Software: Evolution and Process* **32.4**. e2232 JSME-18-0269.R3, e2232. DOI: 10.1002/smr.2232.
- Ramírez-Mora, S. L. y col. (2021a). *Communication functions of bug comments in OSS projects (dataset)*. <https://data.mendeley.com/datasets/xfzv59fht2/1>. Ver. V1. DOI: 10.17632/xfzv59fht2.1.
- Ramírez-Mora, S. L. y col. (2021b). “Exploring the communication functions of comments during bug fixing in Open Source Software projects”. En: *Information and Software Technology*. ISSN: 0950-5849. DOI: 10.1016/j.infsof.2021.106584.
- Robbins, S. y Judge, T. (2009). *Organizational Behavior*. Pearson education. Pearson Prentice Hall. ISBN: 9780132079648.
- Robson, C. (2002). *Real World Research - A Resource for Social Scientists and Practitioner-Researchers*. second. Malden: Blackwell Publishing.
- Runeson, P. y col. (2012). *Case Study Research in Software Engineering: Guidelines and Examples*. 1st. Wiley Publishing. ISBN: 1118104358, 9781118104354.
- Al-Sabbagh, K. W. y Gren, L. (2018). “The connections between group maturity, software development velocity, and planning effectiveness”. En: *Journal of Software: Evolution and Process* **30.1**. e1896 smr.1896, e1896. DOI: 10.1002/smr.1896.
- Saha, R. K., Khurshid, S. y Perry, D. E. (2015). “Understanding the triaging and fixing processes of long lived bugs”. En: *Information and Software Technology* **65**, págs. 114-128. ISSN: 0950-5849. DOI: 10.1016/j.infsof.2015.03.002.
- Salas, E., Sims, D. E. y Burke, C. S. (2005). “Is there a “Big Five” in Teamwork?” En: *Small Group Research* **36.5**, págs. 555-599. DOI: 10.1177/1046496405277134.
- Sawyer, S. y Guinan, P. J. (1998). “Software development: Processes and performance”. En: *IBM Systems Journal* **37.4**, págs. 552-569. DOI: 10.1147/sj.374.0552.
- Schermerhorn, J., Hunt, J. y Osborn, R. (2002). *Organizational behavior*. 13rd. John Wiley & Sons.
- Schramm, W. (1954). “How communication works”. En: *The process and effects of mass communication*. Urbana, IL: University of Illinois Pres, págs. 3-26.
- Seaman, C. B. (1999). “Qualitative methods in empirical studies of software engineering”. En: *IEEE Transactions on Software Engineering* **25.4**, págs. 557-572.
- Shah, S. M. A., Papatheocharous, E. y Nyfjord, J. (2015). “Measuring Productivity in Agile Software Development Process: A Scoping Study”. En: *Proceedings of the 2015 International Conference on Software and System Process*. ICSSP 2015. Tallinn, Estonia: Association for Computing Machinery, págs. 102-106. ISBN: 9781450333467. DOI: 10.1145/2785592.2785618.

- Shannon, C. E. y Weaver, W. (1949). *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, IL: University of Illinois Press. ISBN: 978-0-252-72548-7.
- Sharma, M. y col. (2014). "Multiattribute Based Machine Learning Models for Severity Prediction in Cross Project Context". En: *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2014*. Ed. por B. Murgante y col. Cham: Springer International Publishing, págs. 227-241. ISBN: 978-3-319-09156-3.
- Sharma, S. y col. (2005). "A simulation study to investigate the use of cutoff values for assessing model fit in covariance structure models". En: *Journal of Business Research* **58**.7. Special Section: Cross-functional cases in management education, págs. 935-943. ISSN: 0148-2963. DOI: 10.1016/j.jbusres.2003.10.007.
- Shevlin, M. y Miles, J. (1998). "Effects of sample size, model specification and factor loadings on the GFI in confirmatory factor analysis". En: *Personality and Individual Differences* **25**.1, págs. 85-90. ISSN: 0191-8869. DOI: 10.1016/S0191-8869(98)00055-5.
- Shull, F., Singer, J. y Sjberg, D. I. K. (2010). *Guide to Advanced Empirical Software Engineering*. 1st. Springer Publishing Company, Incorporated. ISBN: 1849967121.
- Sieber, J. E. (dic. de 2001). "Protecting Research Subjects, Employees and Researchers: Implications for Software Engineering". En: *Empirical Softw. Engg.* **6**.4, págs. 329-341. ISSN: 1382-3256. DOI: 10.1023/A:1011978700481.
- Somers, T. M. y Nelson, K. (ene. de 2001). "The impact of critical success factors across the stages of enterprise resource planning implementations". En: *Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 10 pp.-. DOI: 10.1109/HICSS.2001.927129.
- Spearman, C. (1904). "The Proof and Measurement of Association between Two Things". En: *The American Journal of Psychology* **15**.1, págs. 72-101. ISSN: 00029556.
- Steiger, J. H. (2007). "Understanding the limitations of global fit assessment in structural equation modeling". En: *Personality and Individual Differences* **42**.5. Special issue on Structural Equation Modeling, págs. 893-898. ISSN: 0191-8869. DOI: 10.1016/j.paid.2006.09.017.
- Stigler, S. M. (1989). "Francis Galton's Account of the Invention of Correlation". En: *Statistical Science* **4**.2, págs. 73-79. ISSN: 08834237.
- Tajfel, H. y Turner, J. C. (1979). "An integrative theory of intergroup conflict". En: ed. por G. Austin y S. Worchel. Monterey: Brooks/Cole, págs. 33-47.
- Tuckman, B. W. (1965). "Developmental sequence in small groups". En: *Psychological Bulletin* **63**.6, págs. 384-399.
- Tuckman, B. W. y Jensen, M. A. C. (1977). "Stages of Small-Group Development Revisited". En: *Group & Organization Studies* **2**.4, págs. 419-427. DOI: 10.1177/105960117700200404.
- Valdivia-Garcia, H., Shihab, E. y Nagappan, M. (2018). "Characterizing and predicting blocking bugs in open source projects". En: *Journal of Systems and Software* **143**, págs. 44-58. ISSN: 0164-1212. DOI: 10.1016/j.jss.2018.03.053.
- Verner, J. M. y col. (2009). "Guidelines for industrially-based multiple case studies in software engineering". En: *2009 Third International Conference on Research Challenges in Information Science*, págs. 313-324.
- Versionone, C. (2020). *The 14th Annual State of Agile Report*.
- Wheelan, S. y col. (jun. de 1998). "Member Perceptions of Internal Group Dynamics and Productivity". En: *Small Group Research - SMALL GROUP RES* **29**, págs. 371-393. DOI: 10.1177/1046496498293005.
- Wheelan, S. A. y Hochberger, J. M. (1996). "Validation Studies of the Group Development Questionnaire". En: *Small Group Research* **27**.1, págs. 143-170. DOI: 10.1177/1046496496271007.



- Wieringa, R. y Morali, A. (2012). “Technical Action Research as a Validation Method in Information Systems Design Science”. En: *Design Science Research in Information Systems. Advances in Theory and Practice*. Ed. por K. Peffers, M. Rothenberger y B. Kuechler. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, págs. 220-238. ISBN: 978-3-642-29863-9.
- Wu, H. C. y col. (jun. de 2008). “Interpreting TF-IDF Term Weights As Making Relevance Decisions”. En: *ACM Trans. Inf. Syst.* **26.3**, 13:1-13:37. ISSN: 1046-8188. DOI: 10.1145/1361684.1361686.
- Wu, J. y col. (oct. de 2016). “The Effects of Communication Patterns on the Success of Open Source Software Projects:: An Empirical Analysis from Social Network Perspectives”. En: *Journal of Global Information Management* **24**, págs. 22-44. DOI: 10.4018/JGIM.2016100102.
- Xia, X. y col. (2015). “ELBlocker: Predicting blocking bugs with ensemble imbalance learning”. En: *Information and Software Technology* **61**, págs. 93-106. ISSN: 0950-5849. DOI: 10.1016/j.infsof.2014.12.006.
- Xuan, Q. y col. (2012). “Measuring the Effect of Social Communications on Individual Working Rhythms: A Case Study of Open Source Software”. En: *Proceedings of the 2012 International Conference on Social Informatics*. SOCIALINFORMATICS '12. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, págs. 78-85. ISBN: 978-0-7695-5015-2. DOI: 10.1109/SocialInformatics.2012.17.
- Yin, R. K. (2014). *Case Study Research: Design and Methods*. 5.<sup>a</sup> ed. Thousand Oaks, CA: Sage Publications. ISBN: 978-1-4522-4256-9.
- Zhang, F. y col. (2012). “An Empirical Study on Factors Impacting Bug Fixing Time”. En: *2012 19th Working Conference on Reverse Engineering*, págs. 225-234.
- Zhao, Y. y col. (2016). “How Are Discussions Associated with Bug Reworking? An Empirical Study on Open Source Projects”. En: *Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement*. ESEM '16. Ciudad Real, Spain: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450344272. DOI: 10.1145/2961111.2962591.